



МЕХАНИЧЕСКИЙ

ТЕХНОЛОГИЯ МЕТАЛЛОВ

X

7:0
8:7

[Faint, illegible markings]

Л. Л. Завриленко.

Профессор Высшего Московского Технического Училища.

ПРОВЕРЕНО

1169
~~8974~~
П. 12

621.7
Г-12

МЕХАНИЧЕСКАЯ

ТЕХНОЛОГИЯ МЕТАЛЛОВ.

Часть I.

ОБЩИЕ СВОЙСТВА МЕТАЛЛОВ.

4-е ИЗДАНИЕ

ПРОВЕРЕНО 1936 г.

Перепечатка с 3-его Издания с разрешения Государственного Ученого Совета.

5146
Библиотечный
кабинет, 6-й этаж

АКАДЕМИЧЕСКАЯ
Библиотека
— И. П. И. —
Имени Л. ЛИБКНЕХТА.

ИЗДАТЕЛЬСТВО

Московское Академическое Издательство

„МАНИЗ“
МОСКВА — 1924.

АКАДЕМИЧЕСКАЯ
Библиотека
И. П. И. И.
Имени Л. ЛИБКНЕХТА

100

100

100

100

НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ

ЦЕНТР НАУКИ И ТЕХНИКИ

ОБЪЕДИНЕННЫЙ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ

ЦЕНТР НАУКИ И ТЕХНИКИ

100

ОБЪЕДИНЕННЫЙ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ

ЦЕНТР НАУКИ И ТЕХНИКИ



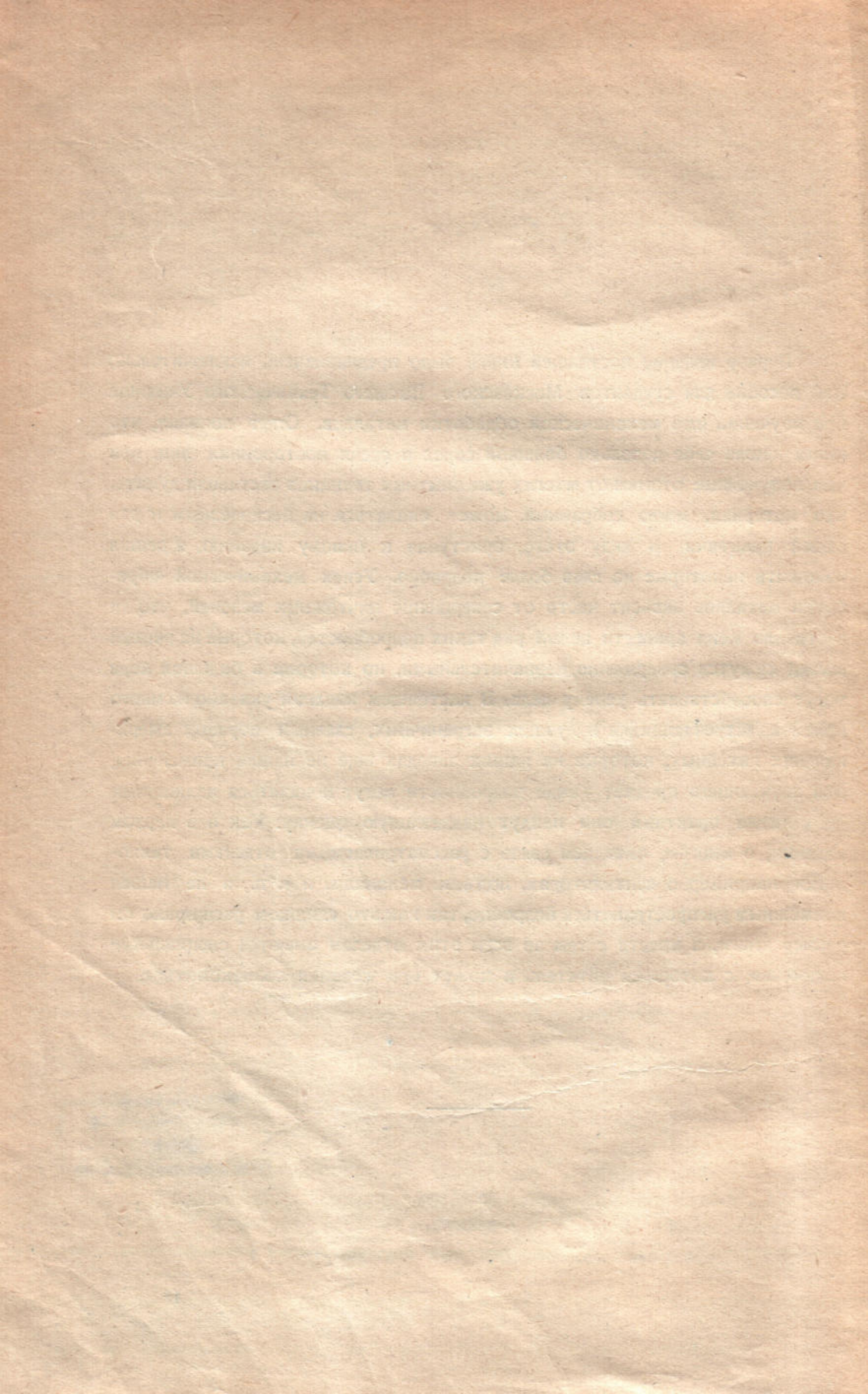
Главлит № 17243.

Москва.

Тираж 3000 экз.

Типография «9-е Января», Яузский мост, Серебряническая набережная, д. 23а.

Первое издание настоящей книги было предназначено исключительно как пособие для студентов Московского Высшего Технического Училища при изучении ими механической обработки металлов. Опыт показал, что книга нашла себе довольно большой спрос и среди посторонних лиц, причем полученные отзывы от многих уже опытных техников заставили думать, что материал, мною собранный, может оказаться не бесполезным и для людей практики. В виду этого, приступая к новому изданию, я решил изложить некоторые из глав более подробно. Успех механической обработки металлов зависит часто от совершенно ничтожных мелочей, что и заставило меня привести целый ряд таких подробностей, которые на первый взгляд кажутся совершенно незначительными, но которые в большой мере могут способствовать успеху дела. В настоящем издании указано на много приемов, встречающихся в лучших заграничных, главным образом американских литейных, которые на наших заводах еще не нашли применения. Для изучающего предмет такие подробности могут показаться излишними но у людей практики они найдут надлежащую оценку. Как и в первом издании, о многом, имеющем связь с рассматриваемыми отделами технологии, например о вентиляторах, под'емн. механизм. и т. п., я не нашел возможным распространяться подробно, так как это слишком расширило бы размер книги, а вместе с тем по всем этим отделам имеются специальные сочинения, с которыми читатель и может при желании познакомиться.



ВВЕДЕНИЕ.

„Обретение металлов—величайший из подвигов истории человеческого общества. Можно сказать вообще, что еслиб человек не ознакомился с металлами, он вечно остался бы в состоянии дикости. Для народов изобилие или недостаток металлов есть вопрос о жизни или смерти. При той важной роли, которую играют металлы в быту современных обществ, нельзя не убедиться, что без них цивилизация была бы немислима. Изумительное умственное и промышленное движение, которое являет собою XIX век, благоденствие нынешних поколений, наши механические орудия, промышленность всякого рода, науки, художества были бы невозможны при отсутствии металлов. Без металла человек был бы принужден всю свою жизнь бедственно пресмыкаться; с этим же непреодолимым рычагом могущество его увеличивается сторицею и власть его постепенно распространяется на всю природу“.

Луи Фише.

С самых отдаленных времен, везде, где встречаются признаки существования человека, находятся также и указания на то, что человек употреблял различные орудия, облегчавшие ему борьбу с окружающей природой. Известная степень совершенства орудий оказывала столь сильное влияние на условие быта людей, что современная наука разделяет всю историю человеческой культуры на два периода: каменный и металлический, соответственно материалам, которыми человек пользовался при изготовлении своих орудий. Каждый из этих главных периодов в свою очередь подразделяется на несколько эпох, характеризующих собой кроме материала и то искусство, с которым они обрабатывались (эпоха древне-каменная, шлифованного камня, бронзовая, железная).

О том, какое пространство времени замкнуто в этих периодах истории человечества, можно делать только [более или менее вероятные предположения. В некоторых местах, как, напр., в дельте реки Миссисипи при раскопках, произведенных Дулером, открыты чередующиеся напластования лесов кипариса, которые расположены один над другим, а в свое время, вероятно, зеленели на поверхности земли. Таких пластов насчитывается до 10, и в них находятся деревья, имеющие до 6.000 годовых колец. В четвертом из этих пластов найден скелет человека, следовательно, есть

вероятие предполагать, что человек жил уже более 25.000 лет тому назад. На такую же древность человека указывают и чередующиеся напластования сосновых и березовых лесов в торфяных болотах Дании (Scow-mose).

Начало металлического периода отделяется от нас тоже многими тысячелетиями. На восточном берегу Швеции нашли при прорытии канала Седертельге, соединяющего Меларское озеро с Ботническим заливом, на весьма значительной глубине остатки рыбацкой хижины с кусками обработанного железа. По известной мере изменения уровня восточного берега Швеции оказывается, что хижина существовала за 12.000 лет и что в ту пору первобытные жители Швеции умели обрабатывать железо.

Одним из первых металлов, с которым познакомился человек, было, повидимому, золото. Оно встречается во многих местах в самородном состоянии, и его блеск естественно должен был привлечь к себе внимание человека.

В Европе в наибольшем числе и наиболее древнего происхождения оказываются предметы, приготовленные из бронзы. Бронза, как известно, есть сплав меди с оловом, и некоторые высказывают предположение, что она была получена еще ранее каждого из этих металлов в отдельности.

Открытие железа обыкновенно относят к более позднему периоду хотя некоторые раскопки, как, напр., приведенные выше раскопки в Швеции заставляют думать, что железо в некоторых местах сделалось известным не позднее других металлов.

В настоящее время является невозможным вполне точно установить, где и в какое время впервые появился металл. Несомненно только ¹⁾, что за много тысячелетий до Р. X. все народы арийского и семитического племен пользовались металлами, сведения о которых, вероятно, получили из Средней Азии, а затем, в свою очередь, передали их и европейцам. По греческим преданиям, приведенным Геродотом, родина золота находится в горах Азии, где живет народ аримаспы, ведущие на конях борьбу с грифами, стерегущими золото. Эти предания указывают, повидимому, на монголо-финские племена и на Среднюю Азию, горы которой, действительно, изобилуют металлами. Эти предания подтверждаются также и тем фактом, что когда русские в XVI столетии проникли до Алтая и открыли там неизвестные татарам металлические богатства, то они нашли, что все более значительные рудники уже разработаны на глубину 10—15 метр. и затем завалены.

Несомненно также, что древним не только был известен способ добывания металлов, но они были и весьма искусны в их обработке. Бронзовые изделия, открытые при раскопках, во многих случаях представляют образцы прекрасной работы. Бронзовое оружие закаливалось в то время с таким искусством, что по твердости и остроте оно не уступало изделиям нашего времени. В Индии уже с незапамятных времен искусство обрабатывать металлы было столь развито, что тогдашние инженеры не затруднялись

¹⁾ См. Die Geschichte des Eisens, von Dr. Ludwig Beck.

применять металлы в строительном деле и при их помощи возводили сооружения, поражающие своей грандиозностью. Во многих древних индейских храмах употреблены железные балки. В лондонском Кенсингтонском музее находится обломок колонны, стоящей в Дели, в Индии. Колонна эта имеет высоту 18 метр, внизу толщина ее 416 мм. и вверху 318 мм. По видимому, она сварена из отдельных кусков железа, весом от 27 до 36 кгр. каждый, и составляющих в общем вес более 17 тонн. По исследованию д-ра Перси колонна Дели сделана из мягкого железа. Нельзя не согласиться, что изготовление такого громадного монумента из железа с капиталью очень причудливой формы делает честь кузнецам, существовавшим за 1000 лет до Р. X.

Главным средством древних для переработки металлов, за исключением железа, служила отливка, и как образец искусства литейщиков того времени, можно привести бронзовую чашу евреев, носящую название «Медяное море» и вмещающую в себе сто корзинок с естных припасов.

Павзаний, сын Клеомброта, принес, по словам Геродота, в дар храму Юпитеру Ориоса, построенному близ Понта Евкеинского, на границах Скифии, чашу емкостью в 600 амфор, толщиной в шесть пальцев (подобные чаши греки употребляли при религиозных обрядах). Нечего и говорить, что для отливки предметов такой величины нужно было иметь очень большие литейные. Этим литейным, существовавшим в исторические времена, предшествовали малые литейные бронзовой эпохи. Следы их найдены в Швейцарии, там же найдены и остатки форм, указывающие на то, что в доисторические времена отливка производилась в формы, приготовленные из песка и из камня. Есть также указания, что при формовке очень сложных предметов применялся воск, как это делается и теперь при отливке колоколов и др. вещей. До какой степени искусства дошли древние в отливке художественных произведений, указывают нам сохранившийся греческие и римские статуэтки. С некоторыми из них не могут сравниться даже изделия нашего времени.

Одним из главных применений металла у древних было изготовление оружия и военных доспехов. Но металл, сначала посевавший на земле ужас, опустошение и смерть, вскоре принес народам—мир, богатство и благоденствие. Римляне присвоили мечу название—*ferum*, впоследствии они этим именем называли мирный сошник.

Гомер подробно описывает вооружение греческих и троянских воинов. Хотя весьма возможно, что его герои и вымышленные лица, но, описывая их вооружение, он основывался, вероятно, на образцах того времени. Судя по описаниям Гомера, все эти доспехи готовились с большим искусством. Бронза, как метал более древний, считалась благороднее, и потому из нее готовилось вооружение начальников и великих бойцов; обыкновенные воины имели железное оружие.

В некоторых европейских музеях имеются образцы римских кольчуг более позднего времени, у которых отдельные колечки заварены. Работа эта очень трудная и свидетельствует о высокой степени совершенства тогдашнего искусства.

Но не в один период человеческой истории ручная обработка металлов не достигала такого совершенства, как в средние века. В это время Англия, Франция, Италия и в особенности Германия соперничали друг перед другом, производя чудеса искусства.

Более отдаленные годы этого периода замечательны также, главным образом, производством оружия. Сначала оружие отличалось более хорошим закалом клинка, чем внешней отделкой, но затем все имеющиеся образцы свидетельствуют о постепенном развитии изящества работы. Мечи и другие сорта оружия становятся все более и более причудливой формы, и в Германии эти предметы приобретают такие странные очертания, как будто их назначение было действовать более страхом, чем действительным ударом. Дошедшие до нас образцы оружия того времени свидетельствуют о такой искусной работе, которая теперь если и встречается в этой области производства, то очень редко.

В XVI веке изящество работы распространилось и на другие предметы, кроме оружия. В это время обыденные вещи домашнего обихода на ряду с более ценными изделиями, предназначенными для служения религии, исполнялись одинаково художественно. Обыкновенный вертел или кухонный горшок мог соперничать по тонкости работы с изысканной навесной петлей от церковной двери или с паникадиллом самого причудливого рисунка.

Все подобные работы из железа исполнялись молотком на наковальне. Отдельные части сваривались, склепывались и затем отделялись чеканкой, наклепкой и гравированием.

Главными центрами подобного производства были в Италии и Испании города: Милан, Турин и Толедо, а в Германии города: Инсбрук, Аугсбург и Нюрнберг. Здесь образовались целые замкнутые корпорации, или цехи, занимавшиеся исключительно каким-нибудь одним ремеслом, и слава искусных мастеров переходила из рода в род.

Как уже было сказано, искусство отливать бронзу и некоторые другие металлы было известно еще древним. Несомненно, что в различные времена они делали попытки производить также отливку и железа. Но механические приспособления того времени были слишком грубы и несовершенны, чтоб при помощи их можно было получать высокую температуру, необходимую для плавки железа, и потому в результате у них всегда получался не чугуны, а сварочное железо.

Нам не известно, кто первый начал отливать чугунные изделия. В то время промышленность была замкнута в различных цехах, и всякое усовершенствование считалось секретом этого цеха, поэтому трудно было заметить момент появления чугунных отливок. Но, конечно, чугун не был изобретен сразу, а получился как результат постепенного усовершенствования и изменения способов переработки железа.

Первобытные способы добывания железа были, конечно, очень несовершенны. Следы древних кузниц, в которых производилась выработка железа, встречаются во многих местах Швеции и Австрии, а особенно хорошо сохранившиеся кузницы были открыты горным инженером Кикере в швейцарском кантоне Берн. Они состояли из цилиндрических углублений,

расположенных на скатах гор, с целью воспользоваться силой ветра, так как в то время никаких приборов для дутья не существовало. Топливом служил древесный уголь, большие запасы которого всегда находятся около таких кузниц. Производство велось, видимо, в широких размерах, потому что около кузниц попадают груды окалин иногда до двухсот куб. метр. Нечего и говорить, что при столь примитивной конструкции горнов, а главное, за отсутствием сильного дутья, извлечение из руд производилось крайне несовершенно, и в настоящее время находят выгодным остатки переработанного в древности материала употреблять вновь вместо руды. Впоследствии печи были усовершенствованы и постепенно перешли к горнам. Вместо ветра для производства дутья стали употреблять мехи, которые приводились в движение руками.

Появление чугуна главным образом обязано применению в металлургии гидравлических двигателей. Мукомольные мельницы приводились в движение водяной силой еще у римлян. Для обрабатывающей же промышленности водяные двигатели были применены в Германии только в начале XIV века. В металлургических производствах водяная сила применялась для приведения в движение молотов и толчей. Затем стали приводиться волочильные станки, при производстве проволоки, шлифовальные станки, и наконец стали применять гидравлическую силу для движения воздуходувных мехов.

Первое время, вследствие отсутствия опыта и знания, при гидравлическом двигателе сила дутья не могла соразмеряться с потребностью, и в печь иногда воздух вдувался с гораздо большей силой, чем это считалось в то время нужным; температура повышалась и в результате из печи, вместо железа, выходил чугун. Чугун вытекал вместе со шлаками, и плавильщики, для которых подобное явление было ново, считали весь вытекший чугун пропавшим, испорченным продуктом. Вследствие этого первоначально в некоторых частях Германии выпущенный из печи чугун назывался «Dreckstein» (грязный камень), в других местах его называли «Sau» (sow, pig), что значит «нереяха свинья», отсюда и название для кусков сырого чугуна «свинка». Полученный чугун возвращали обратно в печь. Но вскоре заметили, что переплавленный таким образом чугун дает более равномерный по своим качествам продукт, и стали стараться нарочно получать чугун, чтоб потом перерабатывать его в железо. Железо, выработанное из чугуна, называлось — «двойной плавки» и ценилось выше, чем полученное непосредственным способом.

По мере накопления знаний и опытности становились все больше и больше очевидными все преимущества нового способа получения железа по сравнению со старым; постепенно убедились в том, что чем сильнее дутье, чем выше печь, тем лучшие получались результаты. Низкие печи стали делать все выше и выше и постепенно перешли к домне.

Первая домна для выплавки чугуна была построена в Рейнской долине в 1443 г. (об этом имеются документальные сведения)¹⁾. В 1444 г. в Рейнской долине существовало уже 29 железоделательных заводов с домнами. Ход

¹⁾ См. Ludvig Beck, Die Geschichte des Eisens.

домны продолжался в то время от трех до четырех недель и требовал для своей работы необычайное количество руды и топлива, по сравнению с теперешним временем; управлять ходом домны в то время еще не умели, и качество получаемого продукта зависело больше от случая.

Раз чугуна в расплавленном виде был получен, его стали применять для отливок. Пока чугун выходил плохого качества—белый, следовательно густой, из него отливались только грубые предметы: кузнечные наковальни, штампы, ядра. Затем научились получать серый чугун, а вместе с этим стало возможно отливать более сложные и более мелкие изделия. В конце XV века отливались уже довольно сложные печи, украшенные богатыми, художественными орнаментами. Прекрасным образцом литейного искусства того времени может служить печь, находящаяся в замке Кобург, в Германии. Модели этой печи были исполнены в Нюрнберге, отливка же производилась в Тюрнгене. Но главный сбыт чугунные изделия, с самого же начала, нашли для военных целей.

Почти одновременно с введением на металлургических заводах гидравлической силы вошел во всеобщее употребление порох. Это явилось второй побудительной причиной к развитию железодельного производства.

Как скоро сила взрывчатой смеси была обнаружена, старое холодное оружие уступило новому—огнестрельному.

Древние пушки состояли из двух частей: часть, в которой воспламенялся порох, отливалась из бронзы или меди, та же часть ствола, в которую вкладывались снаряды, изготовлялась из дерева, стянутого обручами. Такая пушка носила название бомбарды, что значит: шумящая. Бомбарды употреблялись еще в 1428 г. во Франции при осаде Орлеана.

Следующее усовершенствование в производстве пушек состояло в уничтожении деревянной части и замене ее железной или удлинением бронзовой части настолько, что в нее кроме пороха мог поместиться также и снаряд. Сначала между этими двумя способами было большое соревнование, и перевес был на стороне железных стволов, потому что из железа находили возможным готовить стволы большей величины. Но вскоре однако бронзовые пушки взяли верх, так как их научились делать более прочными и правильными.

Первая бронзовая пушка была отлита в Германии, и вскоре после этого отливка бронзы развилась в обширное производство. Немецкие литейщики пушек приглашались различными европейскими королями и получали за свое звание большие деньги. В начале XV века бронзовые пушки отливались уже очень больших размеров. Они метали каменные снаряды в 5—6 пудов. Их перевозка и установка требовала нескольких недель усиленной работы. У графа Эбергарда Вюртембергского была пушка, весящая 180 пудов. При ней постоянно содержались 14 лошадей и 100 человек для ее перевозки, 8 плотников для установки и 4 каменщика для приготовления каменных ядер. При осаде Константинополя в 1452 г. была пушка, отлитая в Венгрии, с каналом в 34", которая должна была бросать снаряды весом в 24 пуда. Для перевозки ее потребовалось 2.000 человек и 70 ослов. Эту пушку разорвало при первом же выстреле.

Железные пушки часто готовились из одного куска железа и представляли замечательные образцы кузнечной работы. Искусство тогдашних кузнецов будет еще поразительнее, если припомнить, что в то время совершенно отсутствовали все приспособления для передвижения тяжелых масс металла, которые теперь считаются необходимыми при всех крупных кузнечных работах. Наибольшая железная пушка, «Маргарита», была в Генте, в Бельгии. Она имела 16 фут. 6" длины и жерло в 25". Ствол был приготовлен из 32 железных кусков шириной 2 фута 2" и толщиной 7"; снаружи ствол стягивался 41 кольцом. Наибольший внешний диаметр пушки был 3 фута и 3". Пушка весила 1000 пудов. Каменный снаряд 21 пуд и заряд пороху 23 пуда.

Как только чугун был получен, его сейчас же применили для отливки пушек ¹⁾. Из бумаг города Лилля видно, что город заплатил в 1442 г. Жаку Голенсу, часовому мастеру и оружейнику, за отливку двух чугунных пушек, весящих около двух пудов, 4 лиры и 16 шиллингов. Такая высокая цена объясняется тем, что эти пушки были первыми, приготовленными из чугуна.

В Германии чугунные пушки появились впервые при осаде Карлштейна в 1452 г.

Император Максимилиан I имел уже пушки, отлитые сплошными из чугуна и затем высверленные, до этого же времени пушки ковались из железа полыми на оправке. В 1590 году город Страсбург имел 37 полевых и 18 осадных орудий, отлитых из чугуна. Некоторые из них весили до 280 пуд. Бирингуциус в своем сочинении «Пиротехника» дает подробное описание способа приготовления пушек: машины для рассверливания пушек приводились в движение гидравлической силой; передача совершалась при помощи целой серии зубчатых колес.

Производство и торговля пушками очень процветали в XV и XVI веках в городах Фландрии.

В Англии производству чугунных пушек оказывала большое покровительство королева Елизавета, так что при ней английские пушки вывозились даже в Испанию и употреблялись испанцами на войне против англичан. «Великая армада» была вооружена 2431 пушкой.

Ядра из чугуна стали готовить значительно позже самих пушек; это объясняется большой ценностью чугуна в то время. Тем не менее в половине XV века в Нидерландах чугунные снаряды вошли во всеобщее употребление.

Из Германии выплавка чугуна скоро перешла и в Англию. В 1619 г. англичанин Дод Дудлей (Dud Dudley) впервые применил при выплавке чугуна, как топливо, каменный уголь и тем значительно увеличил производительность домен. В 1651 году вследствие финансовых затруднений дела Дудлея прекратились, а вместе с этим прекратилось употребление каменного угля почти на сто лет. В 1735 г. Абраам Дерби, заведывавший в то время заводом «Colebrook Dale Iron Work», попробовал из каменного угля

¹⁾ История развития чугунолитейного производства за границей и в России подробно изложены у Кнабе „Чугунолитейное дело“.

добыть кокс при помощи процесса, аналогичного с тем, который прежде применялся для добывания древесного угля. Попытка его увенчалась успехом, и с тех пор кокс и каменный уголь не переставали служить успехам техники.

На ряду с усовершенствованием технических способностей человека совершенствовались и самые формы производства. В своем бессилии, как отдельного индивидуума, человек убедился на первых же порах разумной жизни и стал соединяться в общины для совместного производства работ. Правда, такие соединения в общины не всегда были произвольны, но всегда являлись вследствие признания неоспоримых преимуществ кооперативного труда. Только благодаря совместному усилию многих людей могли быть произведены грандиозные постройки древнего Египта, Индии и других народов. Но кооперативный труд в древности применялся не только в строительном деле. В той части нынешней Франции, которая образует департаменты Эндр и Луары; в Гран-Прессиньи недавно открыты большие мастерские кремневых инструментов. Судя по оставшимся шлифовальным приборам, осколкам кремня, предметам самого производства находящимся во всех степенях отделки, от самой грубой до отлично отполированного топора, несомненно, что тут производство велось на кооперативных началах еще в отдаленные времена каменной эпохи. Здесь даже, повидимому, был применен уже и великий принцип разделение труда, так как находим отдельные мастерские для рубки и шлифовки камня.

Такие же указания, что производство велось сообща и в крупных размерах, встречаются и по отношению других народов и эпох. Так, напр., по свидетельству Ливия, у этрусков жители одного только города Аретин могли очень быстро приготовить для войска Сципиона 30.000 щитов, столько же шлемов, 500.000 дротиков, столько же копий и снарядить вполне 40 кораблей. Плиний рассказывает, что флот, которым командовал полководец Дуилий (260 л. до Р. Х.) и который состоял из 120 судов, был снаряжен в 60 дней после того, как были срублены необходимые для постройки судов деревья. Римляне, заняв Англию и ознакомившись с выработкой железа от туземцев, сейчас же основали (120 л. по Р. Х.) около холмов Монмаутшира и Глочестершира, изобилующих лесами и рудой, большие фабрики для производства оружия.

Кооперативное производство, постепенно совершенствуясь, в половине шестнадцатого столетия окончательно приняло форму сложной кооперации, т.-е. с этого времени стал строго проводиться принцип возможно большого разделения труда, и в такой форме под названием мануфактур составляло почти исключительную форму производства до начала нашего столетия.

Таким образом, дойдя до XIX века и оглядываясь назад, мы невольно должны признать не только очень давнее происхождение человека, но также и то, что ему уже очень давно свойственны дарования, которые необходимы для изобретения и умения производить различные предметы из сырых материалов природы.

Тем не менее, рассматривая историю развития производительных способностей человека с того момента, как ему впервые пришла счастливая

мысль выделить металл из руды и превратить его бесформенные массы в полезные предметы, до настоящего времени, мы невольно будем поражены теми громадными приобретениями, которые сделаны человеком в этой области за последнее столетие. Действительно, сравним ли мы кремневый молоток первобытного человека с таковым же металлическим орудием, имевшим столь обширное применение в прошлом столетии, и затем возьмем современный паровой молот; сравним ли мы доисторический корабль викингов с Санто-Марией, на которой Колумб переплыл океан, и затем поставим рядом современный гигантский пароход в 70.000 индикаторн. сил, пересекающий Атлантический океан в 5 суток, независимо от бурь и непогод, и перед которым корабль Колумба кажется не больше как скорлупой; сравним ли мы колесницу древних народов с экипажем прошлого столетия и затем для сравнения возьмем железнодорожный поезд, мчащийся со скоростью более 100 верст в час; сравним ли мы ткацкий станок, изобретенный человеком еще во времена бронзовой эпохи, с таким же станком прошлого столетия и затем рядом поставим современный механический станок, на котором лишь только под надзором рабочего ткань сплетается во сто раз быстрее, чем это делалось прежде в руках самого искусного и сильного ткача; сравним ли мы еще ранее изобретенное веретено с прялкой прошлого столетия и затем возьмем современную прядильную машину, на которой под надзором работницы, прежде крутившей только одно веретено, вертятся теперь сотни веретен, при чем каждое из них прядет гораздо ровнее и чуть не во сто раз быстрее, чем прежде,—и во всех таких случаях, которые могут быть приведены почти из всех областей производства, при сравнении успехов, сделанных человеком в течение тысячелетий—с одной стороны и столетия—с другой, громадный перевес окажется на стороне XIX века.

Причину такого необычайного развития производительных способностей человека нужно приписать изобретению автоматически действующих машин, применение которых и составляет отличительный признак всей нынешней промышленности. Но здесь нужно отметить тот факт, что хотя многие машины, которым впоследствии суждено было произвести целые промышленные перевороты, были изобретены еще в XVIII столетии (паровая машина Уатта 1774 г., прядильная машина Аркрайта 1779 г., ткацкий станок Каркрайта 1785 г.), тем не менее широкое распространение они получили только спустя полвека после их появления. И это понятно: всякому изобретателю необходимо приходится считаться с теми средствами, которые предлагаются современным состоянием механического дела для осуществления его идей, а машиностроение в то время стояло еще на такой низкой степени развития, что прекрасные по идее машины получались в исполнении очень плохого качества и потому естественно не могли найти себе большого распространения. Недостаточно было изобрести машину,—нужно было суметь ее сделать и сделать при том так, чтоб она, сохраняя все свои достоинства, получилась бы и недорогой. Только при таких условиях машины и могли иметь коммерческий успех, который, как известно, является не второстепенным делом в развитии машиностроения. Хотя ручная обра-

ботка и стояла в то время на высокой степени совершенства, но искусная рука работника, сообщая изделию художественные формы, не в состоянии была придать ему ту точность и однообразие форм однородных деталей, которые являются непременным условием во всякой хорошо исполненной машине.

В конце XVIII столетия в Англии были даже организованы целые машиностроительные заводы, напр. фирма Болтон, Уатт и К^о, основанная в Бирмингеме для производства паровых машин, Карумский завод (Carum Iron Works) около Глазко, изготовлявший водоподъемные машины и др., но изделия, выпускаемые ими, были крайне несовершенны. Чтоб показать, насколько плохо строились в то время машины, достаточно привести выдержку из письма Болтона, владельца самого крупного в то время завода, написанного им в 1776 г. Предлагая изделия своей фирмы другому заводу, он пишет: «введенный у нас Вилькинсоном способ расточки паровых цилиндров не оставляет желать ничего лучшего: цилиндр в 50", который мы поставили в Тимптоне, исполнен так точно, что диаметр его в различных частях не отличается даже на толщину $\frac{1}{2}$ шиллинга». Таким образом точность исполнения измеряющаяся толщиной полушиллинга, т. е. около $\frac{1}{16}$ дюйма, считалась 100 лет тому назад вполне достаточной для такой работы, как рассверливание цилиндров паровых машин. В наше время, если паровой цилиндр расточен так, что между поршнем и его стенками может просачиваться такая тонкая материя, как водяной пар, то работа считается уже неудовлетворительной.

Только с тех пор, как были изобретены и применены для обработки металлов и дерева особые автоматические станки—*машины-орудия* и машинная работа заменила ручную, машиностроение стало на твердую почву и начало быстро развиваться. Применение машин-орудий к обработке металлов оказало такое же влияние на развитие машиностроения, как вообще применение машин на развитие всех других отраслей промышленности, и потому изобретение машин-орудий наравне с изобретением паровой машины, как источника движущей силы, нужно считать особенно важным фактом в истории развития производительных способностей человека.

Механическая обработка, или изменение формы металлов производится, действуя на металл более твердым орудием. Это действие всегда состоит в сообщении орудию известной силы, скорости и направления. От первых двух действий зависит производительность работы, а от последнего—точность исполнения. При ручной работе сила и скорость, сообщаемые орудию рукой рабочего, очень ограничены; для машин же этих границ почти не существует. Что касается до точности работы, то рука искусного мастера может сообщить орудию совершенно правильное направление, но только при производстве мелких предметов, и притом, для получения известной степени точности, рабочему потребуются приложить все его внимание и искусство: малейший недосмотр с его стороны и уже эта точность исчезнет. Совсем другое в машине: здесь точность работы является необходимым следствием хорошей конструкции машины и дурная работа может получиться только при полном неумении пользоваться ею.

Таким образом машина-орудие имеет громадное преимущество перед ручной работой в способности сообщать орудию силу и скорость и, кроме того, отличается еще той особенностью, что отодвигает искусство рабочего на второй план и весь эффект работы ставит в зависимость от самой машины,— сообщает всему производству автоматичность. *Эта автоматичность и составляет главный отличительный признак машины-орудия;* чем более проведен принцип автоматичности при построении машины, тем совершеннее будет машина-орудие.

Собственно станки для обработки различных материалов существовали уже с давних пор, так например изобретение токарного станка теряется в глубокой древности, но тот вид, в котором они существовали до прошлого столетия, не может быть признан за машину-орудие: все это были станки ручные, и главный отличительный признак машины-орудия — автоматичность—в них отсутствовал. Впрочем, есть основание предполагать, что за много тысяч лет у египтян были станки, представляющие из себя элементарную форму машин-орудий. В недавнее время Фландерс Петри, исследуя в египетских раскопках наполовину оконченные изделия, на основании следов, оставленных резцами, положительно доказал, что египтяне обрабатывали твердые камни на токарных станках, при помощи прямых и круглых пил, цельных и трубчатых сверл со вставными резцами из алмаза или другого материала, но во всяком случае очень твердого, так как отчетливо видно, что при каждом обороте орудия резец углубляется в гранит на 0,1". Более мягкие породы камней отделялись, видимо, металлическими инструментами, при чем оставшиеся в некоторых местах следы охры указывают на то, что плоские поверхности обрабатывались при помощи выверительных плит. Таким образом некоторые способы обработки, изобретение которых обыкновенно относится к позднему времени, были известны уже древним египтянам, но, к сожалению, погибли вместе с их цивилизацией,

Первой машиной-орудием нужно считать станок, построенный для нарезки зубьев. Идея его была еще высказана знаменитым Робертом Гуком ¹⁾ в 1670 г., но впервые посроена подобная машина во Франции в XVIII веке. В сочинении, изданном в Париже в 1741 г., описаны три зуборезные машины, но все они очень несовершенны. Только в 1783 г., в руках английского механика Рее, зуборезная машина приняла вполне конструктивную форму. В построенной им машине деление производилось при помощи делительного круга в 19" в диам. Употреблявшиеся резцы имели форму, соответствующую очертанию зубьев, и готовились из стали. Наточка резцов производилась на устроенной им же машине с помощью вращающихся медных дисков и цилиндров, покрытых наждаком. Эта небольшая точильная машинка может считаться началом того обширного класса шлифовальных машин, без которых теперь не может обойтись ни один хорошо устроенный завод. Чтоб показать, насколько оценены были в то

¹⁾ The history of the art of interchangeable construction in mechanism. Trans Amer Soc. Mech. Eng. 1893.

время достоинства зуборезной машины, достаточно сказать, что по смерти Рее его машина была продана за 700 фун. стерл. В наше время, когда мы вполне свыклись с той пользой, какую приносят машины-орудия, и перестали ценить их надлежащим образом, такая сумма показалась бы громадной, если бы ей пришлось платить даже за те прекрасные образцы зуборезных машин, которые предлагаются современными строителями.

Легкость, с которой зуборезные машины удаляли перед собой металл, невольно натолкнула на мысль о применении подобных же резцов для обработки плоских поверхностей и поверхностей неправильной формы,—таким образом появилась первая фрезовая машина ¹⁾. Описание этого станка помещено в французской энциклопедии, оконченной в 1772 г. Первая фрезовая машина была построена для обработки ружейных стволов, производившихся тогда во Франции в большом количестве. Дальнейшее распространение фрезовых машин по неизвестным причинам шло чрезвычайно медленно, и только сравнительно недавно они получили снова большое распространение.

Токарный станок стал машиной-орудием после того, как его приспособили для автоматической нарезки винтов. Сделано это было французским часовых дел мастером в начале прошлого века. Затем он был значительно усовершенствован Рамсденом, который в 1775 г. построил его для приготовления винтов в изобретенной им же делительной машине.

Другое усовершенствование токарного станка, изобретение супорта,—приписывается Бентаму, взявшему на него патент в 1793 г. Почти в то же время Маудзли построил такой же супорт, работая на заводе Бьюма. Но, по справедливости, первую идею этого изобретения нужно считать принадлежащей французским механикам, так как в энциклопедии Дидро уже находятся чертежи, вполне схожие с тем, что было построено в Англии, спустя 20 лет.

Строгальная машина была изобретена Николаем Торком, французским часовых дел мастером, 1751 г. На этой же машине, за неимением в то время машин для рассверливания, производилась расточка насосного цилиндра для водопровода, построенного по распоряжению Людовика XIV в Версале.

Сверильные станки известны еще с XVI века и, вероятно, впервые появились в Германии, но первая автоматически действующая машина для рассверливания цилиндров, в которой резец, описывая окружности, перемещался вдоль направляющей цилиндрической полосы, изобретена Джоном Вилькинсоном, имевшим мастерскую около Честера, в 1775 г. Это приспособление имело почти тот же вид, как и теперь, и внесло значительное усовершенствование в способ рассверливания крупных вещей.

В 1784 г. англичанин Корт, которому принадлежит честь изобретения пудлингового процесса, впервые применил при выработке железа прокатный станок и тем дал сильный толчок железодельной промышленности. Только благодаря изобретению этого простого на первый взгляд

¹⁾ History of the first milling machine A. M. 1037—7—12.

станка железоделательное производство могло достичь того совершенства в котором мы видим его в наше время.

На ряду с появлением машин-орудий для обработки металлов появились машины-орудия и для обработки дерева. Первая из них, круглая пила, изобретена Самуилом Миллером, из Саутгамптона. Патент ему на это изобретение выдан в 1777 г.

Как ни странно, но между всеми мастерами столярного цеха не нашлось ни одного, кому бы пришла в голову мысль применить для обработки дерева вращающиеся резцы, уже с успехом применявшиеся для обработки металлов, и честь изобретения круглой пилы, которая справедливо должна считаться прототипом всех вращающихся резцов, употребляющихся для обработки дерева, выпала на долю парусного мастера, вероятно, во всю свою жизнь ни разу не применившего этого орудия для своего ремесла.

В 1794 г. Самуил Бентам в компании с своим братом основали целую фабрику для производства машин по обработке дерева, которые скоро нашли очень большое распространение.

Таким образом к концу XVIII века были изобретены и построены все главные типы существующих теперь машин-орудий для обработки металлов и дерева.

С этого времени машиностроение начало быстро развиваться. Чертежная, в которой создавались типы и конструкции машин, обыкновенно высказывала свои желания, намечала пути в этом развитии и ждала пока мастерская получала возможность осуществить ее идеи. Развитие конструкций шло рука об руку с развитием искусства обрабатывать металлы, находясь в тесной зависимости одно от другого, и трудно сказать, что чему предписывало.

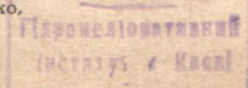
На пути этого развития совершенствование машин-орудий шло во главе всех других отраслей машиностроения. Представляя ту особенность что машины-орудия строятся на машинах же орудиях, они были изучены и усовершенствованы во всех деталях ранее всех других машин.

Вскоре образовались целые заводы, занимавшиеся исключительно изготовлением машин-орудий и поставившие эту отрасль машиностроения на высокую степень совершенства¹⁾.

Прежде всего подобные заводы появились в Англии, и первое место между ними бесспорно занимает фирма Витворта и К^о в Манчестере. Основана она в начале XIX столетия, но полное развитие получила около 1830 г. Конструкции и выполнение всех существовавших до того времени машин-орудий были доведены на этом заводе до той степени совершенства, в какой мы встречаем некоторые из них и в наше время. «Все усовершенствования Витворта по части машин-орудий, говорит Тиме, имеют первоклассное значение. Он ввел коробчатую, пустотелую отливку, позволившую достигать наибольшей прочности и устойчивости в частях при наименьшем расходе материала. Избегая большого числа составных частей, Витворт придал станкам изящные формы, в которых крупные и мелкие

¹⁾ Более подробно об этом см. «Основы машиностроения», проф. И. Гиммельс

А. П. Гавриленко.



2264 5196

части отлиты из одной цельной массы чугуна. В 1837 г. он изобрел и затем ввел во всеобщее употребление особые выверительные плиты, посредством которых можно получить почти математически правильные плоские поверхности». Ясно сознавая тот факт, что точно изготовить вещь можно только тогда, когда имеются средства проверить эту точность, Витворт создал целый класс особых мерительных инструментов—калибров, с помощью которых различались погрешности в 0,0001". Им же была построена особая мерительная машина, допускающая точность измерения до 0,000001".

Следующей по значению машиностроительной фирмой является завод Несмита и К°. На этом заводе построены многие оригинальные станки, как напр., поперечная строгальная, долбежная и др. В 1837 г. владелец фирмы, Несмит, построил паровой молот, изобретение которого нужно без сомнения признать одним из самых важных усовершенствований в способах обработки металлов. Появление парового молота кроме того, что упростило операции при ковке, прибавило много совершенно новых отраслей кузнечного дела и дало возможность производить такие поковки, о которых прежде нельзя было и думать.

Во Франции первое заведение для приготовления машин-орудий Каве основано в 1830 г., большинство машин-орудий в то время получалось из Англии. Но спустя 20 лет уже существовали такие замечательные заводы, как фирма Дюкомен в Мюльгаузе, Декосте в Париже, Шнейдер в Крезе и др. Французские машины-орудия по качеству, а главное по своей легкости уступали английским, но потом значительно усовершенствовались.

В Германии построение машин-орудий началось значительно позже, и немецкие машины по своим достоинствам уступали французским и в особенности английским. Успешное приготовление машин-орудий у немцев началось с тех пор, как они, подобно французам, стали подражать английским и американским образцам.

Около того же времени, в Северо-Американских Соединенных Штатах, в Филадельфии, была основана небольшая мастерская Вильямом Селлерсом в компании с Банкрофтом, которая через несколько лет разрослась в целый механический завод, прославивший себя на весь мир. Благодаря изобретательному гению лиц, стоявших во главе дела, завод выработал целый ряд машин и орудий, которые в скором времени были приняты как образцы строителями всех других стран. Нося исключительный характер оригинальности, они являлись примером высших конструктивных способностей и замечательной работы. Имея в лице Витворта прекрасного учителя, Селлерс воспользовался тем, что, по его мнению, было достойно подражания,—так напр., с самого начала на заводе был введен способ обработки по калибрам с известной надлежащей точностью для каждой отдельной детали, но с другой стороны, Селлерс не стеснялся вводить радикальные изменения и смело выставил на ряду с общепринятой винтовой шкалой Витворта свою собственную, находя ее более рациональной. В этом отношении в лице Селлерса особенно рельефно проявилась характерная черта американской изобретательности, которая, по словам проф. Рело, «отли-

чается непосредственной и быстрой сметливостью: имея, с одной стороны, ясно намеченную цель, а с другой стороны—взвешивая находящиеся в его распоряжении средства, или изобретая новые, американец выбирает те из них, которые для него кажутся наиболее простыми, и затем, не взирая на предыдущие примеры, идет возможно коротко к достижению своей цели». Это направление и видно во всех конструкциях машин, построенных Селлерсом. Старания этой фирмы были особенно направлены к созданию машин, способных при небольшом искусстве рабочего производить наилучшую работу и в большом количестве. Наглядным примером того, что может быть достигнуто усовершенствованием машин-орудий, в этом направлении, служит построенный заводом Селлерса станок для рассверливания паровых цилиндров, на котором паровой цилиндр в 19" вполне рассверливается и фланцы обтачиваются в три с половиною часа, тогда как обыкновенно на подобную работу тратится от 1 до 2 дней. Такими же достоинствами отличаются построенные на этом заводе болторезные машины, паровые молота, строгальные и др. машины, быстро завоевавшие себе рынок в Англии и на европейском континенте.

Вслед за Селлерсом стали появляться и другие заводы, так, напр., Бимент и Майльс, в Филадельфии, прославившийся своими паровыми молотами; оказалось, что и эта машина после своего гениального изобретателя оставила еще обширное поле для усовершенствований, и внимание, оказанное со стороны завода к этим усовершенствованиям, было оценено не только в Америке, но также и в Европе. Эта же фирма построила много совершенно новых и оригинальных машин для котельного и железнодорожного дела. Не меньшие заслуги оказаны для успехов машиностроения фирмой Браун и Шарп в Провиденсе, штат Род-Айланд, пустившей снова в ход забытую до того времени фрезовую машину и доведшей ее конструкцию до теперешнего совершенства. Этот же завод впервые выпустил так называемые револьверные станки и шлифовальные машины. Последние особенно замечательны получаемой на них точностью работы. Обработка может вестись с точностью до 0,00001 дюйма. Плоскости, обработанные на шлифовальных машинах, получаются столь точными, что, будучи положены друг на друга, слипаются.

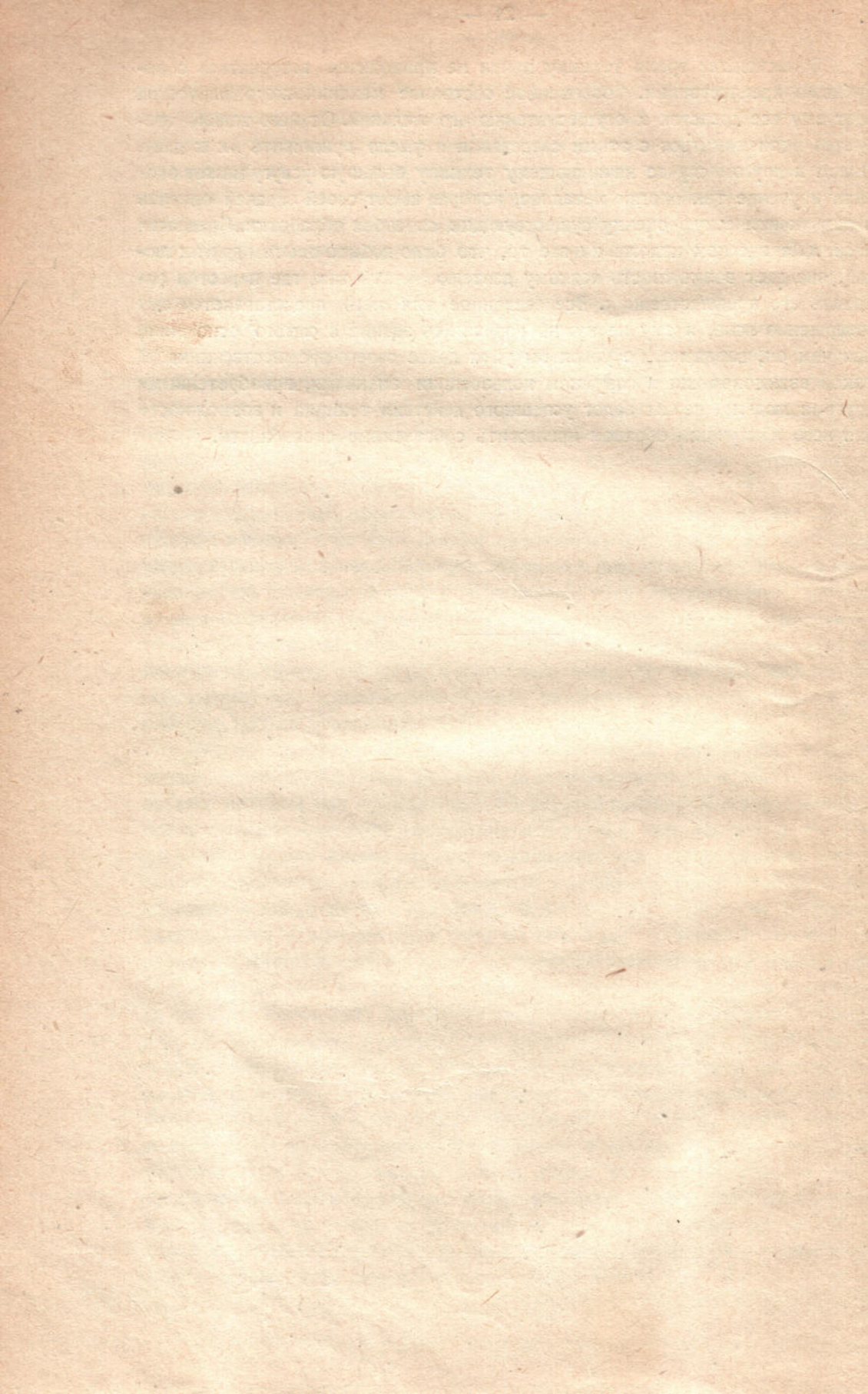
Соединенными усилиями этих и многих других лиц механическая обработка металлов достигла столь высокой степени совершенства, что в настоящее время для механических заводов является вполне легкой задачей выпускать на рынок целые миллионы таких мелких машин, как швейные пишущие, вязальные и др., требующих очень точного и однообразного исполнения, производя их при этом так дешево, что они стали доступны почти всякому, а с другой стороны, воздвигать таких гигантов, какими являются современные пароходные машины и сами пароходы в 70.000 индикаторных сил.

У нас, в России, до сих пор, к сожалению, еще слишком мало обращают внимания на то значение, которое хорошие машины-орудия оказывают на развитие машиностроения вообще. Повидимому, забывают тот несомненный факт, что эти машины составляют основу всех других отраслей

машиностроения, потому что какой бы законченный продукт из этой области мы ни взяли, проследив операции, при помощи которых он был получен, мы непременно вскоре столкнемся или с токарным станком, или со строгальной, сверлильной, фрезовой машиной, или со всеми этими машинами вместе. А ведь степень точности, достижимая при построении какой-нибудь машины, необходимо ограничивается теми орудиями, которые послужили для ее исполнения, тогда как экономичность, с которой может быть построена машина, а во многих случаях и самая возможность исполнения, вполне зависит от качества орудий. Поэтому даже истинная экономия производства требует, чтоб ничего не было упущено в машинах-орудиях по отношению точности исполнения, совершенства конструкции и производительной способности. Не взирая на это, в России до сих пор нет ни одного завода, специально приготовляющего машины-орудия, который качеством своих изделий снискал к себе полное доверие, и все требования на подобного рода машины исполняются почти исключительно заграничными фирмами. На очень немногих русских заводах можно встретить хорошие, вполне современные, мерительные инструменты, а в большинстве случаев способы измерения не идут дальше поломанных деревянных футов. Между тем постоянно изменяющееся представление о том, что может быть названо надлежащей степенью точности исполнения, есть безошибочный признак нашего прогресса в технике. Еще недавно гордились тем, что работают с точностью до сотых долей дюйма, и тем, что имеют средства наглядно продемонстрировать эту точность; в настоящее время не считают верхом совершенства, если в исполненных вещах различаются погрешности в 10 раз меньшие против указанных.

Всякий образованный техник должен бороться при случае с таким ненормальным положением дел и не должен забывать тот нравоучительный пример, который нам представляют все неудачи постройки паровой машины, после того как она была изобретена и в грубом виде построена Уаттом. Этот пример, как нельзя лучше, показывает, как тесно связаны между собою искусство обрабатывать металлы и машиностроение вообще, и как перемена в одном из них неизбежно ведет и требует перемен в другом: „как ни ясна и полезна была сама по себе идея Уаттовской машины, говорит его биограф, она не могла быть осуществлена при том низком уровне механического искусства, который существовал при первом появлении ее на свет. Когда Уатт показывал свою первую почти готовую большую машину знаменитому инженеру того времени Смитону, он одобрил принцип и искусство, но решительно объявил, что войти во всеобщую практику она не может, потому что требует для своего исполнения такой искусной работы, какой в Англии не существует и долго не будет существовать. А мнение этого инженера имело большой вес, и не будь сам Уатт прекрасным работником, а его компаньон, Болтон, таким мастером выбирать людей и организовать их, не сумей они выполнить того плана, который начертил Болтон еще в то время, когда у них не было ни машины, ни людей, ни компании,—план создать новую школу опытных механиков,—изобретению Уатта пришлось бы еще долго ждать своей очереди“.

В настоящее время технику почти не приходится встречаться с подобными препятствиями. Современное состояние механического искусства дает ему все средства к осуществлению его желаний. От него только требуется познакомиться с этими средствами и умело приложить их к делу. В том и другом случае начинающему технику большую услугу может оказать изучение технологии металлов, которая имеет своей задачей списать и дать критическую оценку существующих способов обработки. Предлагая в систематическом изложении все то, что было добыто опытом других людей, она дает возможность всякому деятелю начать там, где перестал работать его предшественник. Все сделанное для него представляется ему совершенно ясно, и ему не нужно воздвигать здание с самого основания, при чем он, вероятно, не успел бы уйти далее своего предшественника. В такой взаимопомощи и разумном пользовании знаниями, приобретенными другими людьми, лежит залог успешного действия техника и возможность для него наилучшим образом приложить собственные способности.



Механическая обработка металлов.

Под механической обработкой подразумеваются все те операции, при помощи которых бесформенные массы металла, по выходе его из металлургической печи, превращаются в предметы обыденного потребления. Сначала, отжимая шлаки и уплотняя металл, преследуется, главным образом, улучшение его физических свойств—крепости, вязкости, упругости, а затем производится изменение его формы.

Изменять форму металла можно тремя способами: 1) *расплавляя металл* и выливая его в заранее приготовленную форму; 2) *подвергая металл сильному давлению*, от чего он приходит в пластичное состояние и поддается действию давящего тела; иногда, чтоб уменьшить давление, металл приводится в пластичное состояние нагреванием; 3) *подвергая металл действию более твердого тела*, обыкновенно имеющего вид клина, который срезает лишний материал и таким образом сообщает ему желаемую форму.

Сообразно с этим все операции по обработке металлов могут быть разделены на следующие:

1) отливка металлов:

приготовление форм, плавление, отливка;

2) обработка металлов давлением:

а) в горячем состоянии: нагревание, прокатка, ковка;

б) в холодном состоянии: прокатка, волочение, штамповка;

3) обработка металлов резанием:

точение, строгание, сверление, шлифование, фрезирование.

Кроме того, размеры имеющих в продаже металлов часто оказываются недостаточными или неудобными для приготовления некоторых изделий, и тогда их приходится соединять по нескольку вместе; поэтому, к механической же обработке должны быть отнесены операции, служащие для соединения в одно целое отдельных кусков металлов, а именно; **сваривание, паяние и склепывание.**

Тот или другой способ обработки применяется, сообразуясь с физическими свойствами металла. Так напр., чугун, как металл, неспособный придать в пластичное состояние, может обрабатываться только по первому и третьему способу; железо, наоборот, плавится очень трудно, и потому его обрабатывают по второму и третьему способу; наконец, медь может обрабатываться всеми тремя способами.

Кроме того, на выбор способа обработки оказывают влияние экономические соображения, а также степень точности, которая требуется от изделия. Обыкновенно первый и второй способы оказываются наиболее дешевым, но большой точности выполнения ими достичь нельзя, а потому там, где точность ставится условием, должен применяться третий способ обработки.

Так как все способы обработки металлов, главным образом, основываются на их физических свойствах, то прежде чем приступить к изучению собственно технологии металлов, необходимо хорошо ознакомиться с их свойствами.

ЧАСТЬ I.

Металлы и их сплавы.

ГЛАВА I.

Общие физические свойства металлов.

1. Название „металл“ присвоивается слишком пятидесяти элементам, обладающим более или менее характерными признаками: хорошей проводимостью теплоты и электричества, ковкостью, плавкостью, непрозрачностью и особым металлическим блеском. Некоторые из этих элементов так близко по своим качествам подходят к металлоидам, что становится трудно провести резкую границу между тем и другим классом. Так, напр., цинк и висмут сначала причисляли к металлам; ртуть причислена к металлам только с 1759 г., после того как она была впервые заморожена Брауном.

Некоторые металлы находятся в природе в столь незначительном количестве, что нам даже неизвестны хорошо их физические и химические свойства. Весьма немногие металлы по своим качествам пригодны для технических целей, но, к счастью, все такие металлы находятся в природе в большом количестве и сравнительно легко добываются.

Наиболее ценные для техники, так называемые *полезные*, металлы суть: *железо, медь, олово, свинец, цинк, антимоний, висмут, никель и алюминий*. Некоторые из этих металлов в совершенно чистом виде мало пригодны для практических целей, так как в таком состоянии они обладают недостаточной крепостью; кроме того, в чистом виде их почти невозможно получить. Но те же металлы способны, соединяясь друг с другом или соединяясь с неметаллами, давать так называемые *сплавы*, которые по своим свойствам значительно отличаются от составляющих их элементов. Приготовляя тот или другой сплав, мы можем получить строительный материал, весьма разнообразный по своим физическим свойствам, можем сообщить ему любую степень крепости в пределах от незначительного сопротивления мягкого свинца, до громадного сопротивления закаленной стали. В тех же пределах можно изменять твердость и упругость материала; наконец, в нашей же власти изменять температуру плавления, цвет, гладкость, блеск и другие физические свойства сплава.

Вследствие вышесказанного в *практике чистые металлы употребляются только в исключительных случаях, в громадном же большинстве техника пользуется сплавами.*

Отличительные физические свойства полезных металлов и их сплавов, благодаря которым они особенно пригодны для техники, суть:

2. **Крепость**, или способность металла сопротивляться внешним усилиям, стремящимся нарушить связь между его частицами. Относительная крепость металлов может быть представлена следующей таблицей:

свинец	1	чугун от	7 до	12
олово	1,3	железо „	20 „	40
цинк	2	сталь „	40 „	100
медь от	12 до	20		

3. **Твердость**—способность сопротивляться стремлению постороннего тела проникнуть внутрь металла.

При сжатии тела, укорачиваясь по одному направлению, уширяются по другому. Отдельные частицы стремятся отдалиться друг от друга, отчего собственно и происходит разрушение тела.

Если бы этому поперечному уширению тела была поставлена преграда, напр. тело было бы заключено в прочный футляр, тогда конечно, сжимаемое тело не могло бы быть разрушено и может лишь явиться впрессованным, насколько при этом тело сожмется.

Аналогический с этим будет случай, когда на большую поверхность опирается тело меньшего размера. Тогда большее тело не будет разрушено сжатием, а только сомнется в месте прикосновения,—меньшее тело вдавится в него. *Способность тел сопротивляться сжатию и называется твердостью.*

Вообще дать точное определение твердости довольно трудно, так как в некоторых случаях наряду с тем, что в общежитии называют твердостью, выступают другие свойства—хрупкость, вязкость; примешивается также влияние времени. Например, марганцевую сталь нельзя лить самым твердым подпилком, но она вязка и при медленном действии сталь подпилка будет проникать внутрь ее.

Проф. Киршем были даны описания и сравнительная оценка всех известных в литературе методов определения степени твердости ¹⁾; они распадаются на три метода: *медленного сжатия, ударного действия и царапания.*

В большинстве за твердость материала принимается то сопротивление, которое он оказывает действию деформирующего его постороннего тела, и допускается предположение, что твердость по всей массе материала одинакова. Однако, это последнее предположение не всегда справедливо, напр., у тянутой проволоки или у железа и стали, подвергаемых холодному способу обработки на поверхности твердость больше; поэтому Кирш определяет твердость, как *большую или меньшую способность сохранять неизменяемость формы*, и отсюда заключает, что общая твердость должна измеряться пределом текучести (*Fließgrenze*), а твердость поверхности—той силой, с которой нужно давить на деформирующее тело в момент первого появления остающихся отпечатков на куске испытываемого материала. Для определения поверхностной твердости Кирш рекомендует употреблять особый штафт со строго определенной нажимающей площадью ($D = 5$ мм.) и производить испытание над гладкой поверхностью, увеличивая нагрузку до тех пор, пока не сделаются заметными остающиеся отпечатки (глубиной в 0,01 мм).

¹⁾ См. сообщения королевского промышленного музея в Вене 1891 г. стр. 79 *Mittheilungen d. K. K. Gewerbenmuseums in Wien 1891, S. 79.*

Проф. Kick'ом предложен подобный же способ определения степени твердости, основанный на измерении срезывающего усилия, которое находится в большой зависимости от предела текучести.

Метод царапания предложенный Martens'ом, состоит в измерении царапин, получающихся от алмаза, при чем за номер твердости принимается та нагрузка на алмаз, при которой получают царапины шириною в 0,05 мм.—Указанный способ мог бы получить преимущество перед другими при испытании очень твердых материалов, но он нехорош тем, что не дает вполне однообразных результатов.

Albert F. Shore предложил за твердость считать способность тела отражать ударное действие на него другого тела и для измерения такой твердости построил особый аппарат «склероскоп» (*склеро*—корень у греч. слова твердый) состоящ. из стеклян. трубки, внутри которой падает под собств. весом грузов, ударяется об испытуемый предмет и отскакивает от него; величину отражения отмечают по стоящей рядом с трубкой шкале. При помощи склероскопа получают очень интересные данные относительно твердости различных материалов. При помощи его же представляется возможным определять и строение закаленной стали, т.-е. степень закала, (I. A. 555 — 27 — 8 — 08; Mach. — 98 — 10 — 08). Даже определять химич. состав сплава (A. M. 1066 — 6 — 09; 545—09; Der heutige Stand der Hartepprüfung II. Gies. Z. — 457 — 10. № 15).

Определением твердости тел занимались также Кальверт и Джонсон ¹⁾. Они употребляли для этого стальной конический штифт и, нагружая его, заставляли вдавливаясь в испытуемое тело. Тогда груз, который, действуя в течение получаса, вдавливал штифт на 3,5 мм. и определял степень твердости тела.

Следующая таблица дает относительную твердость различных металлов:

чугун	1000	алюминий	271
сталь	958	цинк	183
железо	948	олово	27
медь	301	свинец	16

4. Плотность металлов весьма различна. Удельный вес некоторых металлов приведен в следующей таблице:

алюминий	от 2,50 до 2,70	сталь	от 7,80 до 7,90
антимоний	» 6,60 » 6,70	медь	» 8,60 » 8,90
цинк	» 6,80 » 7,20	никель	» 8,30 » 9,20
чугун	» 7,00 » 7,80	висмут	» 9,90 » —
олово	» 7,20 » 7,50	свинец	» 11,20 » 11,40
железо	» 7,30 » 7,90		

5. Вязкость, или тягучесть, — свойство металлов вытягиваться в тонкие нити без разрыва, чем тоньше нить можно вытянуть из данного металла, тем большею вязкостью он обладает; золото, напр., может быть вытянуто в нити толщиной $\frac{1}{5000}$ дюйма.

Следующая таблица представляет расположение металлов по убывающей степени вязкости.

золото	алюминий
серебро	цинк
платина	олово
железо	свинец
медь	

¹⁾ Ueber die Härte der Metalle, Pogg. Ann. Band 108.

6. **Ковкость**—свойство металлов расплющиваться в тонкие листы без разрыва. Наибольшую ковкостью, как и вязкостью, обладает золото; оно может быть расплющено в листы толщиной $\frac{1}{300.000}$ дюйма.

Железо также обладает большой ковкостью и расплющивается в листы толщиной до $\frac{1}{1000}$ дюйма.

Следующая таблица представляет расположение металлов по убывающей степени ковкости:

золото	свинец
серебро	цинк
медь	железо
олово	никель
платина	

Чугун и твердая сталь не обладают ни вязкостью, ни ковкостью.

7. **Плавокость** — свойство металлов переходить в жидкое состояние при известной, постоянной для каждого металла, температуре. Температура плавления весьма различна для различных металлов и может изменяться для одного и того же металла в зависимости от посторонних примесей.

В следующей таблице приведены температуры плавления наиболее важных металлов:

ртуть	— 40°Ц.	цинк	420
(лед)	0	серебро	950
олово	230	медь около	1100
висмут	260	чугун около	1300
свинец	330	железо около	1600

Температура плавления чугуна, стали и железа столь высоки, что для точного определения их не имеется средств, чем и объясняется разноречие цифр, приводимых для этих температур различными экспериментаторами.

8. **Теплопроводность** — свойство передавать теплоту от одного тела к другому.

Следующая таблица дает относительную теплопроводность металлов:

золото	1000	цинк	363
серебро	973	олово	304
медь	897	свинец	179
железо	374		

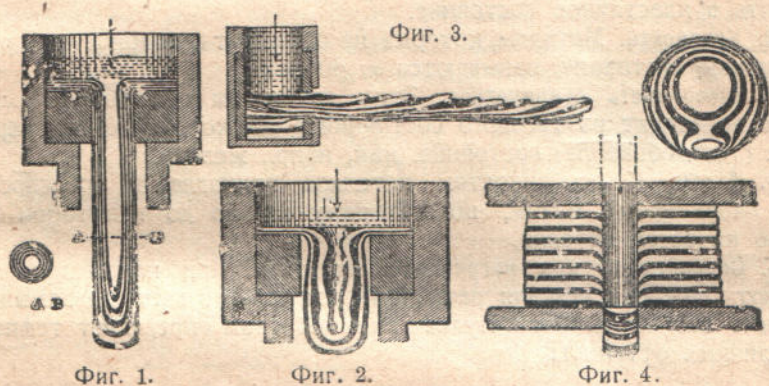
Относительная электропроводимость металлов почти такая же, как и теплопроводность. Оба эти свойства находятся в зависимости от температур и посторонних примесей металлов.

9. **Упругость** — свойство металлов принимать свою первоначальную форму по прекращении действия внешних сил, производивших изменение формы. Абсолютно упругих и неупругих металлов нет. Самые упругие металлы после деформации не вполне возвращаются к своей первоначальной форме, получают постоянное, остающееся изменение; с другой стороны, повидимому, совсем неупругие металлы обладают некоторым стремлением восстановить свою первоначальную форму. Величина деформаций обыкновенно до некоторого предела пропорциональна действующим усилиям, затем эта пропорциональность нарушается и увеличение деформаций идет гораздо быстрее, чем увеличение действующих сил.

У некоторых тел это нарушение пропорциональности наступает очень быстро (чугун), у других пропорциональность сохраняется почти до разрыва (закаленная сталь).

10. Пластичность. Очень многие металлы, после того как нарушается пропорциональность между деформацией и усилием, продолжают деформироваться под действием одного и того же, не увеличивающегося усилия, иногда даже усилие нужно уменьшать, чтобы не произвести разрушения металла. Такое состояние металла называется *пластичным*, а самое явление деформации известно под названием *истечения металлов*. На эту особенность металлов было указано еще в 1726 г. Луи Лемери и Реомюром, подробным же исследованием этого явления занимался профессор Треска. (См. также стр. 9).

11. Истечение металлов. Треска брал для своего опыта свинцовый цилиндр в 100 мм. высоты, помещал его между двумя металлическими плитами, в которых находились два отверстия по 20 мм. в диаметре. Через эти отверстия проходил пуансон, который пробивал отверстие в свинцовом цилиндре. При этом опыте вытесненный свинцовый цилиндр имел в высоту всего 30 мм., т.-е. как бы получал сжатие на 70%. Но при



определении плотности оказалось, что материал в вытесненном цилиндре остался той же плотности, как и материал в большом цилиндре. Следовательно, сжатия материала не происходило, и уменьшение высоты вытесненного цилиндрика можно было объяснить только тем, что материал при сжатии перемещался в сторону.

Для того, чтобы еще более выяснить себе, что происходит внутри тела при вышеописанном опыте, Треска брал свинцовый цилиндр, составленный из отдельных пластинок, и пробивал его пуансоном (фиг. 4). Тогда, как оказалось, различные слои в вытесненном цилиндрике были различной толщины. Верхние слои, за исключением первого, настолько утонились, что необходимо было допустить перемещение материала в стороны. По направлению к низу слои были все толще и толще. Наконец, самые нижние слои почти не изменили своей толщины.

Другой опыт Треска состоял в следующем. Он брал чугунный цилиндр с дном, в котором было отверстие. В этом цилиндре накладывались круглые свинцовые пластинки и сверху производилось давление поршнем. Свинец вытеснялся из отверстия и в разрезе представлял вид, показанный на фиг. 1.

Если общая толщина сжимаемых пластинок была меньше, чем диаметр отверстия, тогда вытекающий свинец принимает форму, представленную на фиг. 2.

Если отверстие сделано с боку чугунного цилиндра, тогда свинец вытекает в бок и принимает форму, показанную на фиг. 3. При этом свинец течет в отверстие не только со стороны давления поршня, но и с другой стороны, что указывает на равномерное распределение давления внутри металла.

Из этих опытов, произведенных профессором Греска над свинцом и другими мягкими металлами, можно заключить, что при известном сжатии металлы приходят в пластичное состояние, утрачивая вполне свою упругость. В этом состоянии отдельные частицы материала имеют стремление перемещаться в том направлении, которое представляет наименьшее сопротивление, т.е. твердое тело как бы приобретает свойство жидких тел — металл течет. Напряжение материала, соответствующее такому состоянию металла, Треска назвал *давлением истечения*.

Если истечение действительно происходит, то *напряжение материала во все это время остается постоянным*. Также из этих опытов было выяснено, что *плотность*, а следовательно и объем тел при истечении *не изменяются*.

Явление истечения играет важную роль при механической обработке металлов, так как все такие операции, как штамповка, ковка, прокатка, волочение и др., являются возможными, благодаря способности металлов, приходиться в пластичное состояние.

12. Хрупкость. Металлы, которые не обладают способностью приходиться в пластичное состояние, называются *хрупкими*.

13. Способность свариваться. Этим свойством обладают те металлы, которые переходят из твердого состояния в жидкое, проходят через пластичное (тестообразное) состояние, как, напр., железо.

14. Излом. К особенностям металлов принадлежит их способность давать характерный излом, по которому можно до некоторой степени судить о качестве металла.

15. Способность при нагревании светиться. При нагревании металлы испускают свет, при чем для различных температур свет, даваемый металлом, имеет особый оттенок. Пулье таким образом определяет температуры для различных оттенков:

Появление красного	525°Ц	ясно-вишн.-красный	1000°
темно-красный	700°	белый	1300°
появление вишневого	800°	белокалийный	1500°

16. Расширение при нагревании. Это свойство металлов весьма важно и его нужно иметь в виду при проектировании.

Следующая таблица дает коэффициенты линейного расширения металлов при нагревании на 100° ц. (от 0° до 100° Ц.):

цинк	0,0029417	сталь закаленная	0,0012395
свинец	0,0028575	железо	0,0012204
олово	0,0020000	чугун	0,0011250
медь желтая	0,0018782	сталь мягкая	0,0010788
медь красная	0,0017182		

Заканчивая этим краткий перечень физических свойств металлов, нужно заметить, что все эти свойства не суть абсолютно неизменяемые для каждого металла, напротив, они находятся в большой зависимости от примесей, температуры, способа обработки и др. Так, напр., литой металл обладает обыкновенно меньшей крепостью, чем тот же металл, прокованный после отливки. От температуры сильно изменяется электропроводимость и т. д. Поэтому все приведенные цифры, характеризующие свойства металлов, нужно понимать как приближенные, дающие только средние величины.

С п л а в ы.

17. Металлы, соединяясь друг с другом, образуют сплавы, которые вообще обладают характерными для металлов признаками: блеском, большей или меньшей вязкостью, упругостью, плавкостью, проводимостью теплоты и электричества и др. Но все эти качества обыкновенно значительно отличаются от таковых же качеств, составляющих сплав металлов. В некоторых случаях изменения находятся, повидимому, в известном соответствии с составными частями, в других же не подчиняются никаким законам. Вследствие этого является вопрос: что представляют из себя сплавы—химические соединения, или же просто механические смеси?

Положительного ответа на этот вопрос нет. Есть факты, говорящие в пользу того и другого предположения, что и выяснится при рассмотрении общих свойств сплавов.

18. **Получение сплавов.** 1) *Наиболее простым образом сплавы получают, расплавляя металлы и соединяя их вместе.* При этом всегда замечается или выделение или поглощение теплоты. И то и другое обыкновенно проявляется в очень незначительной степени, но в некоторых случаях это явление выступает очень резко. Так, напр., Мор указал, что если взять в равных пропорциях мелко измельченное олово, свинец и висмут и погрузить их в 8 частей ртути, то при этом температура сплава может понизится от $+17^{\circ}\text{C}$. до -10°C .

Нужно заметить, что не безразлично, в каком порядке будут сплавляться металлы, так как при этом могут получиться сплавы, хотя одинаковые по своему химическому составу, но различные по физическим свойствам.

2) *Металлы могут соединяться также под действием сильного давления.*

По опытам проф. Вальтера Спринга оказывается, что измельченные металлы под сильным давлением снова обращаются в цельный слиток. Спринг нашел, что для сплавления различных металлов нужно следующее давление:

для свинца	20	кил.	на	кв.	мм.
» олова	30	»	»	»	»
» цинка	60	»	»	»	»
» антимония	60	»	»	»	»
» алюминия	60	»	»	»	»
» висмута	60	»	»	»	»
» меди	50	»	»	»	»

Таким способом возможно сплавлять не только отдельные металлы, но можно получать и сплавы нескольких металлов. Так, если взять в измельченном состоянии 15 частей висмута, 8 частей свинца, 4 части олова и 3 части кадмия, то под сильным давлением получится сплав, который плавится при 98°C ., хотя самая низкая точка плавления из составляющих его металлов, олова, 230°C ..

Проф. Гофф (Виттен, Вестфалия) производил следующие опыты, он брал опилки стали, меди бронзы и главным образом белого металла, состоящего из 83 олова, 11 антимония и 6 меди (опилки в виде порошка). Около $\frac{1}{2}$ фунта смеси он помещал в стальной цилиндр, диам. 2", и подвергал давлению, постепенно повышающемуся до 50 тонн. При давлении в 10 тонн на поршень в 2" строение отдельных частичек еще можно было различить. Но при давлении в 50 тонн получалась совершенно однородная

масса. Если внутри цилиндра имелись углубления, то при указанном давлении они заполнялись как бы жидким металлом и при этом поверхность получалась настолько гладкая, что ее можно было подвергать никелированию, без предварительной обработки. Это наводит на мысль о возможности пользоваться большими давлениями взамен заливки вкладышей. Металл при этом получается более плотный (плотность при опытах увеличилась от 5,67 до 7,15) и не происходит окисление, а следовательно и угара металла. Machinery Apr. 4—423—04.

Подобное сплавление металлов нельзя приписать развитию теплоты при давлении, так как давление при опытах производилось очень медленно.

На основании этого нужно считать доказанным, что металлы могут соединяться в холодном состоянии, если только их частицы будут подведены достаточно близко друг к другу (нечто в роде химического соединения См. Eng. 829—12—04).

3) *Наконец, металлы могут соединяться при помощи электролиза, что очень часто и делается для получения бронзированных изделий.*

19. **Ликвация.** Многие сплавы переходя из расплавленного состояния в твердое, распадаются на составные части. Это явление известно под именем *ликвации*.

Степень ликвации зависит от того насколько сплав был нагрет перед выливанием в форму для охлаждения и насколько быстро это охлаждение производится. Но это влияние для различных сплавов сказывается различным образом. Для сплавов меди с оловом быстрое охлаждение уменьшает ликвацию, при медленном же охлаждении в середине отливки заметны белые пятна, которые представляют особый сплав меди с большим содержанием олова. Точно также внизу медь замечается в большем процентном содержании, чем в верхней части. При употреблении же охлаждающих форм, быстро отнимающих тепло, ликвации почти не замечается и по свидетельству генерала Ухациуса, металл получается равномерный по составу ¹⁾.

Подобное же явление ликвации замечается при остывании сплавов металлов с металлоидами. Так, напр., по опытам Снелуса ²⁾ оказалось, что при остывании стальных слитков содержащиеся в них углерод, сера и фосфор собираются главным образом в центре слитка и в верхней его части. Поэтому у стальных слитков, назначенных для производства орудий, верхняя часть, как наиболее рыхлая и содержащая вредные примеси, отрезается прочь.

Явление ликвации нужно иметь в виду при производстве больших отливок и даже поковок, так как часто, повидимому, не объяснимые трещины могут прямо быть приписаны этому явлению.

20. **Действие электрического тока на сплавы.** Насколько позволяют судить опыты, произведенные Обахом и Робертс-Аустеном ³⁾, даже ток силою в 300 ампер не разлагает сплавов, и в этом отношении сплавы походят на чистые металлы, а не на растворы химических соединений.

21. **Электропроводимость сплавов.** По исследованиям Маттисена ⁴⁾ электропроводимость сплавов может быть графически представлена тремя типическими кривыми: в виде буквы U (фиг. 5.), в виде буквы L (фиг. 6) и прямой линии (фиг. 7). Прибавляя золота к меди, электропроводимость последней быстро уменьшается, затем по мере увеличения примеси золота

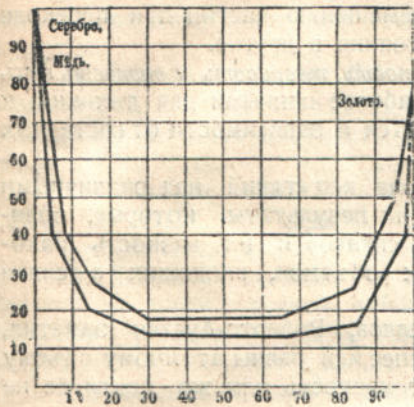
¹⁾ A treatise on alloys, by Thurston cr. 114.

²⁾ Roberts-Austen, Introduction to the study of metallurgy, стр. 65.

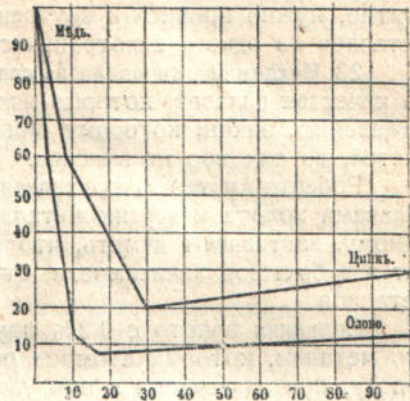
³⁾ Roberts-Austen, Introduction to the study of metallurgy, стр. 67.

⁴⁾ Philos. Trans. Roy Soc, 1860, стр. 61.

остается некоторое время постоянной, а потом начинает снова увеличиваться, достигая электропроводности чистого золота.



Фиг. 5.



Фиг. 6.

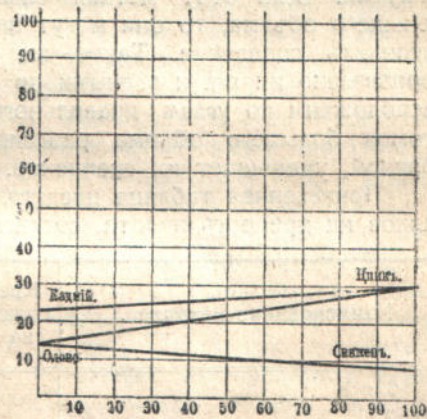
Тот факт, что столь незначительные примеси, которые, повидимому, не могут дать никакого определенного химического соединения, вместе с тем резко изменяют свойство сплава, заставляет предположить, что металлы, образуя сплавы, меняют свое аллотропическое состояние.

22. Переход в сплавах металлов из одного аллотропического состояния в другое. На существование подобного явления наводят многочисленные факты, где прибавление к металлу самых незначительных доз другого вещества, не способных образовать никаких определенных химических соединений, совершенно изменяет свойства металла. Если, напр., к расплавленному чистому висмуту прибавить 0.0005 теллурия, то охлажденный чистый металл будет кристаллизоваться в крупные с зеркальными поверхностями кристаллы, тогда как содержащий примесь теллурия кристаллизуется в самые мелкие кристаллы; первый будет отражать свет, а второй его рассеивать.

То, что металлы, образуя сплавы, меняют свое строение, может быть подтверждено непосредственными опытами: если взять сплав калия с 30% золота и бросить его в воду, то калий сгорает в воде, разлагая ее, а золото осаждается в виде черного порошка; этот темный порошок есть не что иное, как другое аллотропическое состояние золота, которое, соединяясь с водой, образует гидрат золота. При накаливании порошка до краснокалильного жара, он снова приобретает блеск золота.

Джоуль указывает на то, что если из амальгамы железа выпаривать ртуть, то полученное таким образом железо легко загорается на воздухе и этим подтверждает переход железа в другое аллотропическое состояние.

Точно так же, хотя алюминий и ртуть каждый отдельно не окисляются на воздухе, но если алюминий покрыт слоем ртути, то окисление быстро начинается и поверхность покрывается белой пленкой окисла, что



Фиг. 7.

опять указывает на перемену аллотропического состояния алюминия при образовании сплава с ртутью.

Поглощение или выделение теплоты при образовании сплавов, вероятно, нужно приписать внутреннему перемещению частиц при переходе металлов из одного аллотропического состояния в другое.

23. Механические свойства сплавов. *Крепость, твердость и вязкость* суть те качества сплавов, которые являются наиболее ценными для техники; к сожалению, закон, которому они подчиняются в зависимости от составных частей, до сих пор не выяснен.

Робертс-Аустен ¹⁾ произведя целый ряд испытаний над различными сплавами золота и других металлов, получил результаты, которые, повидимому, заставляют думать, что крепость сплавов и их вязкость находятся в большой зависимости от атомных объемов, входящих в сплав металлов.

Сплавляя золото с 0,2% других металлов, Робертс-Аустен заметил, что металлы, которых атомные объемы менее или равны атомному объему золота, при сплавлении с ним увеличивают крепость или же почти ее не изменяют. Те же металлы, атомные веса которых больше, чем у золота, всегда дают сплавы с меньшей крепостью и вязкостью.

Объяснить этот факт можно следующим образом: нужно предположить, что молекулы металла состоят из атомов элементарной шарообразной формы, которые, соприкасаясь, оставляют между собою промежутки. Если этот металл сплавляется с другим, у которого атомы меньшего объема, то они могут заполнить промежутки и, таким образом, увеличить сцепление. Такое же заполнение промежутков может быть произведено иногда и равными по объему атомами, если, напр., последние расположены по углам правильного шестиугольника. Присоединение же атомов большего объема раздвигает первоначальные атомы и, таким образом, уменьшает их сцепление.

Приведенная таблица представляет влияние примеси различных металлов на крепость золота, согласно опытам Робертс-Аустена.

Наименование металлов.	Крепость сплава кгр. на □ мм.	Удлин. % на 75 мм.	Количество примесей %.	Атомный объем.
Калий	0,8	—	0,2	45,1
Висмут	0,8	—	0,21	20,9
Теллурий	6,1	—	0,186	20,5
Свинец	6,4	4,9	0,240	18,0
Таллий	9,7	3,6	0,193	17,2
Олово	9,7	12,3	0,196	16,2
Антимоний	9,4	?	0,203	17,9
Кадмий	10,8	44,0	0,202	12,9
Серебро	11,0	33,3	0,200	10,1
<i>Чистое золото</i>	11,0	30,0	0,000	10,2
Палладий	11,0	32,6	0,205	9,4
Цинк	11,7	28,4	0,205	9,1
Родий	12,1	25,0	0,210	8,4
Марганец	12,4	23,7	0,207	6,8
Индий	12,4	26,5	0,290	15,3
Медь	12,7	43,5	0,193	7,0
Литий	13,8	21,0	0,201	11,8
Алюминий	13,8	25,5	0,186	10,6

¹⁾ Report to the Alloys Research Committee. Engineering vol. LIII и LV.

²⁾ Roberts-Austen, An Introduction to metallurgy, стр. 79.

Из целого ряда элементов исключение составляют только индий, литий и алюминий, которые, несмотря на большой атомный объем, все-таки увеличивают крепость и вязкость золота. Нужно предполагать, что эти металлы, образуя сплав, переходят из одного аллотропического состояния в другое.

24. Плотность сплавов. Плотность сплавов редко представляет среднюю величину из плотностей, составляющих сплав металлов. Обыкновенно при сплавлении металлов плотность их или увеличивается, или уменьшается, указывая на то, что в первом случае произошло сплотнение частиц, а во втором разъединение. При отливке вертикальной полосы весьма легко может случиться, что верхняя часть получится более плотной, чем нижняя.

Последовательные переплавки сплавов изменяют их плотность.

25. Плавокость сплавов. Почти во всех случаях температура плавления сплавов ниже средней температуры плавления составляющих сплав металлов. Некоторые сплавы, так называемые *легкоплавкие*, имеют температуру плавления ниже каждого из входящих в состав металлов.

Это явление многими считается как указание на то, что сплавы представляют из себя определенные химические соединения, но другие не соглашаются с этим. Маттисен, который произвел массу исследований над свойствами сплавов, полагает, что металлы образуют химические соединения только в расплавленном состоянии, а при охлаждении соединения эти распадаются и в затвердевшем сплаве металлы перешли только в другое аллотропическое состояние. При нагревании сплава снова является возможность для образования химических соединений, которые плавятся при более низкой температуре и затем действуют, как растворители, на соседние с ними частицы в результате получается легкоплавкость.

Некоторые сплавы плавятся при одной температуре, а затвердевают при другой; так, напр., все сплавы олова и свинца затвердевают при 181°C ., а плавятся при температурах от 181° до 292°C . сообразно с тем, в каких пропорциях сплавляются металлы.

Температура плавления сплава зависит от относительного содержания составных частей сплава. Тот состав сплава, при котором он получает наименьшую температуру плавления, называется *эвтектическим сплавом* (что означает—хорошо плавкий). Некоторые считают, что сплавы в расплавленном состоянии представляют раствор составных элементов сплава в эвтектическом сплаве. По мере остывания растворимость этих элементов уменьшается и, когда их растворы достигают степени насыщения, элементы начинают последовательно выделяться из растворов (ликвация). Когда остается в жидком состоянии один эвтектический сплав, то дальнейшее затвердевание его идет уже при почти постоянной температуре, что указывает на выделение при этом некоторого количества тепла и, таким образом устанавливает некоторую аналогию эвтектического сплава с химическими соединениями. Вследствие того, что сплавы не сразу переходят из жидкого состояния в твердое, а некоторое время остаются в полужидком виде, температура затвердевания таких сплавов, конечно, не может быть точно определена.

Пример подобно:о явления может представить сплав состава Bi_2PbSn_2 , который плавится в кипящей воде, но при остывании долго остается в тестообразном состоянии.

Некоторые элементы при их соединении могут образовать несколько эвтектических сплавов; так, например, медь с цинком (латунь) образует 4 эвтектических сплава, медь с оловом (бронза) образует 6 эвтектических соединений.

26. Коэффициент расширения сплавов. По исследованиям Кальверта и Лове даже небольшие примеси производят значительные изменения коэф-

коэффициента расширения при нагревании. Однако, им не удалось выяснить какого-либо закона, которому бы подчинялись изменения коэффициента расширения в зависимости от составных частей сплава. Замечено, что если к меди прибавить олова, то коэффициент расширения сплава получается меньше, чем коэффициент расширения меди, хотя, в то же время, олово значительно более расширяется, чем медь.

Упомянем о серии сплавов железа и никеля, заслуживающей внимания инженеров. Сплавы эти открыты д-ром Guillaume'ом и под именем „Invar'a" употребляются теперь в большом количестве во Франции для выделки маятников, калибров и т. п. Замечательная особенность этих сплавов, содержащих от 35% до 36% никеля, малая изменимость объема при изменениях температуры; — их линейное расширение или сжатие равно приблизительно $\frac{1}{10}$ линейного расширения и сжатия платины, т. е. практически, в условиях обыкновенных атмосферных изменений, совершенно незаметно. Заметим, что это свойство сплавов „Invar" зависит не только от тех пропорций, в которых в них входят никель и железо, но и от специальной обработки, которой они подвергаются; в эту обработку, между прочим, входят и длинные периоды отжига при очень умеренных температурах. Мы имеем здесь почти исключительный случай, когда два металла, обладающие приблизительно одинаковыми коэффициентами расширения, будучи сплавлены в определенных пропорциях и подвергнуты известной обработке, дают сплав, коэффициент расширения которого составляет лишь от $\frac{1}{13}$ до $\frac{1}{14}$ коэф. расширения каждого из металлов порознь.

Перегреватели, некоторые части водотрубных котлов, известные детали двигателей с внутренним сгоранием топлива часто причиняют нам много неприятностей, зависящих от температурных изменений, претерпеваемых потребленными металлами, и если бы мы могли употреблять для частей, в которых эти изменения имеют место, такой металл, коэффициент расширения которого был бы значительно меньше, мы избавились бы от многих хлопот. Открытие „Invar'a" показывает, что существование подобного металла вполне возможно, новые исследования должны быть направлены на открытие других сплавов с приблизительно такими же свойствами. (Б. П. О. 211—04).

27. Теплопроводность сплавов. В своих исследованиях Кальверт и Джонсон заметили, что некоторые сплавы не увеличивают теплопроводности от прибавления хорошо проводящих теплоту металлов ¹⁾. Так, напр., сплав 1 части меди и 3 частей олова проводит теплоту совершенно так же, как если бы меди совсем не было. Это будет справедливо до тех пор, пока содержание хорошо проводящего металла не превзойдет содержание других металлов; тогда, по мере прибавления хорошего проводника, теплопроводность сплава увеличивается и стремится приблизиться к теплопроводности хорошо-проводящего металла. Следовательно, в сплавах 1 ч. олова и 2 ч. меди или 1 ч. олова и 3 ч. меди и т. п., с прибавлением меди теплопроводность будет увеличиваться. Это обстоятельство нужно иметь в виду и не тратить даром меди при составлении сплавов первого типа, желая получить хорошую теплопроводность.

28. Цвет сплавов. Цвет сплава зависит от входящих в него металлов. Если к меди прибавить олова, то цвет станет желтее. Прибавляя еще немного цинка и свинца, получим сплав, который под действием воздуха окрашивается в нежный темно-коричневый цвет, характерный для художественной бронзы.

Различные металлы обладают различной окрашивающей способностью. Лебедур ²⁾ сообразно с этой способностью группирует металлы в следующем порядке:

олово	цинк
никель	свинец
алюминий	платина
марганец	серебро
железо	золото
медь	

¹⁾ См. диаграмму теплопроводности бронз.

²⁾ Die Legierungen, 1890, стр. 47.

Здесь металлы расположены по убывающей способности окрашивания. Так напр., сравнительно небольшая примесь никеля переведет красный цвет меди в белый.

29. Окисление сплавов. Вообще сплавы подвергаются окислению менее чем составляющие их металлы. Подтверждением этого могут служить древние статуи и монеты, которые сохранились еще довольно хорошо, несмотря на то, что подвергались действию атмосферы в течение тысячелетий.

Как уже было замечено, для технических целей металлы в чистом виде мало пригодны и в громадном большинстве случаев приходится употреблять сплавы металлов; к более подробному рассмотрению некоторых из этих сплавов мы теперь и перейдем.

Г Л А В А II.

Железо и его сплавы.

30. Железо. Химически чистого железа не существует. Почти чистый металл можно выделить при помощи электролиза, но таким образом полученное железо проявляет сильное сродство к кислороду, сере, фосфору и другим элементам, которые постоянно содержатся в железных рудах, топливе или плавнях, а потому при обыкновенных процессах добывания сейчас же соединяются с железом. По мере приближения железа к химически чистому состоянию, оно приобретает характер серебристого, сильно блестящего, мягкого, вязкого, ковкого, но не особенно крепкого металла. В чистом виде железо очень плотно; выделенное при помощи электролиза, оно имеет удельный вес 8,14. Температура плавления чистого железа неизвестна, но она выше точки плавления железа, встречающегося в продаже, для которого Пулье температуру плавления определяет в 1600°Ц. Соединяясь с незначительным количеством тех элементов, которые обыкновенно находятся в железных рудах, железо образует сплав, при чем уменьшает свою вязкость и плотность, но зато становится более твердым, крепким и более пригодным для технических целей. Элементы, которые его всегда сопровождают и находятся с ним в соединении, суть углерод, кремний, сера, марганец, а также иногда в незначительном количестве фосфор, алюминий, кальций, титан, вольфрам, хром и др.

Соединяясь с неметаллами, железо образует наиболее важные сплавы: *чугун, сталь и собственно железо (нечистое, продажное)*. Эти сплавы различаются своими физическими свойствами, которые главным образом зависят от различного содержания в железе углерода, а также и от способов выработки материала. Для избежания путаницы в определении различных продуктов, получающихся на железодельных заводах, в 1876 г., во время всемирной выставки в Филадельфии, Американским Институтом горных инженеров (American Institute of Mining Engineers) была создана международная комиссия, которая установила следующую классификацию: ¹⁾

1) Железо с содержанием углерода более 2% решено называть *чугуном* (cast pig iron; Gusseisen fonte).

2) Железо, которое получается из тестообразной массы или из сваривания отдельных кусков в пакетах, но не из расплавленного железа и которое в продаже вообще известно под названием *железа*, если оно не способно принимать закал (приобретать большую твердость при быстром охлаждении), решено называть *сварочным железом* (weld iron; Schweisseisen; fer soude).

¹⁾ См. также постановление Брюссельск. Конгресс. по однообр. испыт. материал.—1906 I. А. 966—28—3—07.

3) *Такого же рода продукт, если он по какой-либо причине способен принимать закал, решено называть сварочной сталью (weld steel; Schweisstahl; acier soude).*

4) *Железо, которое получено отливкой расплавленного металла в ковше слитки и которое неспособно принимать закал решено называть литым железом (ingot iron; Flusseisen; fer fondu).*

5) *Такой же продукт, но способный принимать закал, решено называть литой сталью (ingot steel; Flusstahl; acier fondu).*

Эта номенклатура была официально принята в Германии, Австрии и Швеции.

Нужно заметить, что из всех этих трех разновидностей только чугун является более определенным по своим физическим свойствам продуктом; что же касается до остальных двух: стали и железа, то они в зависимости от своего химического состава представляют целый ряд сплавов постепенно переходящих от совершенно мягкого, неспособного принимать ни малейшего закала сварочного железа до крайне хрупкой и совершенно неспособной свариваться стали. Поэтому является крайне трудным провести резкую границу и в каждом отдельном случае решить, куда правильнее отнести данный материал—к стали или к железу. Вследствие этого же и в описании физических свойств этих материалов мы рассмотрим отдельно чугун, сталь же и железо будем рассматривать совместно.

31. Микроструктура. Знакомство с природой железных сплавов значительно подвинулось вперед с тех пор, как при исследовании строения этих сплавов был применен микроскоп.

Исследования закаленного чугуна под микроскопом, как указывает на это Робертс-Аустен, производились еще Реомюром в 1722 г. Затем в 1833 г. Франсуа описывал железо, как представляющее собою металлическую сеть, видимую под микроскопом при увеличении в 300—400 раз. Но вполне практическое применение микроскопа для исследования строения железа было предложено в 1864 году д-ром Сорби. С тех пор способ этот значительно усовершенствован и при помощи микроскопа были сделаны весьма важные открытия.

Так как металлы вообще непрозрачны, то для исследования их под микроскопом должен применяться способ отраженного освещения. Но объектив большой силы так близко подходит к рассматриваемому предмету, что последний не может быть освещен со стороны, а потому для его освещения внутри самого микроскопа ставится особая призма, которая отражает свет, полученный извне, и посылает его по оси микроскопа.

Для исследования берется небольшой кусочек металла и поверхность его полируется сначала наждаком, а потом более мелким порошком, например, крокусом. Отполированная поверхность протравливается кислотой, промывается и высушивается. Менее растворимые части металла выступают в виде рельефа, вследствие чего представляется возможным изучать строение металла¹⁾.

Под микроскопом железные сплавы представляются далеко не однородной массой, напротив, они составлены из различных кристаллических масс, распределенных весьма неправильно. Эти отдельные кристаллические массы выделяются, вероятно, во время затвердевания металла или в то время, когда металл еще настолько пластичен, что отдельные молекулы имеют возможность перемещаться. Такая неоднородность микроскопиче-

¹⁾ Описание способов приготовления шлифов см. Артиллерийский журнал, ноябрь 1895 г. Также статьи Осмонда *Méthode générale pour l'Analyse micrographique des Aciers au Carbone*, Bulletin de la Société d'Encouragement pour l'Industrie nationale, 895—Mai, p. 481. См. также Металлография Евангулова и Вологодина.

ского строения не должна нас удивлять, так как в чугуне мы можем различать даже простым глазом различные вкрапленные места.

Между этими кристаллическими массами различают следующие разновидности:

I. Феррит. Это чистое или почти чистое железо. Он может присутствовать в большом количестве, как, например, в ковком железе и мягкой стали или может совершенно отсутствовать (твердая сталь). Содержание феррита в чугуне тем меньше, чем больше содержание связанного углерода; поэтому содержание феррита в очень сером чугуне значительно, в белом же чугуне феррит почти совсем отсутствует. Феррит состоит из довольно явных кристаллов, поверхности раздела которых хорошо выделяются при протравливании. Отдельные массы феррита не представляют правильно развитых форм, так как кристаллы не могли свободно развиваться, а были скомканы вместе вследствие напряжений, проявляющихся во время охлаждения. Кристаллы принадлежат к кубической системе. При шлифовке феррит дает совершенно гладкую поверхность, которая при дальнейшей обработке кислотой показывает кристаллическое строение. Феррит не принимает окрашивания.

II. Цементит или нормальный карбид. При нормальном составе это есть собственно карбид (Fe_3C), хотя в некоторых случаях часть железа в этом соединении может быть заменена другим металлом. Название *цементит* присвоено этой разновидности вследствие того, что она впервые была замечена в стали, полученной при помощи цементации. Цементит представляет очень твердое, блестящее вещество. Помимо его присутствия в перлите, цементит может находиться в железе в виде жилок или в виде отдельных скоплений. В последнем случае требуется очень опытный глаз, чтобы отличить его от чистого железа, но в данном случае признаком, отличающим карбид, может служить то, что при шлифовке более мягкое железо стирается, а твердый карбид выступает в виде рельефа. Карбид не принимает окрашивания. При вертикальном освещении имеет серебристо-белый блеск. Нормальный карбид имеет кристаллическое строение.

III. Аморфный карбид Арнольда. (Соответствует „аморфному железу“ Мюллера). На поверхности шлифа, в которых находится аморфный карбид, при погружении в слабую азотную кислоту сейчас же покрываются темной бурой пленкой углеродистого вещества, которое ясно выделяется под микроскопом. Окрашенная пленка состоит из железа с содержанием около 13%, нормального карбида (Fe_3C), но в аморфном состоянии, рассеянного в железе в виде неясноопределенных пластинок и зерен. Это является как бы началом формации перлита.

IV. Перлит. Эта разновидность наиболее развита в отожженной стали и резко бросается в глаза при рассматривании шлифа под микроскопом, так как перлит окрашен побежалыми цветами подобно перламутру, почему Сорби и присвоил этой разновидности название перлита. Перлит размещен в виде маленьких пластинок, иногда прямых, иногда волнистых, изменяющихся значительно как по толщине, так и по расстоянию друг от друга. Каждая такая пластинка состоит из чередующихся слоев феррита ($\frac{2}{3}$) и цементита ($\frac{1}{3}$).

V. Сорбит. Еще Сорби заметил, что в некоторых случаях составные части перлита являются окрашенными в синий и темно-красный цвет. Так как ни феррит, ни цементит при обработке шлифов окраски не принимают, то Осмонд считает, что перлит не всегда состоит только из этих двух разновидностей, а иногда в состав перлита входит особое вещество, которому он и присвоил название сорбит в честь открывшего его Сорби. По мнению Осмонда, с химико-физической точки зрения между перлитом и сорбитом нет большой разницы и сорбит может быть получен

на ряду с перлитом при ускоренном охлаждении, но без закала, или при закале стали сейчас же выше критической температуры, или при вторичном нагреве закаленной стали почти до той же критической температуры. Поэтому сорбит можно рассматривать как перлит, который не успел распасться на феррит и цементит за недостатком времени или по какой-либо другой причине; вследствие этого, по всей вероятности, сорбит содержит несколько более углерода закала, чем перлит.

Некоторые металлурги считают сорбит неважной составной частью стали и даже не различают его от перлита. Но Осмонд считает это неправильным, так как сорбит является „характерной составной частью“ при отрицательном закале и значительно улучшает свойства стали.

Под микроскопом характерным признаком сорбита является отсутствие слоистости и легкая окраска шлифов иодом, даже если он разбавлен (1 на 1) алкоголем.

Стед считает сорбит очень важной составной частью стали и в будущем предсказывает ему важную роль в металлургии. (М. Е. 348—9—03).

VI. Субкарбид. Эта разновидность указана профессором Арнольдом; встречается она только в закаленной или в закаленной и несколько отпущенной стали. При вытравливании шлифа, состоящего, главным образом, из субкарбида, шлиф сохраняет свою блестящую поверхность, но принимает темно-свинцовый отблеск, зависящий от образования тонкой оболочки углеродистого вещества. Субкарбид имеет однородное на вид некристаллическое строение, хотя, вероятно, тоже состоит из очень мелких кристаллов которые нельзя различить под микроскопом или вследствие их мелкости, или вследствие того, что поверхность раздела кристаллов затемняются углеродистой пленкой. Если субкарбит потравить, то он оказывается покрытым бархатистым темным налетом, который может быть удален пальцем, оставляя на последнем следы. Арнольд считает, что субкарбид не представляет аллотропического видоизменения железа, а является неустойчивым карбидным соединением железа, очень твердым, соответствующую формуле $Fe_{21}C$. Субкарбид очень тверд и не способен намагничиваться.

VII. Мартенсит. Осмонд не считает доказанным существование субкарбида Арнольда, хотя и сам указывает, что в закаленной стали различается особая разновидность, которую Осмонд считает аллотропическим видоизменением железа (железо γ) и которой он присвоил название мартенсит, в честь проф. Мартенга. Если, например, железо, содержащее 0,45% углерода, нагреть до 825° Ц. и затем быстро погрузить в охлаждающую смесь, имеющую температуру 20° Ц., то при вытравливании шлифа мартенсит проявится в виде групп параллельных нитей, расположенных в форме треугольников. Мартенсит не всегда окрашивается при протравливании, и если окрашивается, то принимает желтоватый оттенок. Под действием иода мартенсит окрашивается в желтый, бурый и черный цвет, сообразно с тем, какое количество углерода содержится в железе. Вследствие такой ненормальности в окрашивании, некоторые, в том числе и проф. Арнольд, совсем не считают мартенсита за особую разновидность. Проф. Гау считает, что эта разновидность есть железо (β) с растворенным в нем углеродом закала и сначала назвал его **Гарденит**, но потом предпочел присвоить название мартенсит.

VIII. Трустит. Осмондом же было указано, что если железо с содержанием углерода 0,45% нагреть до температуры 825° Ц., а затем медленно охладить до 690° Ц., и быстро погрузить в воду, то на шлифе будет заметно присутствие мягкого феррита, твердого мартенсита и вещества средней твердости, расположенного между ними. Эта составная часть отличается от такого же сложного по составу перлита и является переходным мате-

риалом от закаленной стали к мягкому железу. Подобно перлиту, трустит различается только под микроскопом, но его химический состав неопределен.

IX. Графит. Графит, явно выраженный, замечается только в сером чугуна, где он присутствует в виде пластинок характерной формы. В стали он иногда замечается в виде небольших пятнышек или удлинённых червеобразных масс, которые имеют совсем другое строение, чем пластинки, и в таком виде он называется углеродом отжига.

X. Шлак. Встречается только в тех сортах железа, которые были получены из сваривания полужидких масс, как, например, сварочное железо. Он замечается в виде массы неправильной формы и под действием сильного жара, повидимому, стремится слиться в отдельные куски.

Микроскопическое исследование железа и стали важно не только потому, что оно дает нам представление о строении железа, но и потому, что такое исследование может иметь громадное практическое значение. Многие вопросы, которые не могли быть разрешены при помощи химического анализа, теперь прекрасно осветились, благодаря микроскопу. Всякий инженер, который желает вполне познакомиться с природой железа должен непременно познакомиться и с весьма обширной литературой, касающейся до микро-исследования железа; интересующиеся этим подробный перечень всей иностранной литературы по этому предмету, появившейся до 1898 года, найдут в журнале *Iron Age*, January 27, p. 4, 1898. Затем много статей по этому предмету появилось в журналах *Journal of the Iron and Steel Inst.* и *Stahl und Eisen*. На русском языке особенно много места отводили этому вопросу *Горный и Архитектурский журналы*. См. также стр. 176. Металлография Евагулова и Вологодина.

Ч у г у н.

При выплавке из руд восстановленное железо растворяет в себе углерод, кремний, серу, фосфор, марганец и др. и получается из домы в виде чугуна.

Из домы чугуна выпускается в канавки, вырытые в земле, и затем разбивается на куски 4—5 пуд., известные в продаже под названием *свинок* или *штыка* (*штыковой чугуна*).

В последнее время американцы начали отливать чугуна в металлические формы на особого рода машинах. Подробности см. Бюллетени Политехн. О-ва 1902 г. № 3.

Сообразно с тем, как ведется выплавка, получают различные сорта чугуна, их сортируют и пускают в продажу под различными названиями.

32. Классификация чугуна. В Шотландии и Америке чугуны классифицируются по номерам.

Литейные чугуны: № 1 (темно-серый чугуна). Излом темно-серый с сильным металлическим блеском. Крупные кристаллы с поверхностью, напоминающей свежеразрезанный свинец. Дает хорошую отливку, легко плавится, в расплавленном состоянии жидок, мягок, несколько вязок.

№ 2 (серый чугуна). Излом серый; блеск ясный, металлический; кристаллы мельче, чем у предыдущего сорта; легко плавится, в расплавленном состоянии жидок, довольно крепок.

№ 3 (светло-серый чугуна). Излом светло-серый; кристаллы небольшие, к середине несколько большие и блестящие; блеск слабый; самый лучший чугуна для крупных отливок.

Переделочные чугуны: № 4 (светлый чугуна). Излом светлый; небольшие кристаллы; в расплавленном состоянии слишком густ для литейных целей; из него получается прекрасное железо.

№ 5 (*пестрый чугун*). Излом по краям серебристо-белого цвета, по середине белый с серыми пятнами и наоборот; тверд, хрупок, но иногда из него получается хорошее железо.

№ 6 (*белый чугун*). Излом серебристо-белый; зернистое строение с радиальными линиями кристаллов; чрезвычайно тверд и хрупок; употребляется только для низких сортов puddингового железа.

У нас в России обыкновенно при выплавке разделяют чугун на 4 сорта:

№ 1. *Серый чугун темный.*

№ 2. *Серый чугун светлый.*

№ 3. *Половинчатый чугун* (смешение белого с серым) ¹⁾.

№ 4. *Белый чугун.*

№№ 3 и 4 употребляются исключительно для переделки в железо, и потому изучение их составляет предмет металлургии; для литейного же дела идут только №№ 1 и 2, изучением свойств которых мы и займемся.

Кроме этих сортов, выплавляются чугуны с большим содержанием примесей, и тогда они имеют свои специальные названия: так, *чугун с большим содержанием кремния* (от 5% до 15%) известен под названием, ferro-silicium, кремнистого, а чугун с содержанием марганца до 20% называется зеркальным (Spiegeleisen). Чугун с содержанием марганца до 80% называется ferro-manganese (марганцевое железо).

Кремнисто-марганцевое железо содержит марганца до 20% и кремния 7—16%.

В последнее время стал приготовляться чугун с большим содержанием алюминия (до 15%) ferro-aluminium (*алюминиевое железо*). Тоже *хромовое железо*.

Эти специальные сорта чугунов употребляются как *примеси* или *присадки* в литейном деле.

Нужно заметить, что вообще классификация чугуна имеет только местное значение, и потому чугун, называемый в одном месте № 1, в другом месте может быть назван иначе. *Вполне точную характеристику чугуна дает его химический состав.*

Вследствие этого в хорошо поставленных литейных различные сорта чугуна классифицируются по их химическому составу.

Но каждая литейная пользуется также большим количеством **лома**. Подвергать лом анализу и классифицировать его на основании химического состава совершенно невозможно, так как сам лом не представляет однородной массы. Поступая как отбросы из различных мест, лом может содержать весьма различный по составу и свойствам чугун; вследствие этого невозможно из такой партии взять пробу для химического анализа.

Более практично сортировать лом по излому и называть различные сорта номерами. Для установления норм, с которыми можно бы было сравнить излом различных кусков лома, можно принять излом различных сортов штыкового чугуна, которые до плавки заведомо содержали 1, 2 и 3% кремния (предполагая, что содержание остальных примесей в этих чугунах было одинаково). Рассортировав таким образом лом, затем уже нетрудно будет решить в каждом отдельном случае, какой сорт его и в каком количестве следует употребить для составления колоши, назначенной для отливки данной вещи.

33. Химический состав чугуна ²⁾. Химический состав литейных чугунов колеблется в следующих пределах:

1) Если белого больше, то назыв. *третьим белым*, если более серого, то — *третьим серым*.

2) Состав чугунов, пригодных для различных отливок см. Р. Е. 92—7—04.

Углерод соед.	от 0,15 ^{0/0}	до 1,25 ^{0/0}	} вместе 2 ^{0/0} —4,5 ^{0/0}
Углер. в виде граф.	» 1,85	» 3,25	
Кремний	» 0,15	» 5,00	
Сера	» 0,00	» 0,50	
Фосфор	» 0,00	» 1,30	
Марганец	» 0,00	» 1,50	
Медь	» 0,00	» 0,4	
Железо	» 90,00	» 95,00	

Нужно полагать, что все эти элементы находятся в расплавленном чугуне в растворенном состоянии, образуя в то же время соединения друг с другом.

При остывании чугуна эти соединения выделяются из раствора одно за другим, сообразно с их точкой плавления, при чем выделившиеся уже твердые частицы распределяются в еще жидкой ванне по их удельному весу и группируются в зерна или кристаллы. Но при быстром застывании расплавленного чугуна, с каким мы встречаемся в литейной практике, явление ликвации происходит крайне слабо, так что практически можно считать, что затвердевший чугун получается равномерного состава по всей своей массе.

34. Состояние углерода в чугуне. *Естественное состояние углерода в чугуне — это в виде химического соединения с железом. Присутствие кремния вытесняет часть углерода, который отлагается в виде графита. Сера, фосфор, а в особенности марганец, наоборот, способствуют удержанию углерода в химическом соединении и если в чугуне находятся одновременно какой-нибудь из этих элементов и кремний, то их действие взаимно уравновешивается или какой-нибудь из них берет перевес, смотря по обстоятельствам. Таким образом, углерод является пассивным элементом и изменяет свое состояние в зависимости от присутствия других примесей. Углерод, химически соединенный с железом, дает белый чугун. Чем более углерода из химического соединения переходит в графит, тем ближе чугун приближается к темно-серому. Вместе с этим изменяются и все его физические свойства, а именно: крепость, твердость, хрупкость и плотность уменьшаются, а мягкость, температура плавления и жидкость в расплавленном состоянии увеличиваются.* Турнер ¹⁾ приводит следующие данные, характеризующие влияние на крепость и твердость чугуна того состояния, в котором находится углерод.

	Химически соед.	В виде графита.
Наибольшая мягкость	около 0,15 ^{0/0}	более 3,1 ^{0/0}
Крепость и мягкость	» 0,50	» 2,8
Наибольш. сопротив. сжатию и твердости	» 1,00	» 2,6

Цифры верны при общем содержании углерода около 3,4^{0/0}.

Ледебург утверждает ²⁾, что углерод присутствует в железе в четырех различных видоизменениях.

Первое из этих изменений углерода — *графит*. Он не поддается действию ни кипящей соляной кислоты, ни достаточно концентрированной азотной кислоты (удельного веса 1,2) и выделяется из железа, растворяя последнее в одной из этих кислот и прокаливая остаток. *Графит выделяется мгновенно из раствора в сплаве вскоре после затвердевания и рас-*

¹⁾ Engineering, Mai 1866, стр. 520.

²⁾ A. Ledebur. On the modification of carbon in iron. Paper read before the Iron and Steel Institute. Engineering. November 1893, стр. 552.

А. Ледебур. Чугун, как литейный материал, стр. 11.

пределяется равномерно по всей массе чугуна в виде гексагональных чешуек ¹⁾.

Второе видоизменение углерода—*углерод отжига* (temper carbon, Temperkohle). Подобное наименование присвоено ему потому, что *углерод отжига образуется при отжигании металла*, т. е. нагревая его в течение нескольких дней при белокалильном жаре. Если углерод отжига присутствует в достаточном количестве, то его можно различить невооруженным глазом на поверхности излома в виде небольших черных пятнышек, которые иногда, сливаясь вместе, образуют пятна большого размера и придают поверхности крапленый вид. Это видоизменение углерода, подобно графиту, не подвергается действию кислот, но отличается от последнего тем, что углерод отжига аморфен и, кроме того, если содержащие его железо нагревать в присутствии окисляющей среды, напр., железной окалины, то *углерод отжига быстро сгорает не только на поверхности металла, но и внутри его*, тогда как графит при тех же условиях остается нетронутым. Форкинъон нашел даже, что углерод отжига способен выделяться из железа, если раскаленный докрасна металл внести в струю водорода. *На этом свойстве углерода отжига—легко выорать из чугуна*, при чем чугун, обезуглероживаясь, приближается по свойствам к железу—и *основан способ приготовления ковкого чугуна*.

Третье видоизменение углерода—это *углерод карбида* (carbide carbon). Он 12,8 частями железа образует сплав, которому Абедем присвоена химическая формула Fe_3C (карбид). Этот сплав распределяется внутри всей основной массы чугуна в виде сетчатой ткани. Согласно исследованиям Осмонда, карбид образуется при охлаждении сильно накаливаемого металла между 660° и 708° Ц. Разлагается же он во время нагревания металла при температурах приблизительно на 40° Ц. выших против указанных. Таким образом, образование и распадание карбида происходит при температурах значительно низших, чем выделение графита. Подобно графиту образование карбида зависит от быстроты охлаждения; чем быстрее идет охлаждение, тем труднее образуется карбид.

Если железо, содержащее карбид, растворить в холодной слабой соляной или серной кислоте, то карбид получится в виде темносерого порошка вместе с другими нерастворимыми веществами, как графит и кремний ²⁾. Согласно с Мюллером, этот порошок состоит из отдельных

¹⁾ Это подтверждено Осмондом следующими опытами: Осмонд отливал цилиндрические бруски из чугуна, имеющего состав: кремния 2,13%, марганца 2,12%, серы—0,04% и фосфора—0,16%. Бруски эти нагревались до температуры 1155°Ц., затем обкладывались графитом, чтобы предупредить окисление, и оставлялись остывать до различных температур. Температура, до которой охлаждался брусок, определялась очень точно при помощи пирометра Лешателье. После этого бруски погружались в воду для быстрого охлаждения и подвергались химическому анализу. При чем были получены следующие результаты:

Температура перед погружением в воду	1120	1075	1000	900	750	610
Содержание графита %	0,18	2,02	1,96	2,06	2,64	2,65

Из этого Осмонд заключает, что при охлаждении до 1120 чугун содержит почти исключительно углерод закала, затем при охлаждении еще на 45 гр. происходит выделение почти всего графита. При дальнейшем охлаждении выделение графита хотя и замечается, но в самой незначительной степени. (Annales des Mines, 8-me serie, 1888, t 14 p. 49).

Того же самого мнения относительно времени выделения графита придерживается и американский металлург Кипп на основании своих исследований (Journal of the Iron and Steel Institute, 1895, v. II p. 235).

²⁾ Относительно способов определения разновидностей углерода в железе см. Annales des mines 1895, t. X, p. 357.

довольно твердых зерен очень небольшой величины, которые под микроскопом вызывают серебристый блеск и легко сгорают при высокой температуре. С другой стороны, если железо растворить в холодной азотной кислоте удельного веса от 1,18 до 1,2, то в осадке получаются бурные хлопья, которые согласно Осмонду и Верту содержат 45,59% углерода, 8,15% железа, 2,25% воды и 24,86% кислорода и азота. При нагревании эти хлопья растворяются и сообщают раствору бурю окраску. Присутствие карбида можно различить при помощи микроскопа на изломе металла; если его поверхность подвергнуть действию тех же кислот, тогда главная масса металла разъедается и карбид остается в виде выпуклостей, испещряющих всю поверхность.

Четвертое видоизменение—*углерод закала* (hardening carbon, Hartungskohle). Он равномерно распределен по всей главной массе металла и если по нему растворять в слабой серной или соляной кислоте при обыкновенной температуре, то углерод закала выделяется в виде углеводородного газа с неприятным запахом. Если растворение производить при низкой температуре, то углерод закала получается в виде черного осадка, который при слабом нагреве растворяется, а при температуре около 100°С улетучивается. Расплавленный металл содержит только углерод закала. При затвердевании и охлаждении постепенно выделяются графит, углерод отжига и углерод карбида. Охлажденная главная масса металла содержит тем меньше относительное количество углерода закала, чем больше успело выделиться предыдущих видоизменений углерода. Поэтому медленно охлажденный металл содержит меньше углерода закала, чем металл, быстро охлажденный.

Относительное содержание всех этих разновидностей углерода в различных чугунах видно из следующих примеров ¹⁾

	Графит и углерод отжига.	Карбид.	Углерод закала.	Полное содержание.
Темно-серый чугун; кремния—2,77%, марганца—1,3%	3,33	0,44	0,00	3,77
Светло-серый чугун; кремния—1,02%, марганца—0,28%	2,40	0,73	0,17	3,30
Твердый чугун (частью белый): кремния—0,83%, марганца—0,15%	0,19	2,43	0,58	3,20
Белый чугун: кремния 0,72%, марганца—0,10%	0,16	1,88	0,54	2,58

Присутствие углерода закала увеличивает твердость и хрупкость металла. Крепость тоже сначала увеличивается, но только до известного предела, хотя точно еще не установленного, при дальнейшем же увеличении содержания углерода закала крепость уменьшается.

35. Микроструктура чугуна. Серый чугун. Характерная особенность—присутствие в громадном числе маленьких изогнутых пластинок графита, которые распределены внутри массы разнородного состава, с большим содержанием феррита, в особенности в темносером чугуне, а также перлита и металлического остатка с посторонними примесями.

Серый чугун представляет очень сложное строение и, по всей вероятности, графит выделяется первым; после него выделяется перлит и феррит и при кристаллизации этих разновидностей остается еще металлический остаток.

¹⁾ А. Ledebur. Eisen-und Stahl giesserei. 1901, стр. 17.

Белый чугун. Главным образом состоит из перлита, кристаллизованного в кристаллы, имеющие вид перьев.

Графит отсутствует, а если и присутствует, то только в виде небольших пятен, распределенных в беспорядке; остальное представляет твердую массу, из которой выделился перлит.

36. Плотность чугуна. Удельный вес чугунов изменяется от 6,8 до 7,8. Гетье ¹⁾ дает следующие удельные веса для различных чугунов:

Темно-серый литейный чугун.	6,80	Белый	7,60
Серый	7,20	Соверш. белый	7,80
Пестрый	7,35		

Наиболее употребительные сорта литейных чугунов имеют удельный вес 7,20—7,30.

Плотность чугуна увеличивается при последовательных переплавках. Так, майор Вед приводит следующие удельные веса для чугуна № 1:

Первая плавка—удельный вес	7,032
Вторая " " "	7,086
Третья " " "	7,198
Четвертая " " "	7,301

37. Излом и блеск чугуна. Можно вообще считать, что из двух сортов чугуна, имеющих одинаковый цвет и крупность излома, тот будет более чист от посторонних примесей, кроме графита, который по свежем изломе выказывает наибольший блеск.

Чугун с матовым, землистым, т.-е. неблестящим изломом считается менее пригодным материалом для дальнейших переработок.

Блеск изменяется, конечно, с величиною зерен излома: чем излом будет более мелкозернист, тем менее будет его блеск.

38. Твердость чугуна. Твердость чугуна тем больше, чем чугун светлее. Серый чугун легко поддается обработке стальными инструментами, тогда как белый чугун можно обрабатывать только на точильных камнях, так как самая твердая сталь его не берет.

39. Хрупкость чугуна. Все сорта чугуна должны быть признаны хрупкими, так как ни один из них не способен приходить в пластичное состояние. Обыкновенно разрушение чугуна происходит сразу, без предварительной заметной деформации. Хрупкость чугуна увеличивается по мере того, как он становится светлее.

40. Крепость чугуна: а). *Сопротивление чугуна разрыву* находится в большой зависимости от его химического состава и плотности. Следующая таблица представляет средние коэффициенты крепости при разрыве для хороших сортов литейных чугунов.

Род чугуна.	Кoeffиц. крепости Килогр. на кв. мм.	Удельный вес.
Хороший штыковый чугун . .	14	7,10
Мягкий в отливке	17,6	7,22
Твердый в отливке	21	7,23
Мягкий пушечный чугун . . .	21	7,25

С увеличением плотности увеличивается и коэффициент крепости. Оставляя в стороне влияние пустот, получаемых в чугуне при отливке,

можно считать, что при изменении удельного веса D от 7 до 7,25 коэффициент крепости хорошего литейного чугуна будет выражаться формулой:

$$Z = 17,6 (D - 7) + 14$$

При больших массах чугуна коэффициент крепости может значительно понизиться вследствие появления внутренних напряжений ¹⁾ и уменьшения плотности. Насколько размер сечения влияет на крепость, можно судить уже оттого, что Годкинсон для брусков, отлитых из одного и того же чугуна и имевших сечение в 1—2 и 3 квадр. дюйма, получил различные коэффициенты крепости, которые относились между собою как:

$$100 : 80 : 77.$$

Форма сечений не столь влияет на крепость: по опытам Годкинсона для круглого и квадратного сечения коэффициенты крепости разнились не более 10%.

Последовательные переплавки ²⁾ значительно увеличивают коэффициент крепости чугуна, но при этом увеличивается также его твердость и хрупкость. Так по опытам майора Веда коэффициент крепости для чугуна № 1 изменялся следующим образом:

	Удельный вес.	Коэффиц крепости.
Первая плавка	7,032	9,84
Вторая плавка	7,086	16,10
Третья плавка	7,198	22,07
Четвертая плавка	7,301	25,16

Ферберн ³⁾ тоже производил подобные опыты, при чем один и тот же чугун Eglinton № 3 переплавлялся 18 раз. Наибольший коэффициент крепости, увеличенный на 660%, был получен после 12-й плавки, затем началось уменьшение коэффициента крепости.

Ледебур ⁴⁾ получил при своих анализах результаты, отличающиеся от вышеприведенного примера; именно, в тех сортах чугуна, которые послужили ему для опытов, коэффициент крепости начал уменьшаться после четвертой плавки.

Наиболее марганцевистый чугун (Глейвицкий) меньше всего теряет кремния; потери после 4-кратной переплавки, отнесенные к первоначальному содержанию кремния, простираются до

для „Coltness“	„Доброй надежды“	Глейвицкого
17,6%	24,0%	12,7%

и стоят в обратном отношении с содержанием марганца.

Такое различие в результатах происходит от иного химического состава чугуна. При каждой переплавке вследствие окисления содержание в чугуне углерода, а главное кремния и марганца, уменьшается; сера же наоборот, переходит из топлива в чугун и, наконец фосфор остается без перемен. Содержание кремния уменьшается при каждой переплавке на 0,1%—0,4%, почти в тех же пределах увеличивается содержание серы ⁵⁾.

¹⁾ См. ст. о внутренних напряжениях, стр. 41.

²⁾ См. Влияние последовательных переплавок. Engineering October 1886, стр. 415.

³⁾ Ферберн. Железо, стр. 233—235.

⁴⁾ А. Ледебур. Чугун, как литейный материал, стр. 70.

⁵⁾ T. West. Progress in foundry practice. Iron Age, 1893, стр. 799.

Вследствие этого чугун постепенно отбеливается, при чем до некоторого предела повышается коэффициент крепости, но вместе с тем увеличивается и его хрупкость. Марганец окисляется легче кремния, и потому при первых переплавках выгорает, главным образом, марганец, что и видно из приведенной выше таблицы. В зависимости от различного содержания этих веществ можно получить весьма различные результаты.

Окисление идет гораздо быстрее в пламенных печах, и потому в этом отношении вагранки лучше для литейных целей, чем печи.

Ч У Г У Н.	Химический состав.					Испытание на излом.		Сопротивление разрыву на 1 кв. мм.	Усадка на 1000 мм. длины.
	Полное количество углерода.	Кремний.	Марганец.	Медь.	Фосфор.	Сопрот. изло-	Полный прогиб бруса 30 м. толщ. 1000 мм. пролета.		
						му на 1 кв. мм.				мм.
						в кгр.	в кгр.	мм.	
„Coltness“ I.									
Чугун до переплавки	4,059	2,523	1,273	0,053	0,726	—	—	—	—
После 1-кратной переплавки	3,945	2,406	1,122	0,034	0,796	22,61	13,60	11,34	9,50
„ 2 „ „ „	3,464	2,446	0,879	0,032	0,763	22,88	15,71	12,92	9,33
„ 3 „ „ „	3,409	2,266	0,631	0,133	не оп.	22,41	14,30	10,25	8,50
„ 4 „ „ „	3,490	2,079	0,463	0,079	0,871	25,76	16,60	11,50	8,50
Завода „Доброй Надежды“ I.									
Чугун до переплавки	4,154	2,056	0,768	0,066	0,610	—	—	—	—
После 1-кратной переплавки	3,682	1,846	0,537	0,053	0,568	22,98	19,1	11,61	9,80
„ 2 „ „ „	3,641	1,688	0,441	0,066	0,638	22,18	16,3	13,83	9,66
„ 3 „ „ „	3,560	1,619	0,336	0,053	0,722	24,52	16,5	12,19	9,83
„ 4 „ „ „	3,468	1,549	0,126	0,063	не оп.	20,81	12,9	11,48	10,70
Глейвицкий пудлинговый.									
Чугун до переплавки	4,173	1,528	2,084	0,079	0,331	—	—	—	—
После 1-кратной переплавки	3,586	1,447	1,599	0,150	не оп.	17,27	13,0	9,68	9,50
„ 2 „ „ „	3,860	1,370	1,399	0,080	„	19,37	13,7	10,13	9,34
„ 3 „ „ „	3,763	1,378	1,038	0,079	„	21,70	15,1	12,95	10,50
„ 4 „ „ „	3,686	1,334	0,736	0,079	0,475	21,36	14,6	11,43	10,34

Продолжительность плавки также влияет на коэффициент крепости. Чем медленнее идет плавка, тем крепче получается чугун, что видно по следующим результатам опыта 1):

Время плавки.	Коэф. крепости.
1/3 часа	12,54
1 час	14,15
1 1/2 часа	17,14
2 часа	24,25

1) Rob. Thurston, Steel and iron. стр. 443.

Присутствие корки уменьшает коэффициент крепости чугуна, в особенности это заметно для мелких изделий ¹⁾. Происходит это потому, что корка, обладая большим коэффициентом упругости, не позволяет всей площади сечения равномерно сопротивляться разрывающим усилиям. Поэтому, желая получить величины коэффициентов крепости, пригодные для сравнения, необходимо для опыта употреблять образцы обточенные.

b) *Сопротивление чугуна сжатию, гораздо больше, чем разрыву.* Для сравнения приведу коэффициенты крепости, полученные при испытании одного и того же материала на разрыв и на сжатие. Пробы произведены с чугуном, предназначавшимся для отливки орудий.

Удельный вес.	<i>D</i> Коэффициент крепости при сжатии.	<i>Z</i> Коэффициент крепости при растяжении.	$\frac{D}{Z}$
7,087	70,14	14,68	4,8
7,182	98,30	21,71	4,5
7,246	111,18	25,05	4,5
7,270	112,53	27,77	4,5
			4,0

Из этой таблицы видно что чугун приблизительно в 4 раза сопротивляется лучше на сжатие, чем на растяжение.

Впрочем, коэффициент крепости чугуна при сжатии есть величина очень неопределенная и может значительно изменяться в зависимости от относительных размеров испытуемого образца. Так например, по опытам Баха ²⁾, тот же брусок, который при растяжении дал коэффициент крепости $Z = 18,60$, при испытании на сжатие для различных относительных размеров показал следующие коэффициенты крепости:

№	Высота образца в мм.	Диаметр образца в мм.	<i>D</i> Коэффициент крепости при сжатии.
1	40	19,9	72,32
2	19,8	19,8	75,00
3	10	19,9	85,00

Разница для 1 и 3 получилась на 18⁰/₁₀.

Если взять отношение $\frac{D}{Z}$ для № 2, то $\frac{D}{Z} = \frac{75}{18,6} = 4,03$, т.-е. при-

близительно то же, что и в первом случае.

При испытании круглых и квадратных образцов Бах нашел, что полученные при этом коэффициенты крепости разнятся на 3⁰/₁₀. Повидимому, все те обстоятельства, которые изменяют коэффициент крепости при растяжении, оказывают такое же влияние и при сжатии чугуна.

¹⁾ C. Bach, Elasticität und Festigkeit, 1889, стр. 103.

²⁾ C. Bach, Elasticität und Festigkeit, стр. 39.

с) *Влияние повторительных нагрузок на крепость чугуна* выражается тем, что чугун может разрушиться при напряжении, далеко не достигающем величины коэффициента крепости; поэтому весьма важно знать ту величину напряжения, при которой материал может выдержать произвольно большое число нагрузок.

По опытам Велера ¹⁾ оказалось, что чугун способен был выдержать следующее число нагрузок:

Напряжение изменялось от 0 до	Число повторительных нагрузок.	
12,09	3140	} разрушился.
10,50	4000	
9,76	10342	
8,90	45028	
8,25	78672	
7,50	7600000	} не разрушился.

Из этой таблицы можно заключить, что чугун при напряжении менее 7 кгр. на кв. мм. может выдержать произвольное число нагрузок, не разрушаясь.

Нужно заметить, что из других опытов Велера выяснилось, что *при повторительных нагрузках важны не только абсолютная величина напряжения, но также и то, насколько это напряжение изменяется*, и для чугуна это колебание напряжения не должно превосходить 7 кгр. на кв. мм. Впрочем, подобные опыты с чугуном были произведены в недостаточном количестве, и потому с приводимыми здесь цифрами нужно обращаться осторожно.

Слабые повторительные нагрузки могут увеличить крепость чугуна (см. § 50).

d) *Сопrotивление чугуна изгибу*. Коэффициент крепости при изломе определяется по известной формуле:

$$M = BW.$$

Здесь M — ломающий момент, W — модуль сопротивления, B — коэффициент крепости.

Если коэффициент крепости, вычисленный по этой формуле, сравнить с коэффициентом крепости, найденным при испытании тех же образцов на растяжение, то оказывается, что B получается от 1,4 до 2,4 больше Z . Разница будет тем больше, чем больше материала сосредоточено около нейтральной оси. Объяснить это нужно тем, что при выводе уравнения крепости предполагается, что деформации, а потому и напряжение материала, возрастают пропорционально расстоянию от нейтрального слоя. Но для чугуна, как материала неупругого, такие предположения в действительности не оправдываются. Напряжения внутри чугуна возрастают не так быстро, как деформаций, и потому в изогнутом бруске, хотя удлинение волокон и пропорционально их расстоянию от нейтрального слоя, но напряжение около нейтрального слоя увеличивается довольно быстро, а потом это увеличение идет гораздо медленнее.

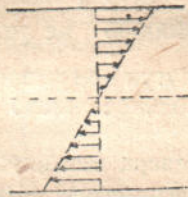
Изображая графически распределение напряжений при выводе уравнения крепости, предполагают, что напряжения в изогнутом бруске изменяются по закону прямой (фиг. 8), на самом же деле изменение напряжений выражается кривой (фиг. 9). Понятно, что при таком расположении напряжений волокна, лежащие около нейтральной оси, принимают

¹⁾ U и win, The testing of materials of construction, стр. 365.

большее участие в сопротивлении и коэффициент крепости бруска, рассчитанный по формуле $M=BW$, оказывается больше, сравнительно с коэф. крепости при растяжении.

Из только-что сказанного видно сколь нерационально применять общепотребительный способ испытания чугуна на излом и из этих опытов заключать об его крепости. В данном случае, на получаемый результат оказывают большое влияние форма и размеры сечения, а потому, сравнивая только совершенно одинаковые по форме и размерам образцы, можно получить цифры характеризующие относительную крепость. Суждение же об абсолютной крепости по таким опытам будет слишком неверно.

Корка чугуна при изгибе оказывает такое же действие, как и при растяжении, т.е. уменьшает крепость.



Фиг. 8.



Фиг. 9.

е) *Сопротивление чугуна кручению.* Коэффициент крепости при кручении определяется из уравнения:

$$M = W_0 T.$$

Здесь M —крутящий момент, W_0 —модуль сопротивления, T —коэффициент крепости.

В случае кручения, форма образца оказывает еще большее влияние на коэффициент крепости, чем во всех остальных случаях сопротивления чугуна.

Если назвать через Z коэффициент крепости при разрыве, T —коэффициент крепости при кручении, то Бах приводит следующее отношение $\frac{T}{Z}$ для различных случаев ¹⁾:

Форма сечения образца.	$\frac{T}{Z}$
Круг	1,02
Кольцо	0,82
Прямоугольник $a : b = 1 : 1$	1,42
$1 : 2,5$	1,60
$1 : 5$	1,50
$1 : 9$	1,59
Пустотелый квадрат	1,13

¹⁾ C Bach, Elasticität und Festigkeit, 1890, стр. 182.

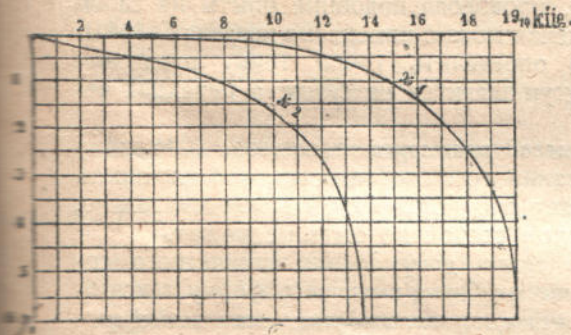
В некоторых случаях по опытам Баха ¹⁾, напр., при корытообразном, двутавровом сечении и др., уничтожение одного из ребер увеличивало крепость бруса при кручении.

41. Упругость чугуна. Чугун при растяжении, даже при небольших напряжениях, дает уже остающиеся удлинения и показывает заметное нарушение пропорциональности между напряжением и деформацией. То же нужно сказать о чугуне, подвергающемся сжатию. Онвин ²⁾ из своих опытов вывел следующую эмпирическую формулу, дающую очень близкую к действительности зависимость между удлинением в напряжением:

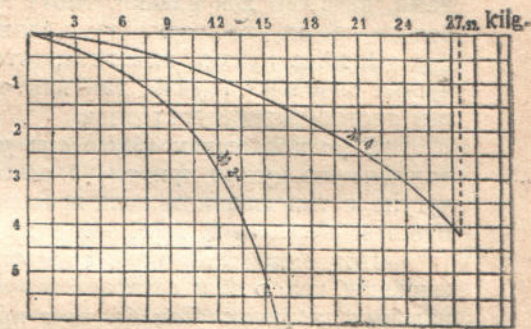
$$e = \frac{1,503p^3}{10^6} + \frac{1,685 p}{10^4} \quad \left. \vphantom{e} \right\} \text{ для длинных } \\ c = \frac{9,66p^3}{10^8} + \frac{1,782 p}{10^4} \quad \left. \vphantom{c} \right\} \text{ полос.}$$

$$e = \frac{0,39 p^3}{10^6} + \frac{1,62 p}{10^4} \quad \text{ для коротких } \\ \text{полос (8").}$$

Здесь e —удлинение, c —сжатие на единицу длины и p —напряжение в тоннах на кв. дюйм.



Фиг. 10.



Фиг. 11.

Фиг. 10 представляет графическое изображение деформаций чугуна при различных напряжениях от 0 до разрыва. Испытания производились Торстоном двух сортов чугуна «Салисбюри» №№ 2 и 4.

Фиг. 11 представляет диаграмму сжатия тех же чугунов: по оси ординат откладывались удлинения упругие и остающиеся, по оси абсцисс—напряжения. Из чертежа видно, что деформации как при растяжении, так и при сжатии возрастают гораздо быстрее, чем напряжения.

№ 4 по этим испытаниям оказывается более крепким и менее податливым.

42. Сопротивление чугуна ударному действию. В некоторых случаях важно знать способность чугуна сопротивляться ударам; для этого производят испытание образцов, подвергая их ударам под капром. Вообще оказывается, что наилучшим образом сопротивляются ударам те сорта чугуна, которые дали хорошие результаты при испытании их на изгиб.

¹⁾ Zeitschrift des Vereines deutscher Ingenieure, 1889, также С. Вах, Elasticität und Festigkeit, стр. 167—170.

²⁾ Unwin, The testing of materials of construction., стр. 264.

Во французских литейных считают чугун достаточно крепким, если призматический образец с сечением в 40 на 40 мм., положенный на опоры, отстоящие на 160 мм., при ударе бабою весом в 12 кгр. ломается при падении бабы с высоты 400—450 мм. Особо крепкие сорта позволяют увеличить подъем бабы до 550 мм., слабые ломаются уже при падении с высоты 300 мм. (Кнабе. Литейное дело, стр. 294).

43. **Плавкость чугуна.** Температура плавления чугуна изменяется от 1000° до 1300° Ц. Чем большее количество углерода находится в химическом соединении с железом, тем при более низкой температуре плавится чугун. Поэтому наиболее легкоплавким чугуном является белый, а наиболее трудноплавким—темно-серый ¹⁾. Жидкость уже расплавленного чугуна зависит от общего содержания углерода в чугуне: наиболее жидким является темно-серый, наиболее густым—белый. Чем больше углерода, тем жиже чугун. В зеркальном чугуне весь углерод находится в химическом соединении с железом и количество его не меньше, чем общее количество углерода (до 5%) в темно-сером чугуне; поэтому он плавится при низкой температуре и в то же время очень жидок, несмотря на то, что бел. *Присутствие кремния, обуславливая большее содержание графита, а также образуя трудно-плавкие соединения с железом, повышает температуру плавления.*

При совместной плавке нескольких чугунов можно получить чугун, у которого точка плавления будет выше или ниже сравнительно с чугунами, взятыми для плавки. Шотт ²⁾, производя подобные опыты на своем заводе, нашел, что температуру плавления можно изменять в пределах 450° Ц.

Вообще нужно заметить, что определить точно точку плавления чугуна довольно трудно, так как чугун плавится не сразу, а переходя через тестообразное состояние.

В расплавленном чугуне весь углерод растворен в железе. К такому заключению нужно притти на основании того соображения, что плотность чугуна в три слишком раза превышает плотность графита; следовательно, простой смеси этих двух тел в жидком состоянии быть не может.

При остывании чугуна выделяет часть углерода из химического соединения, который и отлагается в виде графита, имеющего форму гексагональных табличек. Чем быстрее происходит охлаждение, тем менее графита успевает выделиться. Вследствие этого серый расплавленный чугун, будучи быстро охлажден, может быть переведен в белый. Этим свойством пользуются для закалки чугунных изделий ³⁾. В этих случаях форму приготавливают металлическую и при отливке, вследствие большой теплопроводности металла формы, наружный слой чугуна быстро остывает и изделие получает довольно толстую, твердую корку белого чугуна.

¹⁾ Для подтверждения этого Томасом Вестом была построена вагранка с центральной фурмой и вертикальной перегородкой посредине. В обе половины загружались различные сорта чугуна и так как обе части вагранки были в совершенно одинаковых условиях, то по скорости плавки в той и другой половине и заключали о плавкости чугуна. Из многочисленных опытов, произведенных Томасом Вестом, оказалось, что твердые сорта чугуна плавятся легче, чем мягкие. Engineering Sep. 1898, p. 338, также 319—1898/1.

²⁾ F. Kohl, Iron and steel manufacture, стр. 57.

³⁾ Закалку чугуна можно производить, не переводя его в расплавленное состояние. Действительно, как показали опыты Осмонда, при известной температуре, несколько высшей 1100° Ц. весь углерод в чугуне переходит в углерод закала, и если нагретый до такой температуры чугун быстро охладить, то углерод закала не успеет перейти в графит и чугун получится закаленным. На практике этим свойством чугуна не пользуются, так как температура закала столь высока, что нагретое до нее изделие легко может испортиться или даже начать плавиться.

Можно также закалять чугун при помощи цементации (Case Hardening). См. А. М. 513—04, А. М. 891 Е.—11—04.

Вследствие тех же причин получается твердая корка, но более тонкая, при обыкновенной отливке в форму, приготовленную из песка. Чем форма суше, тем корка получается менее твердой.

Путем ускоренного охлаждения, которое происходит при отливке расплавленного чугуна в металлические формы, можно почти вполне остановить выделение графита и достигнуть того, что весь содержащийся в жидком чугуне углерод удержится и после охлаждения в виде карбида и углерода закала. О взаимном отношении, в котором находятся различные разновидности углерода в чугуне при отливке его в землю или изложницах, можно получить ясное представление из нижеследующих данных химического анализа, полученных Ледебуром:

	Содержание углерода:				Кремний.	Марганец.	Фосфор.	Железо.
	в виде графита и углерода отжига.	в виде углерода закала.	в виде углерода карбида	Общее содержание.				
При отливке в изложницах	0,19	0,58	2,43	3,20	0,83	0,15	0,88	94,91
Светло-серый чугун, выплавленн. на древесном угле	2,40	0,17	0,73	3,30	1,02	1,02	0,59	94,81

Массивные предметы, как медленно остывающие, всегда получаются более мягкими, чем вещи, даже если они отливаются из одного и того же сорта чугуна.

На такую способность чугуна переходить из серого в белый большое влияние оказывают находящиеся в нём примеси. Кремний и алюминий препятствуют отбеливанию чугуна, и при достаточном их содержании чугун совершенно не может получить закала. Марганец, сера и фосфор, наоборот, способствуют отбеливанию чугуна, и потому для получения твердых поверхностей к расплавленному чугуну прибавляют Spiegeleisen'a (марганцевого чугуна).

Нужно заметить, что количество углерода, способного раствориться в расплавленном чугуне, увеличивается с температурой жидкого металла. При остывании часть углерода выделяется из раствора и, имея меньшую плотность, всплывает на поверхность в виде так называемой спели. Такое же выделение спели может произойти и оттого, что в расплавленный металл попадает случайно из стенок вагранки немного кремния, который сейчас же и вытеснит часть углерода, хотя температура металла останется и неизменной. Спель не следует смешивать с графитом, характеризующим собой серый чугун. Последний выделяется после затвердевания и потому, не имея возможности двигаться внутри металла, распределяется равномерно по всей его массе; спель же, всплывая на поверхность, не изменяет качеств чугуна и только при большом скоплении может испортить внешний вид отливки.

Расплавленный чугун, подобно другим металлам, способен поглощать газы ¹⁾, эта способность увеличивается с повышением температуры и уве-

¹⁾ Comptes Rendus, 1875, стр. 319; 1877, стр. 260.

личением давления. Поэтому чугун по выпуске из домны или из вагранки, испытывая меньшее давление и охлаждаясь, начинает выделять обратно поглощенные им газы. Кроме того, газы могут образоваться внутри чугуна вследствие окисления углерода и серы. Чтобы уменьшить присутствие газов, вызываемых серой, к чугуну можно примешивать марганца, который, соединяясь с серой, образует сернистый марганец, не столь вредный для чугуна. У чугунов с небольшим содержанием кремния и марганца выделение газов всегда сопровождается появлением густого белого дыма, который по мнению Ледбура, состоит главным образом из *двуокиси кремния*. Кроме указанных дымящих газов, из чугуна выделяется *водород, окись углерода* и в небольших количествах *азот*.

По мере того, как чугун начинает застывать, выделение газов затрудняется, и они пробиваясь сквозь тонкую оболочку, образующуюся на поверхности, увлекают с собой твердые частички чугуна, которые и разлетаются в виде искр. *Присутствие таких искр при выпуске чугуна из вагранки служит верным признаком, что чугун остыл и недостаточно горяч*.

Выделение газов из чугуна продолжается также и после того, как он затвердел. Это, по словам Мюллера подтверждается тем фактом, что образующиеся в чугуне пустоты не представляют безвоздушных пространств, а, напротив, наполнены газами под давлением, большим атмосферного. Кроме того содержание водорода в таких пустотах гораздо больше, чем в газах, взятых на поверхности. Это указывает также и на то, что в затвердевшем чугуне выделяется главным образом водород, выделение же окиси углерода прекращается.

Если расплавленный чугун вылить в ковш, то на его поверхности сейчас же образуется окисел, более темный, чем самый металл. Вследствие движения горячего чугуна этот слой окисла постоянно трескается, и трещины представляют собой блестящие движущиеся фигуры—*чугун играет*. Замечательно, что для каждого сорта чугуна эти фигуры получаются более или менее однообразные. Постоянно накапливающийся окисел образует на поверхности небольшие плавающие кружки до 10мм. в диам., под которыми собираются газы, и когда чугун затвердеет, то под этими кружками получаются углубления, очень часто наблюдаемые в отливках, произведенных в открытых формах. Подобные же углубления могут получиться от всплывающих наверх труднорастворимых в чугуне соединений: под ними точно так же скопляются газы, давящие на металл и оставляющие довольно глубокие отпечатки.

Подобные соединения состоят, по анализу Ледбура ¹⁾, из

SiO ₂	FeO	Fe ₂ O ₃	MnO	P ₂ O ₅	Mn	S
29,30	46,73	13,46	6,40	2,66	0,79	0,46

При затвердевании чугун, как и все вообще тела, сохраняет некоторое время постоянную температуру вследствие выделения скрытого теплота. (Это положение оспаривается Осмондом).

По исследованиям сделанным Грунером ²⁾, число калорий, заключающееся в 1 кгр. чугуна, было:

¹⁾ А. Ледбур. Чугун, как литейный материал, стр. 38.

²⁾ Проф. Г а д о л и н. Литейное дело. 1889, стр. 29.

	При выпуске из домы.	Перед за-твердеванием.	Немедленно после за-твердевания.	Скрытый теплород.
Серый . . .	280—285	244—245	221—222	23
Белый . . .	260—265	246—235	192—203	24—32

Таким образом *скрытый теплород для серого чугуна 23 кал., для белого—24—32 кал.* 1).

В вагранке чугуна перегревается, и находясь в горне 1 кгр. чугуна содержит около 300 кал.

В зависимости от способа плавки и скорости охлаждения сильно видоизменяется строение чугуна. Здесь можно различить следующие категории:

1) Быстрая плавка, с перегревом чугуна — и медленное охлаждение.

При этом замечается более сильное выделение графита и увеличение зерен излома, которые даже в белом чугуне начинают ясно выделяться.

Перегрев чугуна, который всегда сопровождается более продолжительным соприкосновением со стенками печи, влечет за собой насыщение чугуна кремнием, а следовательно, и связанное с этим усиленное выделение графита.

2) Быстрая плавка с перегревом и быстрое охлаждение выделяет графит хотя и в том же количестве, но менее явно, Излом получается сплошь серый, но более мелкозернистый. Белый чугун при подобной переплавке весь остается белым, но с еще более мелкозернистой структурой.

3) Быстрая плавка без перегрева—медленное охлаждение.

4) Быстрая плавка без перегрева—очень быстрое охлаждение.

Увеличение выделения графита не замечается. 3-й случай дает чугун более крупнозернистый, чем 4-й.

5) Медленная плавка с перегревом—медленное охлаждение.

6) Медленная плавка с перегревом—быстрое охлаждение.

7) Медленная плавка без перегрева—медленное охлаждение.

8) Медленная плавка без перегрева—быстрое охлаждение.

В последних 4 случаях медленная плавка способствует более сильному химическому действию продуктов горения и слабому действию футеровки печи. При плавке в вагранке чугун будет насыщаться углеродом, при плавке в печи—окисляться и терять кремний. Иногда чугун будет получаться более крупнозернист, иногда более мелкозернист, смотря по тому, как идет охлаждение—быстро или медленно.

44. Усадка чугуна. При остывании расплавленный чугун дает усадку; поэтому формы должны готовиться соответственно большего размера.

Различные чугуны дают различную усадку: *белый—наибольшую, серый—наименьшую.* (Объяснение этого смотри в следующем §). 2)

1) Schmidt определяет его в 59 кал. (Ж. Р. М. О.—539 № 4—10).

2) Профессором Томасом Тунером было исследовано явление охлаждения чугуна: Прибор состоял из формы с испытуемым металлом, из приспособления для измерения усадки полосы при остывании и из пирометра. Металл отливался в песчаную форму, оставлялся остывать, при чем один конец слитка оставался неподвижным, а передвижение другого, свободного конца отмечалось особым прибором. В то же время при помощи термоэлектрической пары, помещенной в металлах измерялась температура слитка. Кривые, изображающие процесс охлаждения, получились 4-х родов, в зависимости от числа остановок усадки во время охлаждения. При охлаждении меди, кривая течет непрерывно, и остановки в усадке не замечаются. В белом чугуне замечается одна остановка в усадке. В сером гематитном чугуне замечаются две остановки. В чугуне норсгамптон замечаются три остановки. Эти остановки в усадке, несомненно, указывают на то, что в известные моменты при охлаждении некоторые металлы расширяются. Journal Iron and Steel Inst. 1906 г.

В различных сортах чугуна усадка изменяется от $\frac{1}{50}$ до $\frac{1}{135}$. В среднем линейную усадку чугуна можно принять равной 0,01.

Величина усадки чугуна может служить характерным признаком по отношению к другим свойствам чугуна. Если чугун дает большую усадку, то вместе с тем он будет иметь мелкозернистый излом и обладать значительной твердостью и наоборот. Чугун с большой усадкой будет давать непрочные мелкие отливки и выказывать большую крепость в массивных отливках. При этом тот же самый чугун в мелких отливках даст большую усадку, чем в массивных. В больших вещах чугун получится более мягким, в мелких — более хрупким. Поэтому *чугун с большой усадкой более пригоден для массивных отливок.*

45. Увеличение объема при затвердевании чугуна. Если в расплавленный чугун бросить кусок твердого чугуна, то последний сначала погрузится в жидкость, а затем, нагревшись до известной температуры, всплывает на поверхность и будет плавать. Это указывает на то, что расплавленный чугун плотнее, чем затвердевший чугун, нагретый до известной температуры. Между тем как при остывании расплавленного чугуна, так и при остывании уже затвердевшего чугуна происходит сокращение его объема: на это указывает как сама усадка, так и появление усадочных пустот внутри отлитых вещей; таким образом, чугун при остывании как бы все время уплотняется. Такое, повидимому, противоречие объясняется тем, что расплавленный чугун, содержащий весь углерод в химически соединенном состоянии, сейчас после затвердевания, выделяет его в большом количестве в виде графита, менее плотного, чем чугун, отчего сразу увеличивается объем сплава и уменьшается плотность, затем при остывании продолжается дальнейшее сокращение твердого чугуна.

Чем больше выделится графита, тем больше в этот момент, увеличится объем отливки и тем меньше получится общая усадка. Поэтому *серые чугуны, более богатые графитом, дают сравнительно меньшую усадку.* Точно также, присутствие Si и Al, увеличивая выделение графита, уменьшает усадку изделий. По той же причине *медленно охлажденный чугун дает меньшую усадку, чем быстро охлажденный.*

46. Внутренние напряжения. В чугуне, как и вообще во всех литых металлах, при затвердевании проявляются внутренние напряжения. Понятие об этих напряжениях и причины, их порождающие, можно уяснить из следующего. Вообразим, что форма, имеющая вид шара, наполнена расплавленным чугуном. При охлаждении прежде всего затвердевает внешняя поверхность и образует род тонкой корки. Если в этой корке не будет отверстий для свободного выпуска находящегося внутри ее, еще жидкого, чугуна, то при дальнейшем остывании и сокращении корка должна будет треснуть. Если в каком-нибудь месте, обыкновенно там, где вливается чугун в форму, оставлена возможность для выхода жидкого чугуна, то при сокращении корки часть заключенного внутри чугуна вытеснится¹⁾. При дальнейшем остывании к внешней корке прибавляется другой затвердевший слой, но более горячий. Все эти слои будут при остывании сокращаться, но вследствие того, что они имеют различную температуру, стремление сократиться будет все больше и больше по мере приближения к центру. Таким образом внешний слой будет удерживать от сокращения лежащий рядом с ним, тот, в свою очередь, — следующий за ним и т. д. В центре вследствие усадки должен получиться менее плотный металл или даже небольшая пустота. Все эти последовательные слои, действуя друг на друга,

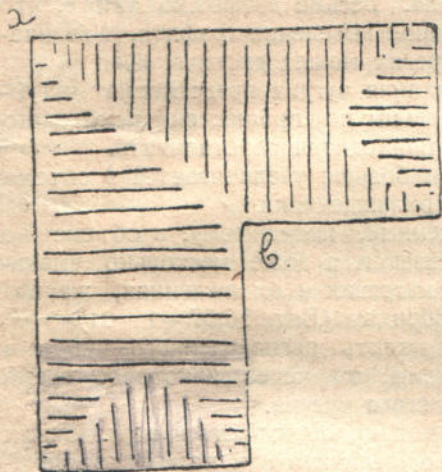
¹⁾ Такое явление и наблюдается при отливке крупных предметов и известно у литейщиков под названием *роста чугуна.*

вызывают внутренние напряжения. У отлитого таким образом шара внешние слои сжаты, внутренние растянуты. Отлитая вещь всегда находится как бы под действием внешних сил, направленных нормально к ее поверхности.

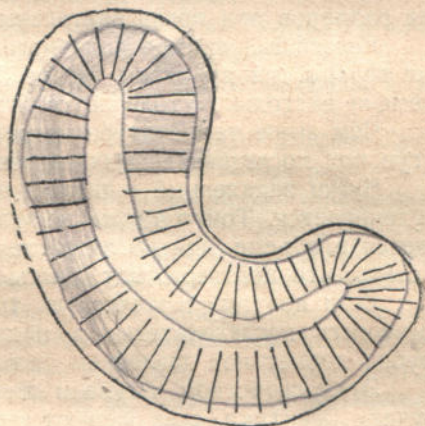
Предметы с округленными поверхностями будут иметь внутренние напряжения распределенными более равномерно, чем предметы, имеющие угловатые формы.

Действительно, если мы сравним две отлитые вещи (фиг. 12 и фиг. 13), то увидим, что у фиг. 12 получится линия раздела *ab*. По этой линии, вследствие усадки материала, происходящего по направлению штриховки и вследствие того, что кристаллы чугуна располагаются своими осями перпендикулярно к этим линиям, получится менее плотный слой чугуна, а потому и менее прочный, так наз. *плоскости слабину*.

Так как внутренние напряжения получаются от *неравномерного охлаждения* чугуна, то чем больше будет эта *неравномерность*, тем большую ве-



Фиг. 12.



Фиг. 13.

личину приобретут внутренние напряжения, и иногда может случиться, что внутренние напряжения превзойдут коэффициент крепости, т.-е. отлитая вещь лопнет.

Например, при отливке колеса обод, спицы и втулка представляют из себя неоднородные массы чугуна, которые остывают обыкновенно с различной скоростью, и вследствие этого в подобной отливке явится натяжение или сжатие, передающееся спицами от обода к ступице. Если обод, спицы и втулка проектированы непропорционально, то вследствие слишком большого внутреннего напряжения самая слабая из этих частей лопнет.

От внутренних же напряжений зависят искривления, происходящие в отливках. Так, напр., если отливается тонкая плита, имеющая на поверхности толстое ребро, то при остывании прежде всего затвердеет сама плита, а затем уже начинается затвердевание и сокращение толстого ребра, которое и поведет в свою сторону всю плиту: плита получится вогнутой со стороны ребра. Если в такой отливке ребро распилит, то плита выпрямится.

В виду вышесказанного при проектировании нужно избегать резких переходов от тонких частей к толстым, а также резко очерченных угловатых форм.

Уменьшить внутренние напряжения при отливке можно, заботясь с равномерном охлаждении отливой вещи, т.-е. охлаждая искусственно

толстые части или же замедляя охлаждение тонких частей, обкладывая их дурными проводниками тепла ¹⁾.

В совершенно же *готовых отливках* внутренние напряжения уничтожаются при помощи *отжига*, т.-е. подвергая отливку продолжительному накаливанию; при этом частицы металла приобретают некоторую подвижность и приходят в равновесие. Охлаждение нагретой таким образом вещи должно производить возможно медленнее.

47. Увеличение объема чугуна при последовательных нагреваниях и охлаждениях ²⁾. Если отлитую вещь из чугуна нагреть и потом охладить, то окажется, что размеры ее несколько увеличились. Происходит это, вероятно, вследствие уничтожения внутренних напряжений. Первоначально сжатые, внутренние части отливки при нагревании внешней поверхности получают возможность расширяться; сообразно с этим расположение частиц и выделение графита во внешних, сильно нагретых слоях, меняется, и по охлаждении является увеличение объема. Весьма возможно также, что при сильном нагреве происходит добавочное выделение графита. Увеличение размеров при последовательных нагревах может достигь 4⁰/₀.

Рельефный пример подобного разбухания чугуна представляют чугунные вальцы для прокатки листов. Эти вальцы по прошествии некоторого времени настолько утолщаются, что их приходится перетачивать.

Чем выше температура нагрева, тем больше увеличивается в объеме чугун при последовательных нагревах и охлаждениях.

Чугун закаленный и потом отожженный, повидимому, в объеме не увеличивается. Точно также не увеличивается, а даже несколько уменьшается в объеме, при последовательных нагревах и охлаждениях, железо и сталь, что подтверждают опыты Аутербриджа (Eng. 56,57—1—04).

Если поэтому в железную трубку налить расплавленного чугуна и подвергать последовательным накаливаниям, то через некоторое время трубка лопнет под давлением расширившегося чугуна.

Этим свойством чугуна и железа можно пользоваться в различных случаях практики, если желают несколько увеличить или несколько уменьшить размеры какого-нибудь изделия; например, при изнашивании. При нагревании изделие следует покрывать глиной, чтобы поверхность его не окислялась и таким образом не портилась.

Это свойство чугуна нужно иметь также в виду при проектировании частей, подвергающихся нагреву.

48. Пустоты или отдушины, получающиеся внутри чугуна. *Отдушины*, встречающиеся внутри чугунных отливок, происходят от двух причин. Во-первых, от *усадки чугуна*: при остывании затвердевшая корка представляет собой как бы сосуд, наполненный жидким чугуном, при дальнейшем охлаждении объем сосуда почти не изменяется, тогда как объем, наполняющего его чугуна продолжает уменьшаться; в результате необходимо должны получиться пустоты.

Если подобная отдушина образуется недалеко от поверхности, то чугун вдавливается в эту пустоту и на поверхности получается *впадина или утляжина*. Для избежания таких пороков в тех местах, где можно ожидать отдулин, ставят *наросты* или *прибыли*, которые и пополняют из себя чугун, по мере того, как он уседает.

Во-вторых, *отдушины могут получиться вследствие способности чугуна*, находясь в расплавленном состоянии, *растворять в себе газы*. Эти газы при остывании начинают выделяться и в виде пузырьков подни-

¹⁾ Примеры искусственного охлаждения см. I. А. 1814—26—12—07.

²⁾ См. Исследования проф. Ragan и Carpenter. Journ. Iron and Steel Inst.—LXXX, 29—143 Ж. Р. М. О. 542—№ 4—10.

маются на поверхность. Если при этом чугун достигнет известной густоты, то пузыри газа не будут в состоянии проникнуть на поверхность и останутся внутри чугуна, образуя отдулины.

Как уже было сказано, способность поглощать газы увеличивается с давлением; поэтому чугун, выпущенный из домны или вагранки с дутьем, должен содержать больше газов и, следовательно, представляет большую опасность получить отливку с отдулинами, чем чугун, расплавленный в печах или вагранках, в которых тяга достигается разрежением.

Газы могут образоваться внутри чугуна, в самой форме, вследствие окисления углерода за счет окислов железа, попадающих в форму.

Присутствие в чугуне кремния и алюминия способствует получению отливок без отдулин, хотя точно не выяснено, каким образом они действуют: уменьшают ли они вообще поглощение и образование газов или, делая чугун более жидким, позволяют газам свободно выделяться, не производя отдулин.

49. Влияние посторонних примесей на качество чугуна.

а) **Сера.** Сера может попасть в чугун из руды и из топлива и влияние ее примеси на качество чугуна вообще точно не выяснено, в особенности в том случае, когда кроме серы находятся и другие примеси, как, наприм., кремний.

Присутствие серы, несомненно, вредно в тех чугунах, которые идут для переделки в железо, так как сера, попадая в железо, делает его красноломким. В переделочных чугунах содержание серы не должно превышать 0,03%. В чугунах, идущих для литейных целей, небольшое количество серы никакого вреда не приносит (повышает температуру плавления). *Чугуны с содержанием серы до 0,1% считаются еще хорошими литейными чугунами, большее же содержание серы делает чугун слишком пустым и неудобным для отливки.* Вообще присутствие серы в небольшом количестве удерживает углерод в соединенном состоянии, и потому чугун получается тверже и дает большую усадку; но если в то же время к чугуну примешаны обратные действующие элементы, как напр. кремний, то действие серы нейтрализуется, и можно встретить чугуны, содержащие до 0,5% серы, дающие прекрасную отливку.

Сера, присутствуя в чугуне, способна образовать соединение с железом, которое, обволакивая отдельные кристаллы, уменьшает их связь между собой и тем уменьшает вообще коэффициент крепости. Если при этом чугун дает большую усадку, то вследствие больших внутренних напряжений и малого коэффициента крепости легко могут получиться трещины.

Аду¹⁾ при исследовании различных чугунов на своем заводе (Langlois Iron Works) заметил, что сера в свинках чугуна главным образом сосредоточена около середины. Это обстоятельство нужно иметь в виду при анализе чугуна²⁾.

Для того, чтобы очистить чугун от серы Санитер (Journal of the Iron and Steel Institute, 1893 v. I, p. 80) предложил особый состав, который примешивается к чугуну, налитому в ковш. Состав содержит 44 части по весу известняка, 22 части обожженной извести и по 17 частей высушенных хлористого кальция и плавикового шпата. Эта смесь в количестве до 2,5% бросается в ковш перед тем, как напускать в него расплавленный чугун. Анализы показали, что чугун, содержащий до очистки 0,23% серы, после очистки имел серы лишь 0,025%.

1) F. Kohn, Steel and iron manufacture стр. 34.

2) См. § 19. Ликвация.

б) **Фосфор.** Поступает главным образом из руд и находится в связанном с железом состоянии (Fe_3P и Fe_2P). Присутствие фосфора в небольшом количестве, до 0,75%, для литейных чугунов скорее полезно, чем вредно, так как *чугун при этом, не теряя в крепости, более жидок* в расплавленном состоянии, и потому лучше для отливок. Томас Турнер в подтверждение этого указывает на опыты; которые были произведены ¹⁾ над 50 сортами английских чугунов, при чем в лучших из них содержание фосфора колебалось от 0,19% до 0,72%. *Содержание фосфора более одного процента делает чугун твердым и очень хрупким*; вместе с тем фосфор понижает температуру плавления чугуна, увеличивает его жидкость в расплавленном состоянии. В тех случаях, когда крепость чугуна не играет роли и когда интересно получить его возможно жидким для хорошего выполнения всех тонкостей формы, как, например, при отливке художественных вещей, ребристых приборов отопления, к чугуну нарочно прибавляют фосфора, и иногда его содержание достигает до 6%.

Если же изделие подвергается действию высоких температур, (кокили в сталелитейных, цилиндры и другие части двигателей внутрен. сгорания и т. п.), присутствие фосфора более 0,03% недопустимо.

В чугунах, идущих для переделок в железо по кислому способу, даже небольшое присутствие фосфора вредно, так как железо при этом получается *холодноломким*; при получении же железа основным процессом (Томас-Жилькрист) присутствие фосфора даже необходимо, так как, сгорая, он дает в конвертерах нужную температуру. В этом случае чугун должен содержать Ph от 2% до 3%.

Присутствие кремния в чугуне уменьшает вредное влияние фосфора: марганец, наоборот увеличивает его.

в) **Кремний.** Кремний находится в чугуне исключительно в химическом соединении с железом и изменяет его качества вследствие двух причин:

- 1) *действуя, как примесь сам по себе (непосредственно);*
- 2) *влияя на состояние углерода в чугуне (посредственно).*

Сам по себе, как примесь, кремний ухудшает качество чугуна ²⁾: увеличивает его хрупкость, твердость, усадку и уменьшает крепость. Но в то же время, *действуя на состояние углерода и выделяя его в виде графита,—он действует совсем обратно и таким образом, уничтожает свое вредное влияние.*

Углерод, как примесь, химически соединенный с железом (углерод закала), никогда не встречается в количестве большем 4% (исключая специальные сорта, как напр., зеркальный чугун, где большое количество С обязано присутствию Mn). Кремний же соединяется с железом в количестве до 30% ³⁾.

Следовательно, кремний имеет гораздо большее сродство к железу, чем углерод, и потому *если к белому чугуну прибавить кремния, то он вытесняет из соединения с железом углерод, который и отлагается в виде графита, т.-е. белый чугун переходит в серый*, а вместе с тем изменяются его качества—он становится мягче, хотя теряет несколько в крепости, дает меньшую усадку и становится жиже, вследствие чего в отливке получается более плотным. Уменьшение усадки объясняется тем, что при остывании и сокращении, вскоре после затвердевания, чугун выделяет графит

1) Engineering, 1886, стр. 520.

2) Кеер. The influence of silicon in cast-iron. Paper read before the American Institute of Mining Engineers. Engineering, Aug 1889, стр. 156.

3) Gautier, Silicon in cast-iron Paper read before Iron and Steel Institute. Engineering, Oct. 1886, стр. 415.

и сразу увеличивается при этом в объеме, так что общее сокращение получается меньше. Кремний способствует этому выделению, и потому уменьшает усадку.

Таким образом, кремний является полезным в литейном чугуне до тех пор, пока он способствует выделению графита. Такое действие продолжается, пока его примесь не превышает 3%, затем, дальнейшее прибавление кремния уменьшает общее содержание углерода в чугуне, а следовательно, и графита и становится вредной примесью. В хороших литейных чугунах количество кремния колеблется от 1,5% до 3%.

Чем меньше общее содержание углерода в чугуне, тем больше должно быть кремния и, наоборот, чем больше в чугуне Si, тем меньше чугун может растворить в себе C и вследствие этого он должен быть беднее содерж. C, так что, согласно Ледебур, их относительное содержание может быть выражено формулой ¹⁾:

$$C + \frac{Si}{1,5} = 4,3$$

при условии, что содержание кремния не выходит из вышеуказанных пределов.

В настоящее время выплавляются специальные сорта чугуна с большим содержанием кремния до 13% (ferro silicium), которые будучи смешаны с плохими сортами чугуна (белый лом, горелый), дают хорошую отливку. Смешение производится в таких пропорциях, чтобы содержание кремния в смеси получилось около 2,5% ²⁾.

Производя опыты с различными смесями, проф. Турнер пришел к заключению (то же утверждает и проф. Ледебур), что зная химический состав чугуна и прибавляя к нему известное количество кремния, можно получить чугун с любой степенью твердости и крепости.

С этим едва ли можно согласиться. Дело это не так просто. Напр., Жип ³⁾ приводит ряд опытов с пятью сортами чугунов содержащими 2% кремния, крепость которых значительно рознится.

Получить чугун желаемого качества можно только путем опыта. Нужно заметить, что кремний, попавший в чугун в доменной печи, оказывает более благотворное влияние, чем искусственно примешанный. Кремний, как элемент, способствующий при переплавке переходу белого чугуна в серый, не допускает закала, а потому для отливок, имеющих получить закал, чугуны нужно выбирать без содержания кремния.

При последовательных переплавках часть кремния выгорает, вследствие чего графит все больше и больше переходит в углерод закала и чугун понемногу обращаясь в белый, твердеет и делается хрупким. Прибавляя кремния, чугуну снова можно вернуть его мягкость.

Чугун с большим содержанием кремния, негодный для литейных целей идет на переделку в сталь и железо по способу Бессемера.

д) Марганец. Действие марганца, повидимому, обратно действию кремния, т. е. он способствует химическому соединению углерода с железом. Примешанный в небольших количествах, от 0,2% до 0,75%, он оказывается полезным в тех случаях, когда чугун должен обладать достаточной твердостью или принимать закал. Примесь марганца более 1% уменьшает крепость чугуна, увеличивает усадку и потому уже оказывается вредной.

Окисляясь гораздо легче, чем кремний марганец предохраняет последний от выгорания при последовательных переплавках и в этом отношении

¹⁾ А. Ледебур. Чугун, как литейный материал, стр. 42.

²⁾ Состав чугуна, пригодн. для различн. отливок. См. Р. Е. 92—7—04.

³⁾ Engineering, 1889, 2-я часть, стр. 187.

является полезной примесью в количестве и более 1⁰/₀, до 1,5⁰/₀, в тех литейных чугунах, которым предстоит переплавляться несколько раз.

Кроме того, марганец способен давать соединения с серой, фосфором и другими металлоидами; образуя соединения с ними марганец всплывает на поверхность расплавленного чугуна, вследствие чего последний несколько очищается.

Марганец совершенно не обладает магнитными свойствами и потому присутствие его недопустимо в тех случаях, когда чугун идет для приготовления частей динамо машин, подлежащих намагничиванию.

Чугуны с большим содержанием марганца имеют специальные названия: до 20⁰/₀—*зеркальный чугун* (Spiegeleisen), с содержанием марганца от 20⁰/₀ до 60⁰/₀ и иногда до 80⁰/₀ называется *ferromangan*. Эти чугуны идут для металлургических целей, а также для получения плотных, беспузыристых сталных отливок.

е) **Металлы.** Са, Mg и Al встречаются в чугунах в самых незначительных количествах. Влияние Са и Mg на качество чугуна мало исследовано. *Замечательное действие на качество чугуна оказывает алюминий.* По исследованиям Кипа 1) *алюминий подобно кремнию, но только в гораздо большей степени, производит выделение углерода в виде графита.*

Прибавленный в самом незначительном количестве (до 0,1⁰/₀), он дает возможность получать плотные отливки даже из белого чугуна, при чем крепость их увеличивается на 40⁰/₀. Вообще примесь алюминия в количестве 0,75⁰/₀ сообщает чугуну большую мягкость, крепость, плотность, жидкость в расплавленном состоянии и уменьшает усадку.

Нужно заметить, что алюминий способствует выделению графита только до тех пор, пока содержание алюминия не превосходит на много 1⁰/₀, при большем же содержании алюминия выделение графита даже уменьшается. В подтверждение этого можно указать на опыты Хога 2) из которых видно, что при плавке чугуна, содержащего довольно значительное количество кремния выделение графита было значительно, когда чугун плавился без алюминия, и потом когда примесь алюминия стала больше 1⁰/₀, то выделение графита постепенно уменьшалось.

	Алюминий % ₀	Углерод.		Кремний.	Марганец.
		Полное содержание.	Графит.		
Без примеси алюминия	0,00	4,18	2,33	0,75	0,28
С примесью алюминия	0,85	4,15	3,22	0,75	?
" " "	1,92	4,18	2,77	0,67	?
" " "	3,86	4,07	1,67	0,62	0,20
" " "	8,15	3,80	1,58	0,70	?
" " "	11,85	3,44	0,22	0,62	0,20

1) Кеер, The influence of aluminium upon cast-iron. Engineering, Aug. 1888. стр. 219.

2) Journal of the Iron and Steel Inst. 1894 II p. 104.

В сравнении с кремнием алюминий имеет еще то преимущество, что кроме более сильного влияния на выделение графита, он сам по себе является примесью безвредной, скорее полезной.

Проф. Арнольд ¹⁾ считает, что действие алюминия в двадцать раз сильнее по сравнению с кремнием. Он полагает, что алюминий способствует получению плотных отливок из стали и чугуна, действуя химически на растворенные в них газы. Так, напр., окись углерода под влиянием алюминия распадается и, увеличивая общее содержание углерода в отливке, уменьшает появление отдулин.

Др. Молденке считает, что на прочность чугуна большое влияние может оказывать содержащаяся в нем *окись железа*, подобно тому, как она оказывается вредной и для прочности литой стали. Для рафинирования могут служить марганец, алюминий и титан. М. Е. 221—2—04.

50. Способность чугуна увеличивать свою крепость под влиянием легких ударов. С давних пор существовало мнение, что повторительные легкие удары, которым подвергается чугун, делают его менее прочным, но произведенные в 1895 г. на заводе Селлера в Филадельфии специальные испытания заставляют прийти к совершенно противоположному заключению ²⁾. На этом заводе было замечено, что мелкие изделия, подвергающиеся очистке во вращающихся барабанах, оказываются более прочными, чем такие же изделия, очищаемые обыкновенным способом, посредством щеток. Это явление навело на мысль о том влиянии, какое могут оказывать на чугун последовательные удары, которым он подвергается в барабанах. Были произведены довольно многочисленные исследования, и во всех случаях оказалось, что чугун, подверженный ударам, становится более прочным. Повидимому, действие ударов аналогично с действием отжига: под влиянием ударов частицы чугуна получают возможность немного перемещаться и таким образом принимать более естественное положение, вследствие чего в чугуне уменьшаются вредные напряжения, а вместе с этим увеличивается его прочность.

Прочность увеличивается довольно значительно. Так, напр., при одном опыте были отлиты 12 полос из одного и того же ковша. Шесть полос были поломаны подряд грузом, падающим с известной высоты. Другие шесть полос предварительно подвергались от 10 до 50 ударам того же груза, но падающего с половинной высоты, и после этого груз, падающий с полной высоты, уже не был в состоянии переломить их. При испытании образцов на разрыв прочность увеличивалась до 20%. Нужно заметить, что влияние, оказываемое ударами, не одинаково для различных сортов чугуна: чем менее графитист чугун, чем, следовательно, он тверже, тем сильнее будет увеличиваться его прочность, точно так же—чем крупнее изделие, тем сильнее будет влияние ударов.

Из только что сказанного вытекают некоторые практические соображения. Все такие чугунные сооружения, как станины паровых молотов, станины прокатных станков, лафеты сружий и другие, которым приходится испытывать очень сильные ударные действия необходимо первоначально, так сказать, отпустить от вредных напряжений, всегда остающихся в чугуне после отливок, подвергая готовые уже изделия сравнительно легким ударам. Шкивы, зубчатые колеса и т. п. изделия сами по себе, при своей ежедневной работе, подвергаются подобному отпуску от вредных напряжений, и потому такие детали после некоторого времени работы будут прочнее, чем сейчас же после отливки.

¹⁾ Engineering July 1891, стр. 49.

²⁾ Paper read before the American Institute of Mining Engineers, by Outerbridge American Machinist, 1896, стр. 497.

51. Изменение структуры чугуна происходит под влиянием перемены температуры. При накаливании чугун теряет на поверхности металлический блеск и крепость, так как он сильно окисляется и покрывается окалиной и коркой из шлаков. Внутренняя же часть получает еще более крупнозернистое строение и более сильный блеск излома.

Эта перемена структуры чугуна вызывает соответственное изменение формы и размеров тела, которое понемногу начинает трескаться и разрушаться. Трещины прежде всего появляются в острых углах, где материал является напряженным с момента отливки от неравномерного остывания.

Эти изменения в строении чугуна зависят отчасти от химических воздействий, отчасти от механических: первое заключается главным образом в том, что кислород воздуха, соприкасаясь с чугуном, окисляет его составные части. Точно так же действуют сера, содержащаяся в топливе, и другие примеси. При этом чугун может настолько видоизменить свое строение, что его трудно бывает узнать.

52. Порча чугуна. Чугун, подвергаясь действию кислот, а также под влиянием сырости, в присутствии углекислоты и кислорода, ржавеет и постепенно разрушается. Присутствие в чугуне углерода закала, кремния, марганца и фосфора увеличивает способность чугуна сопротивляться разрушающему действию кислот, примесь же серы, наоборот, уменьшает эту способность. Серый чугун содержит главным образом углерод в виде графита, который хотя сам по себе и не подвергается действию кислот, но своим присутствием уменьшает количество углерода закала, а кроме того разрыхляет чугун и делает его более легким для проникновения кислот, вследствие этого серый чугун разрушается кислотами легче, чем белый.

Для определения скорости разрушения, Ледебур¹⁾ опускал кубики одинаковой величины, приготовленные из различных чугунов, в слабую серную кислоту и замечал, на сколько процентов они уменьшались в весе в течение 65 часов. Оказалось, что уменьшение было для

зеркального чугуна, содерж. Mn— 10 ⁰ / ₀	14,0 ⁰ / ₀
обыкновенного белого	19,7 ⁰ / ₀
темно сер. коксового » Si—2,5 ⁰ / ₀ , C—3,6 ⁰ / ₀	27,6 ⁰ / ₀
серого древесноугольн. » Si—1,8 ⁰ / ₀ , C—3,5 ⁰ / ₀	37,7 ⁰ / ₀

Чугун с большим содержанием кремния хорошо сопротивляется даже действию кипящих крепких кислот, за исключением фтористоводородной. Сернистый чугун, наоборот, легко окисляется и быстро ржавеет.

Кроме этого чугун при некоторых условиях способен совершенно изменить свой состав²⁾. Так д-р Кальверт производил следующие опыты: он брал чугунные кубики в 10 мм. и погружал их в сосуды емкостью 80 куб. сантим., наполненные подкисленной водой. Вода подкислялась уксусной, соляной и серной кислотой. Спустя три месяца после погружения, чугунные кубики хотя и не получили никаких изменений с внешней стороны, но зато стали так мягки, что лезвие ножа проникало в них свободно на 3—4 мм. Наиболее сильное действие оказывала уксусная кислота, затем соляная и серная. Растворы кислот меняли каждый месяц, и спустя два года чугун совершенно изменил свою природу, не изменяясь при этом в объеме и во внешнем виде. Мало-по-малу железо растворялось и в конце-концов осталось следующее:

1) А. Ледебур. Чугун как литейный материал, стр. 62.

2) См. § 51.

	В начале.	В конце опыта.
Железо	95,413	79,960
Углерод	2,900	11,070
Азот	0,790	2,590
Кремний	0,478	6,070
Фосфор	0,132	0,059
Сера	0,179	0,096

Присутствие вышеупомянутых кислот может сказаться во многих случаях практики: так, напр., они содержатся в некоторых сточных водах, в атмосфере, а потому при употреблении чугуна в таких случаях необходимо принимать меры к ограждению его от порчи.

Повидимому, такого рода видоизменение чугуна происходит в водопроводных трубах.

Средством для ограждения чугуна от порчи является окраска его, покрытие цинком и др. ¹⁾ Весьма действительным средством, предохраняющим чугун, оказывается способ предложенный Ангусом Смитом, главным образом для водопроводных труб. По его способу трубы покрываются каменноугольным дегтем следующим образом: деготь сначала варится с целью удалить все легкие масла; труба, предварительно совершенно очищенная от ржавчины, погружается в вар и держится там, пока не примет его температуру; затем трубу поднимают и дают стечь лишнему дегтю. Оставшийся в трубе деготь быстро высыхает и сообщает трубе глянцевую поверхность. Иногда вместо того, чтобы дожидаться, пока труба нагреется в смоле, ее нагревают предварительно и уже горячую опускают в смолу. Этим работа ускоряется, но зато поверхность трубы получается не однородная, что зависит от неоднородной температуры трубы, которую трудно получить одинаковой по всей поверхности. Когда вар делается слишком густ, то к нему добавляют свежего дегтя и снова вываривают. Нагревание дегтя и трубы важно потому, что под влиянием теплоты испаряются легкие масла и по остывании на трубе остается твердая корка, кроме того при этом происходит расширение пор чугуна и деготь, проникая внутрь металла, крепко держится.

53. Горелый чугун. *При сильном накаливании чугуна присутствие в нем кремния, марганца и фосфора нежелательно.* Все эти примеси, по утверждению Платца ²⁾, при высокой температуре, окисляясь, образуют легкоплавкие соединения, которые выплавляются из чугуна и таким образом его разрушают. Чугун делается слоистым, коробится, покрывается трещинами и становится совершенно негодным для употребления. В таком состоянии он известен под названием *горелого*.

Точно так же *неблагоприятным для прочности чугуна при накаливании является присутствие в нем графита.* Присутствие графита уменьшает в чугуне содержание углерода отжига и углерода закала, которые, легко выгорая, предохраняют тем самым от окисления железо. Если же этих видоизменений углерода находится в чугуне немного, то окисляется само железо. Это окисление постепенно проникает все глубже, и глубже, и через некоторое время вся масса чугуна может превратиться в окисел, — получится горелый чугун.

Следовательно, *для вещей, подвергающихся постоянному действию высокой температуры, как, напр., колосники, газовые реторты и др., нужно выбирать чугун, подходящий ближе к белому, с возможно малым содержанием кремния, марганца и фосфора.*

¹⁾ Более подробно об этом предмете см. ст. Предохранение железа от ржавчины.

²⁾ Platz, Stahl, und Eisen, 1885, стр. 471.

Горелый чугун при плавке с серым чугуном сильно портит его качество. Вследствие находящихся в горелом чугуне окислов кремний выгорает, и серый чугун, отбеливаясь, выходит в отливке очень жестким. Поэтому употреблять горелый чугун вообще избегают; если же его и пускают в плавку, то делают при этом большую присадку кремнистого железа (*ferrosilicium*).

54. Отжиг белого чугуна. Аутербридж указывает, что если белый чугун содержит значительное количество кремния (больше 0,7%), то при отжиге он переходит в чугун, обладающий большой вязкостью, вследствие чего он по своим физическим свойствам приближается к стали. Этим процессом пользуются в Америке для производства дешевых изделий (топоров, молотков и т. п.), которые продаются за стальные, хотя это название совершенно в данном случае неуместно. Нужно заметить, что этот отжиг не имеет ничего общего с отжигом при изготовлении так называемых ковких изделий, так как в последнем случае изменяется состав чугуна и физические свойства его изменяются лишь на некоторую толщ, тогда как при способе отжига, о котором идет речь, состав чугуна остается тот же самый, только углерод закала переходит в графит и физические свойства чугуна изменяются по всей массе. М. Е. 822 - V - 04.

55. Ковкий чугун. Под этим названием известен материал, полученный отливкой из обыкновенного чугуна и потом особым способом обезуглероженный, вследствие чего он получает свойство ковкости, хотя и не может быть свариваем.

Этот способ обработки чугуна удобно применяется главным образом к мелким изделиям, хотя иногда и крупные вещи подвергаются обезуглероживанию, но при этом чугун становится ковким только на поверхности на небольшую глубину. Глубже 50 мм. цементация происходит плохо.

Для приготовления таких изделий нужно брать белый или пятнистый чугун, выплавленный на древесном угле самого лучшего качества. Серые чугуны и чугуны, содержащие Mn, S или Ph, не годятся. Лучшие заводы обыкновенно плавят чугун в тиглях, вмещающих в себе около 30 кгр. чугуна, дабы получить его возможно чистым.

Отливка производится в формы, приготовленные обыкновенным образом с той разницею, что иногда, в виду более высокой температуры расплавленного чугуна, вместо песка, употребляют огнеупорную глину, и затем отлитые вещи укладывают в чугунные ящики, а в случае больших вещей — в железные, наполненные окисляющим веществом (обыкновенно — красным железняком или перекисью марганца, просеянными через сито с отверстиями в 3 мм.). Слишком мелкий пор шек не рекомендуют. Ящики ставятся в калильную печь и подвергаются постепенно усиливающемуся нагреванию. Температура доводится до полного красного каления, и в таком состоянии изделия остаются в печи от 3 до 7 суток, сообразно с их величиною.

Если чугун выбран хорошего качества и цементация произведена на всю глубину, то изделия получаются почти такие же прочные, как приготовленные из обыкновенного железа. Их можно ковать при слабом нагреве. Нагретые более сильно, они разлетаются в куски под ударами молота. В холодном состоянии тонкие вещи можно изогнуть на 180°, но обыкновенно при разгибании обратно они дают трещины. Вообще, *ковкий чугун по своим свойствам занимает среднее место между чугуном и сталью.*

Форкинзон считает, что получение ковкого чугуна может происходить независимо от выгорания углерода. Такое заключение Форкинзон вывел на основании своих опытов („Горный Журнал“, 1861, т. IV), при которых один и тот же сорт чугуна подвергался прокаливанию, окруженный различными веществами (железные опилки, древесный уголь, песок,

известь, костяная зола, водород¹⁾, азот), из которых некоторые не только производили окисления углерода, а даже увеличивали его содержание, и при всем том, после продолжительного прокаливания, чугуна становился более ковким. Таким образом можно предполагать, что ковкость чугуна появляется вследствие того, что при продолжительном накаливании, при температуре 1000° Ц. связанный углерод, углерод закала, переходит в углерод отжига, который выделяется в виде аморфной массы, распределяется совершенно равномерно в виде механической примеси и этим самым изменяет свойства чугуна. Тем не менее нужно все-таки признать, что окислительный процесс, независимо от этого, уменьшая общее содержание углерода, сильно способствует повышению ковкости, вследствие чего при производстве ковкого чугуна, всегда для цементирующих порошков употребляются окислители.

56. Испытание чугуна. Сообразно с тем, для какой цели чугун предназначается, он должен обладать соответствующими химическими и физическими свойствами²⁾.

Если чугун должен быть присадочным материалом, т.е. при составлении калаш будет добавляться к лому или другому бедному графитом чугуну, то он должен содержать большую примесь кремния, чтобы вознаградить убыль, происшедшую при переплавке лома, или же вообще пополнить недостаток кремния в другом чугуне и тем увеличить содержание и графита при переплавке. Как уже сказано, присадочный чугун должен содержать столько кремния, чтобы после переплавки в общей массе металла получилось кремния от 1,5 до 2,5%. При этом нужно помнить что при переплавке, примеси, содержащиеся в чугуне, выгорают. Главным образом выгорает марганец и тем предохраняет от выгорания кремний, поэтому в чугуне желательна также и примесь марганца, но она не должна быть очень значительна, не больше 1,5%, иначе после переплавки Mn останется еще много, а сам по себе марганец делает чугун твердым и хрупким. Если известно содержание марганца и кремния в чугуне, то приблизительно можно положить, что при содержании марганца не менее 1% при каждой переплавке выгорит около $\frac{1}{5}$ всего содержания кремния; если же марганца меньше 1%, то кремния может выгореть $\frac{1}{4}$ — $\frac{1}{3}$ всего содержания. Сообразно с этим и нужно рассчитывать величину присадки.

Если штыковый чугун составляет главную массу переплавляемого чугуна, то содержание кремния не должно превышать 2,5%, а марганца должно быть меньше 1%.

Следовательно, для того, чтоб судить, пригоден ли данный чугун для намеченных целей, нужно произвести его химический анализ.

В многих случаях доброкачественность чугуна, как присадочного материала, определяется по виду излома. Крупнозернистый считается более графитистым, и потому более пригодным для примешивания к лому, но в настоящее время дознано, что *суждение по излому крайне ненадежно* и вид

¹⁾ О влиянии водорода см. Металлография Евангулова стр. 103.

²⁾ Anforderungen an Gusseisen, das für Dampfrohrlösungen bestimmt ist. (Bach). Тут же нормы для чугунов различных назначений. Z. B. R. V. 31—09.

Chemical Standards for Iron Castings. Таблица составов чугуна для различных отливок. А. М. 262—8—10. Также 304—10. 348—10.

Нормы, предъявляемые чугуну Philadelphia & Reading R. Co., и другими—(Iron & Steel metallurgist—April—395—04).—Несколько докладов на эту тему перед Am. Inst. of Mining Eng.;—Б. II. О. № 2—1908

Предписание Verein deutscher Eisengessereien. Z. d. V. d. I. 169—1—04,

Выбор сорта чугуна (химич. состав) для различных отливок. Gies. Z. № 16—559—05.

Состав чугунов для различных отливок. P. E. 92—7—04.

излома зависит не столько от состава чугуна, сколько от условий его охлаждения. Бедный кремнием, следовательно — совершенно непригодный для присадок чугуна, выплавленный при высокой температуре, будучи отлит в толстые чушки и медленно охлажденный, кристаллизуется в крупные кристаллы; с другой стороны, чугуны, богатый кремнием, выплавленный при низкой температуре и быстро охлажденный, получится с мелкозернистым изломом. По излому нужно бы было предпочесть первый сорт чугуна с крупным изломом, но на самом деле лучшим присадочным материалом окажется последний чугун, с мелкозернистым изломом. Из этого ясно, что *о доброкачественности чугуна по излому судить нельзя, а необходимо производить химический анализ.*

Из физических свойств весьма важно определить следующие:

1) *Усадку чугуна.* Для этого отливаются полосы около 1000 мм. длиной с квадратным сечением в 30 мм. в стороне. Сличая длину модели, употребляющейся при формовке, с длиной полученной полосы, судят о величине усадки. Конечно, при этом формовка должна производиться возможно аккуратно, не расталкивая модели и не увеличивая таким образом искусственно формы.

2) *Способность чугуна давать утяжины.* Для этого может быть отлит угольник с двумя ребрами. Такие утяжины непременно покажутся в углах около ребер, если чугун способен давать их.

3) *Способность чугуна коробиться.* Для этого отливаются плоские квадратные плиты со стороны в 650 мм. и не толще 10 мм. и по ним судят, насколько чугун коробится и неравномерно садится.

4) *Способность чугуна заполнять мелкие детали и отбеливаться при соприкосновении с поверхностью формы.* Для этого в земле формируется клин и заливается чугуном. Смотря по тому, насколько острым получится угол, заключают о его способности заполнить мелкие детали. Разбив такой клин на две части перпендикулярно к острому ребру, смотрят, на какой толщине заметно еще отбеливание по всей массе.

5) *Для определения прочности чугуна* обыкновенно подвергают его излому, для чего могут служить бруски, отлитые с целью определить величину усадки чугуна. Как уже было сказано, при испытании на излом можно определить только относительную прочность чугунов, употребляя пробные бруски одной формы и размера, абсолютной же прочности металла таким испытанием чугуна определить нельзя, так как напряжение при изгибе зависит от многих факторов: величины бруска, его формы и т. п. (см. стр. 51).

Для испытаний может быть устроен простой прибор, состоящий из двух призм, поставленных на определенном расстоянии друг от друга, на которые кладется образец, подвергаемый излому, самый же излом производится третьей призмой, скользящей в направляющих. Нагрузка производится при помощи рычага, на один конец которого привешана чашка с гириями. Гири нужно накладывать очень осторожно, чтоб не производить ударов, могущих сильно повлиять на результат испытания. Хорошо при этом наблюдать также и за наибольшей величиной стрелы прогиба, которая характеризует собой вязкость чугуна. В продаже существует несколько конструкций машин для испытания чугуна, тоже производящих излом и очень удобных для употребления.

Когда чугун расплавлен и выпущен из вагранки в горшок, то опытный глаз может по игре чугуна до некоторой степени судить о его качествах.

Кроме того, при выпуске чугуна, если он, протекая по жолобу, дает много искр, а в горшке бурлит, то это может служить признаком, что чугун тверд и содержит мало кремния и графита.

Иногда интересно знать способность чугуна закаливаться: для этого готовят небольшую чугунную форму, в которой производится пробная отливка и по ней судят о такой способности чугуна.

Мы приведем здесь также способ приготовления образцов, предложенный Томасом Вестом ¹⁾.

Т. Вест считает, что наиболее удобной формой для образцов, подвергающихся испытаниям, является цилиндр с поперечным сечением в один квадратный дюйм и длиной около 15 дюймов ²⁾. Такой образец может быть положен на две опоры, расположенные на расстоянии 12 д. друг от друга (фиг. 14, 1), и если один конец образца подходит ближе к опоре, чем другой, то при изломе его грузом, приложенным в средней точке между опорами, получим один из кусков длиной около 8 дюйм., который может затем быть употреблен для испытания на разрыв, если эта практикуется.

На одном из концов образца полезно иметь зарубку *X* (фиг. 14, 1), прямо отлитую. Этой зарубкой образец опирается на призму опоры и таким образом более легко устанавливается относительно опор; кроме того, так как образцы отливаются вертикально, присутствие зарубки гарантирует, что перелом получится в нижней части образца, обыкновенно более плотной, не имеющей в себе литейных пороков, и потому даст более правильную характеристику материала. О том же самом обстоятельстве, т. е. чтоб образец ломался в своей нижней половине особенно важно заботиться при испытании обточенных образцов. Чтоб образец можно было обточить, его отливают с утолщением *T* (фиг. 14, 3); в таком случае модель для этого утолщения *N* (фиг. 14, 4) нужно ставить так, чтобы середина ее приходилась на 7,5 дюйма от нижнего конца.

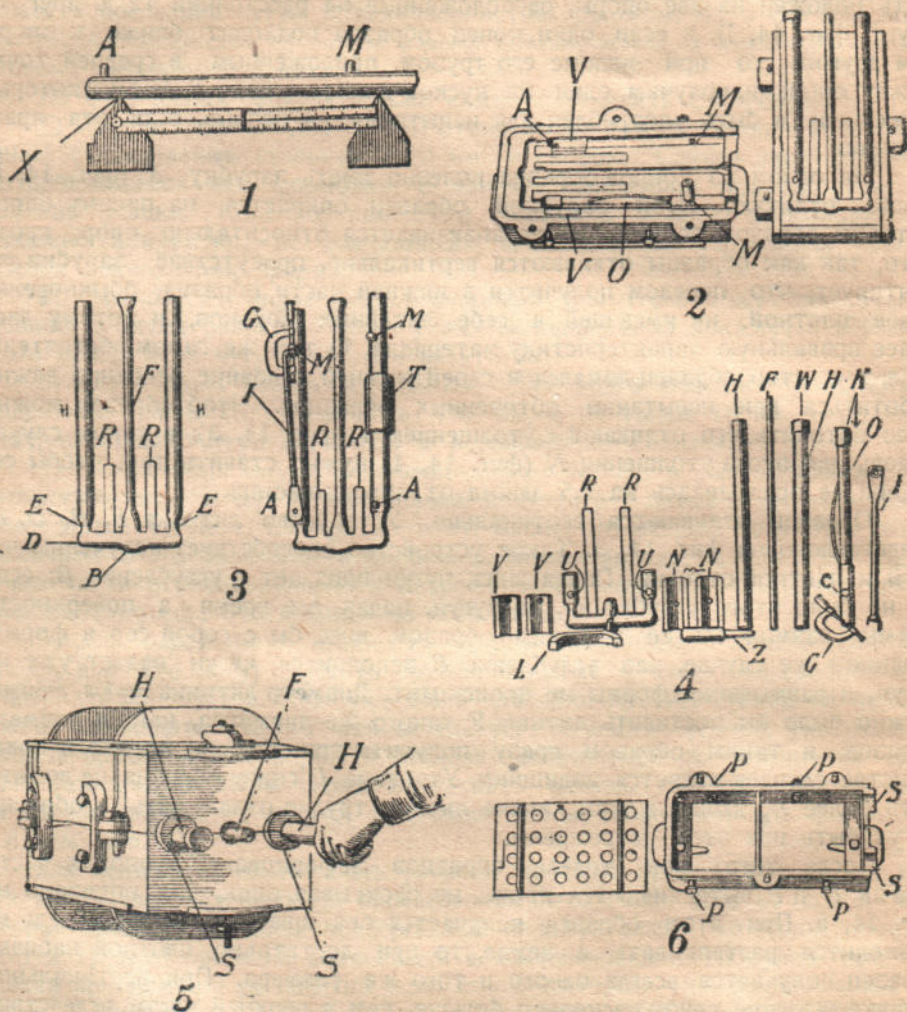
Образцы отливаются вертикально. Устройство литника *F*, *B*, *D*, *E*, представлено на фиг. 14, 3. Такое устройство способствует получению чистой и плотной отливки. Падая вниз, чугун попадает в углубление *B*; если бы не было этого углубления, то чугун, падая все время на поверхности формы, размыл бы ее и таким образом внес бы с собой сор в форму; в данном же случае, раз углубление *B* заполнится, чугун падает уже на чугун, и размывания формы не происходит. Диаметр литника = $\frac{5}{8}$ дюйма. Можно было бы поставить литник *F* такого же диаметра, как и диаметр образца, и таким образом сразу получить три образца, но это в большинстве случаев является излишним. Утонение *E* снизу образца не должно быть более $\frac{1}{2}$ дюйма в диам., иначе литник трудно отламывать, и образцы могут быть при этом повреждены.

После того, как модель образцов заформована в опоках части модели *H* и *F* вытаскиваются прочь, не раскрывая опок, как показано на фиг. 14, 5. При этом образец получается без шва, и так как модель не приходится расталкивать в земле, то при достаточно плотной набивке образец получается всегда одного и того же размера. При вертикальной отливке давление внизу несколько больше, чем в верхней части, вследствие чего и форма раздается чугуном несколько больше; для компенсации этого

¹⁾ Oskar Leyde в «Stahl und Eisen» ¹⁵/₁—04 указывает на то, что чугунные специально отлитые образцы обыкновенно дают совершенно отличные результаты, чем образцы, взятые из самого изделия, для котор. желают гарантировать известную прочность, и потому подобные испытания имеют мало значения. Объясняется различными размерами отливаемых образцов и изделий. Сообщение поясняется примерами. Преф. Неуп, делая микроскоп. исследов., пришел к заключ., что эта разница в крепости больше зависит от расположения и размера зерен выделившегося графита, чем от количества выделяющ. графита. — The Iron and Steel Metallurgist—March. 305—04.

²⁾ Площадь сечения образца не должна быть меньше 1 кв. дюйма, так как охлаждающее действие сырых форм оказывает слишком сильное влияние на образцы меньшего размера.

утолщения, чтобы получить после отливки образец совершенно цилиндрический, модель должна быть сделана слегка на конус ($\frac{1}{32}$ " на 12"). Чтобы модель всегда ставилась при набивке надлежащим образом, более толстый конец должен иметь заметное утолщение, как показывает *W* на фиг. 14, 4. При этом весьма важно, чтобы набивка песка производилась с надлежащей плотностью, и чтобы песок был надлежащей влажности. Со всеми этими требованиями весьма легко освоиться после нескольких внимательно



Фиг. 14.

произведенных опытов. Так как при сравнительных испытаниях однообразное приготовление формы оказывает очень большое влияние на правильность получаемых результатов, то следует всегда поручать приготовление подобных форм одному и тому же, и притом хорошему литейщику.

После того как опоки разняты, в форму вставляется шаблон *O* (фиг. 14, 4), служащий для определения усадки чугуна. На одном конце шаблона имеется выступ *K*, которым шаблон вкладывается в охлаждающую форму *Y* (фиг. 14, 2 и 4), имеющую соответствующую впадину. Эта формочка забивается в песок вместе с моделью. На другом конце шаблона

О имеется отверстие С, через которое протыкается в форме углубление, дающее на образце соответственный выступ М. Подобный же выступ А (фиг. 14, 3) на нижней части получится благодаря отверстию в охлаждающей металлической формочке. Когда усадочный шаблон вынут из песка, обе опоки скрепляются вместе при помощи струбцинок L, надеваемых на ушки Р (фиг. 14, 6) и опока переворачивается в вертикальное положение для отливки, как показано на фиг. 15. Эти же струбцинки употребляются для соединения опок при набивке их песком, чтобы получить более правильную форму. Точно так же следует прикреплять отдельные опоки к формовочной доске при набивке их песком. С этой целью к доске прикрепляются крючки, которыми захватываются болты Р, имеющиеся на опоке (фиг. 14, 6).

Отливка производится из ручного ковша с носком, чтобы получить более правильную струю. При наполнении формы нужно заботиться, чтобы литник все время был заполнен металлом, но при этом следует также наблюдать поднимающийся в форме чугун и когда он будет на 2 дюйма от поверхности, наполнение замедлить настолько, чтобы уровень в литнике и самой форме оставался приблизительно на одной высоте. При этом чугун не будет произвольно разливаться по опоке и можно будет более точно судить о способности чугуна давать утяжины, как это будет объяснено дальше.

Фиг. 15 показывает положение опоки в момент наполнения ее чугуном.

Всякому опытному литейщику должен быть известен тот факт, что коэффициент крепости отливаемых изделий до некоторой степени зависит от густоты вливаемого в форму чугуна; поэтому при изготовлении образцов, служащих для сравнительной оценки качества чугуна, это обстоятельство должно быть принято во внимание, иначе результаты, полученные из опытов, могут повести к ложным заключениям. Чтобы каждый раз иметь указание, насколько жидок был чугун при наполнении формы, в ней имеются приладки R (фиг. 14, 3) представляющие из себя два клина, длиной 8 дюйм., шириной $\frac{3}{4}$ дюйма и толщиной в нижней части $\frac{1}{8}$ дюйма, в верхней $\frac{1}{64}$ дюйма. По тому, насколько эти клинья будут заполнены чугуном, и определяется его густота. Здесь же уместно обратить внимание на то, что описанное расположение клиньев дает возможность выводить более правильные заключения о густоте чугуна, чем применяющийся обыкновенно способ формовки клиньев отдельно. При наполнении такого клина важно, чтобы чугун вталкивался в него всегда под одним и тем же давлением; если это условие не будет соблюдено, то может случиться, что чугун более густой, но вливающийся в форму с толчком, заполнит клин лучше, чем чугун более жидкий, но входящий в форму плавно. При описанном устройстве клиньев чугун входит в них всегда почти при одинаковых условиях: если чугун будет влит к форму сразу большой струей, то он только распространится быстро по горизонтальному каналу и затем будет медленно подниматься по форме, при чем давление в клиньях будет регулироваться столбом жидкого чугуна, поднимающегося в формах H (фиг. 14, 3); таким образом толчка, заставляющего чугун входит в клин



2
Фиг. 15.

под сильным напором, в данном случае явиться не может, и потому наполнение формы происходит всегда почти при равных условиях, чего нельзя сказать относительно клиньев, наливаемых отдельно, а в особенности, если они отформованы в горизонтальном положении.

Для определения величины усадки в форму с одной стороны закладывается небольшая охлаждающая формочка *V* (фиг. 14, 2 и 4) и в находящееся в ней отверстие вставляется выступ *K* шаблона *O* (фиг. 14, 4); через отверстие *C* на другом конце шаблона *O* при помощи инструмента *Z* (фиг. 14, 4) протыкается в форме небольшое углубление, после отливки соответственно этим углублениям на образце получатся выступы *A* и *M* (фиг. 14, 3). Надевая на выступ *A* специально приготовленную мерку *J*, изогнутую на другом конце в виде крючка, можно при помощи микрометрического винта *G* (фиг. 14, 3) вполне точно определить, насколько укоротилась полоса после отливки, так как расстояние между выступами *A* и *M* при формовке известно. Тем же микрометрическим винтом можно производить измерение диаметра сломанного или разорванного образца в месте излома. Нужно заметить, что измерение всегда лучше производить в месте излома, так как может случиться, что в других местах образец будет иметь несколько иные размеры.

Если представляется нужным производить испытание обточенных образцов, то в таком случае они должны быть отформованы с утолщением *T* (фиг. 14, 3) при помощи добавочной модели *N*, *N* (фиг. 14, 4). Так как обыкновенно отливаются два образца, то один из них может быть обточен, другой же испытан, не снимая корки, и потому отлит без утолщения. При таком испытании могут получиться весьма интересные цифры, указывающие относительную прочность обточенных и необточенных образцов.

Для определения способности чугуна принимать закал обыкновенно выливают его в небольшую охлаждающую металлическую форму и замечают, насколько этот закал распространился внутри чугуна. Производя подобные испытания, необходимо иметь в виду, что после застывания чугун начинает сокращаться и отходить от охлаждающей поверхности. Если мы желаем получить пригодные для сравнений результаты, необходимо, чтобы опыт производился при одинаковых условиях, т.-е. чтобы продолжительность действия охлаждающей поверхности была во всех случаях одинакова. Между тем, такого единообразия в производстве опыта в большинстве не замечается. Форма, наполненная более холодным чугуном затвердеет быстрее и отойдет от охлаждающей поверхности скорее, чем форма, наполненная горячим чугуном следовательно, в первом случае всех остальных равных условиях закал получится более слабый. Для избежания этого неудобства форма должна быть устроена таким образом, чтобы охлаждающие поверхности находились в соприкосновении со влитым в нее чугуном до полного охлаждения. Сообразно с сказанным, автор предлагает следующую конструкцию охлаждающего кокиля: кокиль состоит из двух половинок пустотелого цилиндра *V*, *V*, в которых имеются небольшие отверстия; при помощи их кокиль надевается на выступающие шипы *U*, *U* в нижней части модели (фиг. 14, 4); в эти же отверстия вставляется потом шип *K* усадочного шаблона *O* (фиг. 14, 4). Половинки кокиля надеваются на модель перед тем, как начать набивку песка, и затем, когда опоки разняты, модель вынимают, а кокиль остается в песке. Приготавливают кокили из стали. Вест предлагает делать их длиной в 3 дюйма и толщиной в $\frac{7}{16}$ дюйма. Нетрудно заметить, что при усадке шипики, залитые в кокили, тянут последний за сокращающимся образцом и не позволяют охлаждающей поверхности отойти от остывающего образца. Нужно обратить внимание также на то, что кокили всегда должны готовиться

одного размера, так же, как и образцы, так как степень закала зависит от относительной величины тех и других. Здесь же следует заметить, что в случае очень твердых сортов чугуна, как, напр., употребляющегося для отливки вагонных колес, прокатных вальцов и т. п., указанный размер образцов (1,1284 дюйма в диаметре) может оказаться неудобным, так как закал в таких образцах распространяется на всю их толщину, и потому уже нельзя делать сравнительных заключений; поэтому при испытании подобных чугунов следует нижний конец образца делать более толстым, напр., в 2" и даже больше.

Чтобы узнать, на какую глубину распространился закал, образцы кладут на наковальню и ударом молотка ломают. Отлитое со стороны закала углубление X (фиг. 14, 1) способствует более легкому перелому на этом месте. „Наблюдая затем глубину, на которую распространился закал, судят о качестве чугуна в этом отношении.

Вест считает, что по усадке чугуна нельзя еще судить о способности чугуна давать утяжины, так как, по его наблюдениям усадка не зависит от степени густоты вылитого в форму чугуна, тогда как, чем жиже и горячее чугун, тем больше вероятия получить утяжины. В виду этого, чтоб по тем же образцам судить и о способности чугуна давать утяжины, автор предлагает следующее. Как видно по фиг. 14, 5 и 6, на опоках имеются приливы S, обточенные внутри и служащие для направления модели H. При наполнении формы чугуном, как только расплавленный металл заполнит эти места, он сейчас же, соприкасаясь с охлаждающими поверхностями, затвердеет и образует собой твердую корку, ясно обозначающую, до какой высоты металл подымался; внутренняя же часть при остывании будет идти на пополнение усаждающего чугуна, и потому на поверхности образуется нечто вроде воронки. Если затем измерить объем этой воронки, то по нему можно судить о том, на сколько чугун способен давать утяжины. Для определения объема можно пользоваться градуированным сосудом. Наполняя его водой и затем выливая ее осторожно в полученное углубление, мы по делениям на сосуде можем определить объем самого углубления.

Таким образом, применяя вышеописанный способ приготовления образцов, мы по двум отлитым образцам можем вывести все необходимые заключения о качестве данного литейного чугуна.

Сталь и железо (продажное)

То, что в продаже известно под названием железа, представляет из себя сплав чистого железа с очень небольшим количеством примесей. По мере того, как в железе увеличивается содержание углерода, оно постепенно переходит в сталь. Несмотря на то, что уже с давних пор были попытки установить нормы, при помощи которых можно бы было провести границу между железом и сталью (см. § 30), таких норм и по ныне не существует, да и не может существовать, потому что при постепенном возрастании содержание углерода железо также постепенно переходит в сталь, при чем изменяются некоторые его физические свойства: увеличивается крепость и упругость, приобретает свойство закала и способность плавиться, но зато уменьшается мягкость, ковкость и совершенно утрачивается способность свариваться.

В продаже сталь и железо как материал разделяются на два сорта: на сварочный и литой. Тот и другой сорта почти не отличаются по своим физическим свойствам, главное же различие заключается в способах приготовления.

✓ **57. Сварочное железо** (weld iron, Schweisseisen, fer soudé) и сталь получается переделкой чугуна кричным и пудлинговым способами.

В том и в другом случае чугун подвергается действию окисляющих газов, при чем углерод и другие примеси, находящиеся в чугуне, окисляются, а более чистое железо при помешивании спекается в один комок, который в виде губчатой массы плавает в чугуне. Когда этот комок железа, так называемая *крица*, достигает известной величины, его вынимают из печи и подвергают механической обработке. Крица представляет железную губчатую массу, пропитанную шлаками, и цель последующих механических процессов состоит в удалении из крицы шлаков и сообщении ей плотности обыкновенного железа.

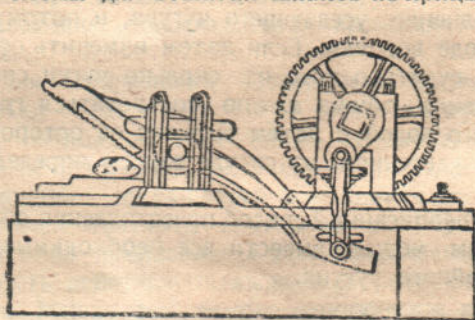
Ни один из существующих способов обработки не в состоянии вполне очистить крицу от шлаков; эти шлаки, оставаясь внутри железа, при дальнейшей обработке вытягиваются в нити и сообщают железу волокнистое строение. Чем лучше будут отжаты шлаки, тем с более мелким волокнистым строением получится железо.

Отжатие шлаков из крицы производится молотом или жомом.

Молота употребляются паровые или приводные (лобовые).

Вынутая из печи крица подвозится на тележке к молоту, сдвигается на наковальню, и следующими быстро один за другим ударами молота бесформенная крица превращается в болванку, имеющую вид параллелепипеда. При отжати крицы мастер переворачивает ее большими клещами или при помощи железной полосы, заваренной в крицу. Весь процесс занимает около $\frac{1}{2}$ минуты.

Жомы для отжати шлаков из крицы имеют следующую конструкцию:



Фиг. 16.

Рымажный жом (Фиг.

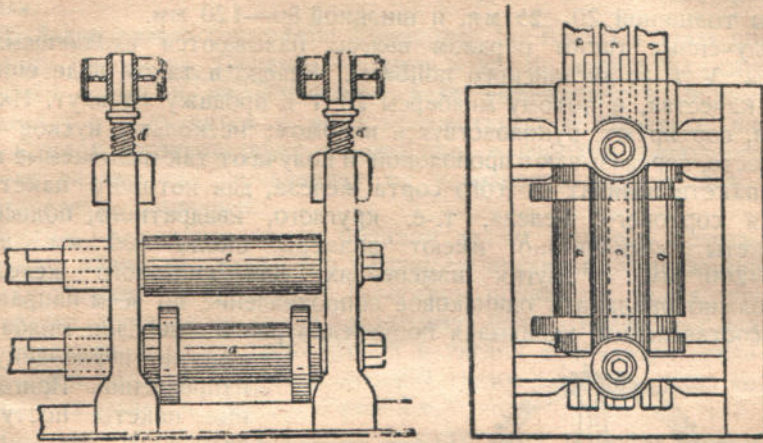
16). При вращении вала челюсть сжимает крицу, которая постепенно подвигается внутрь. Жом делает до 60 качаний в мин., и крица получит от 20 до 25 нажатий, прежде чем она обратится в болванку. Подобные жомы теперь почти вышли из употребления и заменены другими, вращательными, как более удобными.

Жом Брауна состоит из нескольких пар вращающихся горизонтальных вальцов, расположенных попарно друг над другом. Подшипники делаются такой конструкции, что позволяют изменять расстояние между вальцами. Крица кладется на верхнюю пару вальцов (находящихся на уровне пола мастерской), сжимается, проходя между ними, падает на вторую пару и затем на третью. Обыкновенно этим и ограничиваются. Пройдя между нижними вальцами, крица поднимается каким-нибудь механизмом опять на уровень пола мастерской. Этот жом не особенно распространен.

В Кливеланде (Англия) на многих железодельных заводах употребляется видоизмененный тип жома Брауна. Он состоит (фиг. 17—18) из трех вальцов *a*, *b* и *c*. Вал *a* имеет два кольцевых выступа, которые входят в соответствующие проточки в вале *b*. Оси вальцов *a* и *b* неподвижны, вал же *c* может подниматься помощью винтов *d*. Крица помещается между вращающимися валами и, при нажатии валом *c*, отжимается от шлаков и раскатывается в болванку. Расстояние между кольцами опре-

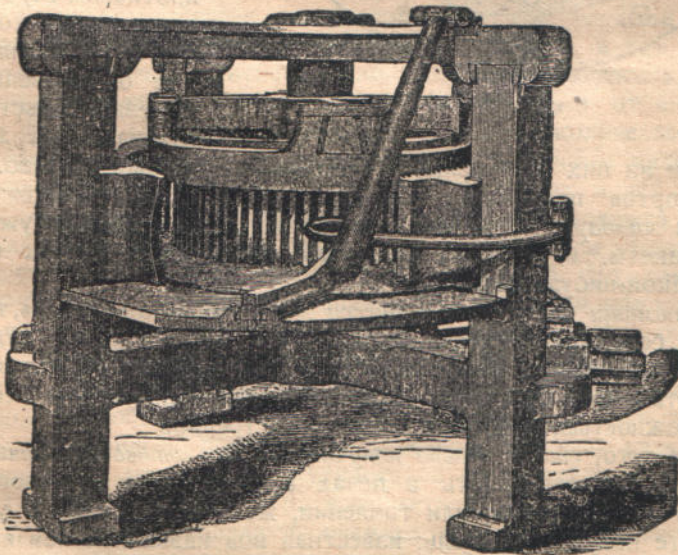
деляет длину болванки. Вал с обыкновенно передвигается на величину 300 мм. К подшипникам он прижимается противовесами.

Наибольшее распространение в Соединенных Штатах Америки, а также и в Европе получил жом *Бордена* (Burden) фиг. 19 и 20). Он со-



Фиг. 17—18.

стоит из прочного чугунного цилиндрического кожуха и чугунного барабана, вращающегося на вертикальной оси и сидящего эксцентрично относительно кожуха. Поверхности кожуха и барабана бороздчатые. Барабан вращается по направлению часовой стрелки. Крицу кладут в промежуток



Фиг. 19.

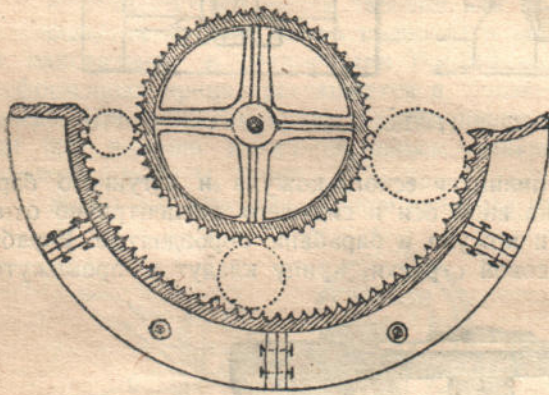
с широкого конца, она увлекается вращающимся барабаном, постепенно отжимается и выбрасывается из другого конца в виде круглой болванки.

Крица при входе в жом имеет приблизительно форму шара, около 350 мм. в диаметре, а по выходе—форму цилиндра, диаметром около

200 мм. и длиною около 400 мм. Барабан приводится во вращение при помощи конических шестерней, делает обыкновенно около 12 оборотов в минуту и имеет около 1200 мм. в диаметре.

Отжатая крица в виде болванки поступает в печь для подогревания и уже подогретая болванка прокатывается между бороздчатыми вальцами в полосы толщиной 20—25 мм. и шириной 80—120 мм.

Полученные таким образом *полосы* называются *пудлинговыми* или *милбарсы № 1* (с английского millbars). Железо в таком виде еще очень плохого качества, и потому милбарсы № 1 в продажу не идут. Их режут на куски, сортируют, руководствуясь изломом; несколько кусков складывают вместе, перевязывают проволокой и получают так называемые *пакеты*. Размер пакета зависит от того сорта железа, для которого пакет назначен. Для сортового железа, т.е. круглого, квадратного, полосового и др., пакеты обыкновенно имеют размеры около 600 мм. в длину и 150—200 мм. в других измерениях. Для листового железа, которое должно оказывать одинаковое сопротивление по всем направлениям, пакеты составляются, укладывая поочередно различные слои милбарсов во



Фиг. 20.

взаимно-перпендикулярном направлении. Приготовленные пакеты поступают в сварочную печь—провариваются и затем проковываются под паровым молотом в болванку. Если полученная таким образом болванка достаточно горяча, то ее прямо пускают на прокатный станок в противном случае болванка перед прокаткой подогревается в калильной печи. Для обыкновенных сортов железа довольствуются приготовлением только милбар-

сов № 1, и из них уже прямо прокатывают сортового железа. Для более высоких сортов пакеты из милбарсов № 1 прокатываются в *сортовые полосы* или *милбарсы № 2*, иногда даже и в № 3, и из них уже приготовляются пакеты, идущие на прокатку продажного железа или же на отковку какой-нибудь детали.

При помощи такого же процесса можно получить сталь, т.е. железо с большим содержанием углерода. Для этого только нужно пудлингование остановить несколько раньше и вести его не при столь высокой температуре. Затем проковку и прокатку стальных полос нужно вести с большой осторожностью, чтобы не получилось трещин.

Кроме того, *сталь можно получить из уже готового сварочного железа*, если последнее прокаливать в печах в присутствии угольного порошка. При таком прокаливании, или томлении, железо насыщается углеродом и в результате получается сталь, известная под названием *томлянки*.

Характерным признаком томлянки является кринокристаллический блестящий излом и масса пузырей на поверхности, от чего томлянка называется также и *пузыристой сталью*. Как вид излома, так и пузыри обуславливаются процессом цементования: при этом окислы железа, реагируя с углеродом, дают окись углерода, которая, стремясь выйти, и вздувает поверхность стали в виде пузырей. *Томлянка*, в отличие от всех прочих сортов стали, *обладает способностью довольно хорошо свариваться*, и

вместе с тем дает довольно твердый закал, почему она и употребляется для наварки сталью различных железных изделий.

Как пудлинговая, так и цементная сталь представляют довольно плохие сорта этого материала и мало-по-малу выходят из употребления. Главным образом, они идут на переплавку в тиглях для получения тигельной стали.

58. Литое железо (ingot-iron; Flusseisen; fer fondu) и сталь получают по способу Бессемера, Сименса-Мартена и др. Во всех этих случаях выработанный сплав в расплавленном виде выливается в форму, где он затвердевает и получается в виде призматической болванки, или слитка (ingot). Слиток соответствует пакету при выработке сварочного железа. Форма и размер слитка зависят от того сорта железа, для прокатки которого слиток назначен.

Многим полученным таким образом литым сплавам железа присваивают общее название стали. Это не совсем правильно, так как некоторые из этих сплавов не обладают свойством принимать закал, являющийся характерным признаком стали, и потому более правильно называть их литым железом. Только переплавкой в тиглях получается исключительно твердая сталь, почему и приготовленный таким образом сплав совершенно правильно называется тигельной сталью.

Если в литых сплавах железа присутствуют в значительном количестве другие металлы, то такие сплавы тоже носят название стали, независимо от содержания в них углерода, но присоединяя всегда название металла, входящего в состав; например, марганцевая сталь, никелевая сталь, хромовая сталь и др.

Сравнивая способы выработки сварочного и литого железа мы видим, что первое получается при сварочном жаре пудлинговой печи, его отдельные частицы не выливаются в форму, а только свариваются между собою; поэтому, хотя эти частицы в том и другом случае и одинаковы по природе, но в сварочном железе они разделены весьма тонкими частицами шлака, который вносит в железо различные примеси, и тем вредит его однородности и крепости. Литое железо, напротив, находясь в расплавленном состоянии, может быть почти совершенно очищено от шлаков и выливается в форму, содержа значительно меньшее количество примесей, благодаря чему оно является более однородным и прочным материалом.

При недостаточно умелом производстве в слитках могут получиться пузыри или отдуины. Если внутренность этих пузырей покрыта окислом, то даже при нагреве до сварочного жара и прокатке пузыри не завариваются, образуя в металле прослойки, уменьшающие прочность. Но такие пузыри почти исключительно получаются близко от наружной оболочки слитка, и потому если при прокатке поперечное сечение слитка будет сильно уменьшено, то все эти пороки окажутся на поверхности металла и большого вреда не принесут. Если предвидится возможность получения подобных отдуин, то необходимо поперечные размеры слитка брать значительно больше по сравнению с поперечным размером готового изделия, чтобы, как сказано выше, все пороки очутились на поверхности металла.

В настоящее время почти на всех металлургических заводах к расплавленному металлу прибавляют кремния или марганца, которые почти совершенно уничтожают появление пузырей в слитках, так что готовый металл получается совершенно плотный даже без особых предосторожностей при прокатке.

Как сварочное так и литое железо, вследствие прибавления к нему углерода, приобретает способность закаливаться и, таким образом обращается в сталь. Соответственно способу выработки сталь, подобно железу, может быть подразделена на сварочную и литую.

Различные заводы, изготовляющие железо и сталь отмечают свои продукты присвоенным им клеймом. Обыкновенно ставится также отметка обозначающая сорт железа или стали, а также иногда и год изготовления.

Качество сварочного железа обыкновенно определяется буквой В, что обозначает по-английски best, т. е. лучшее; еще высший сорт имеет клеймо ВВ (best, best) и, наконец, самый высокий—ВВВ (treble best).

На литом железе ставится буква М (mild), обозначающая мягкое; ММ— более мягкое; МММ—еще более мягкое и, наконец ММММ—самое мягкое.

Сталь очень часто обозначается №, который указывает на содержание в железе углерода. Так, напр., в Обществе Путиловских заводов номенклатура принята такая, что № обозначает содержание углерода в десятых процента; поэтому сталь № 5 будет содержать 0,5% углерода.

Железо или сталь, не имеющие на себе заводского клейма, не заслуживают доверия.

В прежнее время лучшим железом считалось сварочное железо заводов Демидова, имеющее клеймо ССND, но теперь оно потеряло свое первенствующее значение, так как появилось много заводов как в России, так и за границей, изготовляющих литое железо, которое по своим качествам не только не уступает, но даже превосходит сварочное железо.

59. Сорта железа и стали, встречающиеся в продаже. Каждый железо-делательный завод выпускает весьма различные сорта железа, сообразно со своими средствами. Точные данные в этом отношении можно получить, потребовав с завода „сортамент“, который обыкновенно на всех благоустроенных заводах имеется.

Здесь в виде примера можно привести несколько нормальных сортов железа принятых на одном из русских заводов, которые помогут конструктору ориентироваться при выборе размеров.

а) Листы из стали, литого железа и сварочного железа.

Нормальные размеры листов.

При толщине листов от № 19 бирмингемского калибра 1) и до 1/16 ширина не более 3 фут. и длина до 9 футов.

При толщине от 1/16" до 1/8" ширина до 4 фут. и длина до 11 фут.

При толщине от 1/8" до 1" ширина до 4 фут. и длина до 13 фут.

Максимальные размеры прямого оловяного листов.

При толщине металла от—до	Длина.	Ширина.	При толщине металла от—до	Длина.	Ширина.
№ 19 — 1/16"	9'	3'	7/16" — 1"	15'	6 1/2'
1/8" — 3/16"	13	4	" — "	20	6
3/16" — 3/8"	13	6	" — "	30	5
" — "	21	5	" — "	35	4
" — "	25	4	" — "	40	3
" — "	30	3	1" — 1 1/4"	20	

Заграничные заводы способны прокатывать листы значительно больших размеров. На всемирной выставке в Чикаго в 1893 г. заводом Круппа был выставлен лист из литого железа (Simeus-Marten) длиной 20.000 мм., ширину 3.300 мм. и толщ. 32 мм., весом 16.200 кгр.

Максимальные размеры круглых листов.

При толщине от № 19 до 1/16"	диам. 3 1/2
" " " 3/32" — 3/16"	" 3 1/2
" " " 7/32" — 3/8"	" 6
" " " 7/16" — 1"	" 6 1/2

1) № 19 = 1 мм. = 0,042.

На той же всемирной выставке в Чикаго заводом Круппа был выставлен круглый лист для днища парового котла из литого железа (Siemens-Marten) диам. 3.900 мм., толщину 38 мм., весом 3.440 кгр.

б) *Кровельные листы.*

Под таким названием известны листы тоньше № 19. Они обыкновенно изгот- вляются двух размеров по длине и ширине: 1 ярш. × 1 арш. и 1 арш. × 2 арш.

Последний размер (2 квадрат. арш.), соответственно толщине, имеется в про- даже различных весов от 6 до 15 фунтов, и потому такой сорт железа иногда назы- вается также фунтовым (напр., 10-фунтовое). Приготавливается оно *матовое и яль- цевитое* 1).

с) *Универсальные листы.*

Изготавливаются шириною не менее 6" и не более 22" и толщиною не менее $\frac{1}{16}$ "; при этом

ширина от 6" до 8 $\frac{1}{2}$ "	отвечает толщине от $\frac{3}{16}$ " до $\frac{11}{8}$ "
" " 8 " 12	" " " $\frac{1}{4}$ " " $\frac{11}{8}$ "
" " 12 " 16	" " " $\frac{5}{16}$ " " $\frac{11}{8}$ "
" " 16 " 22	" " " $\frac{3}{8}$ " " $\frac{11}{8}$ "

В этих пределах универсальные листы могут иметь какую угодно ширину и толщину.

Универсальные листы при толщине до $\frac{3}{16}$ " прокатываются длиною до 30 футов, при большей толщине— до 40 фут., при чем вес листа не должен превосходит 20 пуд.

Универсальные листы приготавливаются преимущественно из литого железа.

д) *Сортовое железо.*

Круглое прокатное, толщиною от $\frac{1}{4}$ " 2) до 7". До $\frac{13}{8}$ " разница в диаметре идет на $\frac{1}{16}$ ", до 5"—на $\frac{1}{8}$ " и после—на $\frac{1}{4}$ ".

Круглое железо до $\frac{7}{8}$ " прокатывается длиною до 40 фут., более толстые сорта до 2" до 30 фут.

от 2" $\frac{31}{2}$ "	длина 20'—30'
" $\frac{31}{2}$ " 6"	" 12—17
" 7"	" 10—12

Квадратное прокатывается от $\frac{1}{4}$ " до 4" в стороне. До $\frac{3}{4}$ " разница идет на $\frac{1}{16}$, выше $\frac{3}{4}$ "—на $\frac{1}{8}$ ". До $\frac{7}{8}$ " длина его 40 фут., больше $\frac{7}{8}$ "—30".

Полосовое железо.

К этому разряду относится плоское железо не шире 6". При ширине до 4" толщина его начинается от $\frac{1}{8}$ ", а при большей ширине от $\frac{3}{16}$ " и доходит до $\frac{21}{2}$ ".

Если толщина изменяется в таких пределах: $\frac{1}{8}$, $\frac{3}{16}$, $\frac{1}{4}$, $\frac{3}{8}$, $\frac{1}{2}$, $\frac{5}{8}$, $\frac{3}{4}$, $\frac{7}{8}$, 1" $\frac{11}{8}$, $\frac{11}{8}$, $\frac{11}{2}$, $\frac{13}{4}$, 2 $\frac{21}{4}$, $\frac{21}{2}$, то ширина до 1" изменяется на $\frac{1}{16}$ ", а затем на $\frac{1}{8}$ ".

Длина полосы до 50 фут., если вес ее не превышает 18 пуд.

Облучное железо.

Изготавливается шириною от $\frac{7}{16}$ " до 6" и толщиною от № 20 до № 10. Длина может быть до 30 фут.

е) *Фасонное железо.*

Сюда относятся: многогранное, треугольное, угловое, тавровое, двутавровое, коробки (швеллегные профили), зеты и другие сорта, нормальные размеры которых можно найти в сортаментах заводов и в справочных книжках.

При заказе железа с размерами, выходящими из нормальных, цена обыкновенно несколько повышается.

б) *Инструментальная сталь* имеется в продаже следующих сортов, соответ- ственно форме сечения:

квадратная от $\frac{1}{4}$ " до 3" в стороне;

круглая от $\frac{1}{4}$ " до 3" в диаметре;

плоская; ширина изменяется от $\frac{1}{2}$ " до 4", толщина изменяется от $\frac{1}{8}$ " до 1";

овальная; ширина изменяется от $\frac{1}{2}$ " до $\frac{11}{4}$ ", толщина от $\frac{3}{8}$ " до $\frac{3}{4}$ ".

1) На выставке в Чикаго в 1893 г. заводом Rubol'shütte (Tepliz, Bohemia) был выставлен лист кровельного железа длиною 162' 2", шириною 3' 3" и толщиною $\frac{1}{12}$ ". Вес его 1672 фунт. Прокатан он был по способу Wilgenstein'a. См. прокатку.

2) Круглое железо тоньше $\frac{1}{4}$ " называется проволокой. См. приготвл. проволоки.

Кроме этого на заграничных заводах изготавливается сталь с фигурным сечением: крестообразным, очень удобным для приготовления зубил, без ковки—одной заточкой; с трапецидальным—для приготовления без ковки резцов; с крестообразным сечением, свернутым в спираль, для приготовления сверл, разверток и друг.

60. Химический состав железа и стали. Анализ некоторых сортов железа и стали дал следующие результаты:

		Fe	C	Si	Mn	P	S
Хорошее шведское сварочное железо	(Древ. уголь)	99,733	0,075	0,114	Следы	0,004	0,032
Шведское железо литое	Westanfors	99,866	0,085	0,008	Следы	0,025	Следы
Сварочное железо иоркширское	Low-Moor	99,372	0,016	0,122	0,250	0,106	0,104
Сварочное железо иоркширское (Bovling)	замеч. чист.	99,798	0,272	0,000	0,000	0,000	Следы
Литое железо Barrow in Furness	для провол.	99,334	0,200	0,179	0,214	0,026	0,030
Литое железо австр. (Neuberg)	для пар. кот.	99,567	0,250	0,016	0,136	—	0,010
Сталь Бессемеровская	для рельсов.	99,095	0,352	0,053	0,384	0,061	0,055
Сталь Сименса и Мартена	" "	99,173	0,370	0,040	0,342	0,033	0,042
Твердая инструментальная сталь (тигельная)		98,586	1,144	1,166	0,104	—	—

Приведенная таблица представляет химический состав особенно хороших сортов стали и железа, каковые вырабатываются только немногими железодельательными заводами Европы и Америки.

Вообще, железо хороших сортов содержит от 0,05% до 0,25% углерода. Чем меньше в нем таких примесей, как кремний, сера и фосфор, тем больше железо может содержать углерода, не проявляя способности закаливаться.

61. Плотность. Удельный вес железа и стали колеблется от 7,3 до 7,9 и зависит отчасти от содержания углерода—чем больше углерода, тем удельный вес меньше—а также и от обработки,—напр., при закалке, наклепки и волочения удельный вес уменьшается, а следовательно, объем несколько увеличивается. Удельный вес беспузыристых стальных отливок доходит до 8,9¹⁾

62. Магнитные свойства. Железо легко намагничивается, и тем легче, чем чище. Но удерживает магнетизм железо тем лучше, чем больше в нем углерода.

63. Температура плавления железа изменяется от 1500° Ц. до 2100° Ц. и зависит от содержания примесей. Присутствие углерода, серы, фосфора и кремния понижает точку плавления. Наоборот, хром, марганец и вольфрам повышают ее.

64. Усадка стали. При затвердевании железо и сталь дают большую (почти в 2 раза) усадку, чем чугун, поэтому и модели при отливке из стали должны иметь размеры несколько иные, чем для чугуна.

Вследствие усадки внутри стального слитка образуются пустоты, или усадочные раковины.

¹⁾ Лабзин. Технология металлов, стр. 291.

65. Газовые пузыри. При затвердевании расплавленной стали из нее выделяются газы: прежде всего выделяется окись углерода, затем водород и азот. Вследствие того, что сталь затвердевает, часть этих газов не успевает выделиться и в виде пузырьков остается внутри слитка. Пузырьки главным образом заполнены водородом, который продолжает, повидимому, выделяться и после того, как металл затвердел. Это по указанию *Мюллера*, подтверждается тем, что давление газов в пузырьках бывает больше атмосферного. *Левьерье* считает, что водород и азот поглощаются сталью в то время, когда она находится в расплавленном состоянии; эти газы при спокойном состоянии не имеют стремления выделяться, но вследствие того, что при остывании окислы железа, находящиеся в стали, реагируя с углеродом последней, образуют окись углерода, которая стремится выделиться из сплава, равновесие нарушается, и за окисью углерода начинают выделяться находящиеся в растворе водород и азот. Если к стали прибавить кремния или марганца, которые имеют к кислороду большее сродство, чем углерод, то выделение окиси углерода не будет, а вместе с тем не будут выделяться водород и азот и не будет получаться пузырей. Этим, по мнению *Левьерье*, и объясняется благотворное влияние примеси кремния и марганца на получение плотных беспузыристых отливок стали. Наиболее удобно употреблять для этой цели особый сплав кремнисто-марганцевистого железа (Silici-Spiegel 1,3% углерода, 12,25% кремния и 19,25 марганца).

Те же результаты могут быть достигнуты присадкой алюминия. Но, присаживая алюминий, нужно иметь в виду, что он обладает свойством выделять углерод в виде графита, и потому, если алюминий будет присажен в большом количестве к твердой стали, то последняя потеряет свою твердость. Вообще алюминия присаживается для стали—от 0,004% до 0,025%, для железа—от 0,01% до 0,1%. Тем меньше, чем больше углерода.

Наконец уничтожение отдулин может быть достигнуто при помощи прессовки расплавленной стали. Более подробно об этом способе будет сказано ниже.

66. Цветоизменяемость. При нагревании чисто отшлифованная железная поверхность начинает принимать последовательно различные оттенки: первым появляется светложелтый цвет (210° Ц.) затем, по мере нагрева, следуют бурый, красный, пурпуровый, фиолетовый, светло-синий, темно-синий, зеленоватый; при 370° Ц. зеленоватый оттенок пропадает, и железо, покрываясь окалиной, не изменяет своего цвета до температуры 525° Ц., после чего металл начинает светиться (см. стр. 7).

Объясняется это явление образованием на поверхности металла прозрачного окисла, толщина которого все возрастает и отражая световые волны, различной длины порождает окрашивание аналогично тому, как это замечается в цветных кольцах Ньютона.

67. Способность свариваться ¹⁾ Железо, будучи нагрето до белокалильного жара, приходит в тестообразное, аморфное состояние. Если в таком состоянии его две чистые поверхности наложить друг на друга и слегка нажать, то они соединятся в одно целое: *сварятся*.

Явление сваривания объясняют тем, что при сильном нагреве металл становится мягким, и потому составляющие его молекулы при надавливании могут подойти столь близко друг к другу, что между ними проявится такая же сила сцепления, как и в целом куске железа. Но подобное объяснение встречается с следующими противоречиями: казалось бы, что чем температура нагрева выше, тем сваривание должно происходить лучше, так как при этом частицы железа приобретут большую удобопод-

¹⁾ Кроме железа, способностью свариваться обладают никель и платина.

вижность, и потому легче должны притти в надлежащее положение. На самом же деле для всякого сорта железа имеется своя определенная температура, при которой сварка происходит наилучшим образом, и если железо нагреть значительно выше этой температуры, то сваривания совсем не произойдет. Кроме того известно, что присутствие некоторых примесей в железе делает его сварку невозможной; напр., если железо содержит углерод больше 1,5% или меди больше 2%, то способность сваривания таких сортов железа почти совершенно утрачивается. Если указанное явление приписать тому, что присутствие постогонных примесей не позволяет частицам железа приходить в близкое соприкосновение и как бы разделяет их друг от друга, то неправильность подобного предположения станет ясна, если припомнить, что присутствие углерода в железе в таком же количестве несколько не нарушает сцепления частиц при переходе его из расплавленного состояния в твердое, напротив, крепость железа с большим содержанием углерода получается еще больше, хотя соединение частиц расплавленного металла в одно целое совершенно аналогично явлению сваривания.

Поэтому более естественно указанное выше явление объяснить следующим образом: железо при сильном нагревании приобретает способность окисляться; эта способность к окислению делается особенно заметной вблизи от точки плавления металла, и образующийся при этом слой закали-окиси железа препятствует свариванию. Следовательно, при сваривании, с одной стороны, желательно нагреть железо по возможности до высшей температуры, чтоб увеличить удобоподвижность его частиц, а с другой стороны такое нагревание нежелательно, потому что при этом начинается сильное образование окислов, препятствующих соединению частиц, и приходится выбирать некоторую среднюю температуру, дающую наиболее благоприятный для сваривания эффект. Присутствие посторонних примесей обыкновенно понижает точку плавления и делает более быстрым переход металла от твердого состояния к жидкому, отчего и утрачивается способность свариваться. При большом содержании углерода железо или, правильнее сталь, приходит в пластичное состояние только вблизи от точки плавления, и в это время окисление идет уже столь энергично, что сваривание не может иметь места.

Поэтому способность свариваться уменьшается в железе по мере того, как увеличивается в нем содержание углерода;—*твердая сталь совершенно теряет эту способность.*

Чтоб уничтожить вредное влияние окислов и тем облегчить сварку, железо или сталь при нагревании посыпают особыми *сварочными порошками*, которые играют роль плавней, т.-е., соединяясь с окислом железа, расплавляя его и покрывая собою металл, предохраняют железо от дальнейшего окисления. В момент сварки эти шлаки легко удаляются с поверхности железа стряхиванием или отлетают прочь при первых же ударах молотка.

Чем больше содержание углерода в стали, чем она легкоплавче, тем более легкоплавкий флюс надо иметь.

Наиболее употребительным сварочным порошком для чистого железа является *кварцевый песок*, затем при возрастании содержания углерода может употребляться *глинистый песок* и наконец, для твердой стали *бура*, чистая или в смеси с глиной.

Что касается специально *сталей*, то температура сварки для нее хотя и ниже, чем для железа, но при производстве сварки стали *происходит всегда некоторое перегревание ее*, которое, при несоблюдении необходимой осторожности, легко может привести к пережиганию материала.

Для твердой стали, как сказано, та температура, при которой сталь приобретает необходимую для сварки пластичность, находится весьма

близко к точке плавления, что представляет особенные затруднения для производства этой операции.

Чтобы при сравнительно низкой температуре сварки стали иметь возможность быстро приводить в жидкое состояние образующуюся окалину, и употребляют вместо кремневой кислоты особые *сварочные порошки*. Они содержат в своем составе частью кислоты, частью же различные щелочные вещества. Назначение этих составов—образовать по возможности легкоплавкие шлаки, а так как последние плавятся тем легче, чем больше разнообразных веществ входит в их состав, то на основании этого сварочные порошки составляются обыкновенно из многих веществ, как, напр., *бура, поташ, сода, поваренная соль, нашатырь, плавиковый шпат, перекись марганца, стекло и т. под.*

С другой стороны, чтобы противодействовать неизбежно происходящему при производстве сварки окислению металла, примешивают к сварочным порошкам часто еще вещества, *легко отдающие свой углерод* при нагревании; из них наиболее употребительна *кровая соль*.

Быстрое нагревание при возможно полном отсутствии доступа воздуха является существенным условием для успешного производства сварки стали.

Из *сварочных порошков* наиболее употребительна *бура*, которая плавится уже при ярко-красном калении и способна растворять в себе почти все металлические окислы, вследствие чего она и является чрезвычайно пригодной для данной цели.

Так как при нагревании *буры* она сильно пучится, теряя свою кристаллизационную воду, и легко растрескивается, то рекомендуется расплавлять ее перед употреблением и дать ей остыть, при чем она затвердевает в виде амфорной стекловидной массы, которую толкут в порошок. *Karmarsch* приводит следующие, по его словам испытанные рецепты сварочных порошков:

борной кислоты	41,5	вес час.
поваренной соли	35,0	"
кровой соли	15,5	"
безводного углекислого натра	8,5	"
или:		
высушенной глины	12,0	"
прокаленной (кальцинированной) соды	3,0	"
поташу	2,0	"
или:		
буры	8,0	"
нашатырю	1,0	"
желтой кровяной соли	1,0	"

Составные части каждого из этих порошков растворяют вместе в воде и затем выпаривают при постоянном помешивании *на легком огне* до полного высушивания.

Для употребления этих составов можно или смешивать их с водой в виде кашицы и обмазывать ею поверхности соприкосновения свариваемых кусков, или же посыпать сухим порошком как поверхности соприкосновения, так и наружные швы.

В последнее время часто стали употреблять сварочные порошки, которые содержат в своем составе *железные опилки* и оказывают весьма хорошее действие, в особенности при сваривании больших поверхностей. Процесс, который происходит при применении этих составов, по существу аналогичен явлению *спайки*, которое, как известно, представляет собой соединение двух однородных или разнородных металлов посредством третьего металлического, связующего вещества (припоя), которое заполняет в расплавленном состоянии щель между спаиваемыми кусками и соединяет их после затвердевания в одно целое благодаря своему сцеплению с каждым из них.

Железные опилки, находясь в мелкоизмельченном виде, весьма быстро достигают необходимой температуры сварки и сильно облегчают поэтому производство этой операции, в особенности при сваривании стали со сталью.

Один из испытанных сварочных порошков этого рода можно изготовить, смешивая в мелкотолченном виде

- 3 весовых части буры и
2 " " желтой кровяной соли.

и делая из этой смеси с водой кашицу, которую кипятят, пока масса не сгустится. Затем дают последней затвердеть на огне, после чего ее толкут в порошок и прибавляют, тщательно перемешивая, одну часть чистых, незаржавленных железных опилок.

Особенно рекомендуются два нижеследующие рецепта ¹⁾, составные части которых действительно могут иметь полезное влияние при операции сварки; это рецепты Герцога и Руста.

Порошок Герцога составляется из 500 грам. буры, по 70 грам. нашатыря и желтого синильного кали и 35 грам. чистых, незаржавленных железных опилок. Все эти вещества засыпаются в измельченном состоянии в котелок, тщательно смешиваются в нем с водою до густоты кашицы и потом нагреваются на древесноугольном очаге, при непрерывном перемешивании. После расплавления масса охлаждается и мелется в порошок, в каком виде и идет на употребление.

В порошок Руста входит 35,6 част. борной кислоты, 30,1 част. поваренной соли, 26,7 част. желтого синильного кали и 7,6 част. канифоли.

В этих порошках бура, нашатырь, борная кислота и поваренная соль играют роль шлакующих и разжижающих шлак веществ, а синильное кали и канифоль — роль цементующих веществ, восполняющих в стали убыль углерода во время нагрева ее до очень высокой температуры.

Большое распространение получил, в особенности на инструментальных заводах Австрии, как порошок для сварки, — *анкерит* (кристаллическая разновидность доломита с большим содержанием железа), приготовляемый из породы того же наименования, которая прямо после обжига подвергается измельчению и просеиванию.

Сваривание двух металлов, обладающих различными точками плавления, как известно, представляется почти невозможным или, во всяком случае, очень затруднительным.

Такие металлы, как медь и железо, точки плавления которых не особенно далеко отстоят друг от друга, возможно соединить, но подобное соединение все-таки не обладает большой прочностью, так как в месте соединения образуется довольно хрупкий сплав. Heinrich'у Wachwitz'у из Нюрнберга, удалось выработать особый способ, посредством которого возможно соединять самые разнообразные металлы, помещая между ними небольшое количество алюминия. Таким образом он получает сталь; покрытую медью, бронзой, бронзой, алюминием, алюминий, покрытый медью и др. Eng. Decemb. 25—04. Mach.—310—2—04.

Приемы сварки. Если нужно сварить между собою два куска стали, то придадут соединяемым концам форму полуклина и накладывают один кусок на другой таким образом, чтобы в соприкосновении находились наклонные плоскости полуклиньев. Для того, чтобы в момент сварки соединяемые куски не могли скользить один по другому под действием ударов молота, делают на наклонных плоскостях обоих полуклиньев по одной насечке таким образом, чтобы зазубрина одного куска входила в зазубрину другого. Еще удобнее для этой цели расщеплять один конец, заострять в виде клина другой и заземлять таким образом один кусок в другом. Размеры свариваемых концов нужно брать не слишком малыми для того, чтобы при обработке молотом места сварки, последнее не вышло слишком тонким. Окалина, которая образуется при придании свариваемым концам требуемой формы, удаляется со свариваемых плоскостей драчевой пилой или обивается молотком.

После этого нагревают оба конца в чистом пламени, если возможно, то лучше в пламени древесного угля, до такой степени, насколько позволяет это обрабатываемый материал, не подвергаясь опасности пережигания. В общем *правильной температурой сварки является для твердой стали начало желтого каления, а для стали средней и малой твердости — неяркий белый нагрев. Если при вынимании из огня от стали отделяются искры, то это значит, что она пережжена.*

Во время нагревания посыпают место сварки посредством железной ложки с длинной ручкой достаточным количеством сварочного порошка, не вынимая однако предмета из огня и не подвергая, таким образом, его поверхности окисляющему действию воздуха.

Когда обрабатываемые куски стали получают требуемый нагрев, их вынимают и погружают в сварочный порошок, который всегда должен находиться под рукою близ огня в железном ящике, затем быстро накладывают один кусок на другой требуемым образом и соединяют сначала при помощи легких ударов ручным молотком, а затем, по мере охлаждения и затвердевания металла, — большим ручным или паровым молотом.

Для того, чтобы уничтожить возможное при производстве сварки обезуглероживание внешней поверхности предмета, можно после обработки молотом посыпать охладившееся до темно-красного каления место сварки, тонким, равномерным слоем цементирующего порошка.

1) Лабзин. Технолог. метал., стр. 372.

При сваривании стали с железом необходимо принимать во внимание, что температура сварки для железа выше, чем для стали; поэтому класть в огонь нужно сначала железо, а потом сталь. Можно употреблять также для нагревания два различных пламени; так, напр., можно сталь нагревать в пламени древесного угля, а железо в пламени кокса, который дает более интенсивный жар чем древесный уголь. Применение в качестве горючего материала каменного угля с содержанием серы отражается вредно на операции сварки, вследствие образования сернистого железа.

Процесс сваривания железа со сталью в общем одинаков со сваркой стали со сталью.

Если соединяются два достаточно толстых куска, то здесь также рекомендуется расщеплять железный конец и вставлять в него заостренный в виде клина конец стального куска.

Такой способ применяется, между прочим, если нужно наварить сталью лезвие топора или рабочую часть молота.

Если нужно наварить сталью значительную железную поверхность, то наваривают сталь отдельными пластинками.

Для удобства обращения с этими пластинками каждая из них оканчивается удлинением в виде ручки, за которое их захватывают клещами. Для насталивания кузнечной наковальни средней величины наваривают сначала такую пластинку посредине наковальни, а потом посредством двух последовательных нагреваний еще по одной пластинке с правой и с левой стороны.

Стальные пластинки подвергают действию молота сначала с тех сторон, которыми они соприкасаются между собой, а затем уже, когда они приварятся к железу, действию молота подвергают всю пластинку и сваривают края ее с соседними.

Если во время сварки не произошло соединения свариваемых кусков, то при вторичном производстве этой операции с подобными кусками успешность ее подлежит еще большему сомнению. Если при сварке сталь испортилась и дала трещины, то это произошло от ее пережигания и перед вторичным производством этой операции необходимо удалить все испорченные части металла.

Для производства этой операции необходимо значительное перегревание стали, вследствие чего является большая опасность пережигания ее.

68. Ковкость. Чистое железо является одним из самых ковких металлов. На Парижской выставке 1889 г. были образцы железа, расплющенного в лист толщиной $\frac{1}{170}$ ". При нагреве железа до 250° Ц. ковкость заметно не изменяется, при температурах от 250 до 350 (синий нагрев) ковкость становится значительно меньше, в особенности для литого железа; по мере нагревания выше 500° Ц. ковкость железа вообще увеличивается, но уменьшается с увеличением содержания углерода.

Будучи нагрето и потом сильно охлаждено, чистое железо не делается более твердым, т.е. не принимает закала, но при этом несколько уменьшается в объеме.

69. Твердость железа увеличивается с увеличением различных примесей. Особенно сильное влияние на твердость оказывает примесь углерода совместно с хромом и вольфрамом, которая переводит железо в сталь.

Твердость стали еще больше увеличивается при закалке, т.е. при нагревании ее и быстром охлаждении.

70. Излом железа дает до некоторой степени возможность судить об его качестве. Хорошее мягкое железо имеет мелкозернистый или мелковолоконистый с шелковистым отблеском излом.

Зернистый излом получается, когда железо сломано ударом; волокнистый—в том случае, когда железо сломано осторожно. Если излом имеет темный оттенок, то это может указывать на красноломкость (хрупкость при красном калении) железа. Крупнозернистый блестящий излом указывает на то, что железо хрупко, некрепко и вообще плохого качества.

Хорошая сталь дает светлый, еще более мелкозернистый, бархатистый излом, чем железо. Чем тверже сталь, тем будет более мелкозернистый излом.

71. Крепость и вязкость. Эти два качества металла являются наиболее важными для техники. Хотя внешние разрушающие усилия могут действовать на металл различным образом—разрывать, скручивать, сгибать, сре-

зывать, но обыкновенно способность его сопротивляться разрывающим усилиям вполне характеризует также его способность сопротивляться и усилиям другого рода (кроме сопротивления ударным действиям). Сопротивление железа и стали разрывающим усилиям колеблется в весьма больших пределах. Приведенная таблица дает коэффициенты крепости, и вязкости, характеризующейся удлинением до разрыва, различных сортов железа и стали, приготовляемых Путиловским заводом в Ленинграде.

	Марки.	Разрывающ. усилие кгр на □ мм.	Удлинен. в %	Назначение металла.
Сварочное железо.	В	до 30	до 8	Сортовое железо.
	ВВ	31—36	15—10	Универсальное и сортовое жел.
	ВВВ	34—39	25—15	" " " " " "
	ММММ	30—35	38—30	Сварив. листы, универ. ж. и пр.
Литое железо	МММ	34—41	30—20	Листы и разн. фасон. профили.
	ММ	41—46	25—18	" " " " " "
	М	46—50	20—15	Разные профили, балки.
	№ 1	50—55	20—15	Валы, балки.
Сталь.	№ 2	55—59	20—15	Оси вагон. и паровоз., рельсы.
	№ 2 ¹ / ₂	59—65	18—12	Бандажи, рельсы.
	№ 3	65—70	16—10	Бандажи, рел. и рел. кон.-ж. д.
	№ 3 ¹ / ₂	70—80	12—5	Рельсы кон.-ж. д. Разные пружины.
	№ 4	80—90	8—2 ¹ / ₂	Спир. пруж. Рел. кон.-ж. д. Резаки.
	№ 5	свыше 90	6—1	Пружины по специальному требов.

Коэф. крепости тигельной стали достигает 180 кгр.

Разрывающее усилие относится к первоначальному сечению бруска. Удлинение определяется в % первоначальной длины бруска, равной 200 мм.

Как оказывается, коэффициент крепости, взятый отдельно, не вполне характеризует способность металла сопротивляться разрыву. Некоторые сорта железа и стали обладают очень большим коэффициентом крепости, но вместе с тем при растяжении дают очень малые удлинения и сжатия поперечного сечения, что указывает на их малую вязкость, а также и на их твердость.

Такие сорта железа, обладающие малой вязкостью, могут оказывать большое сопротивление спокойным нагрузкам, но вместе с тем легко разрушаются под действием ударов.

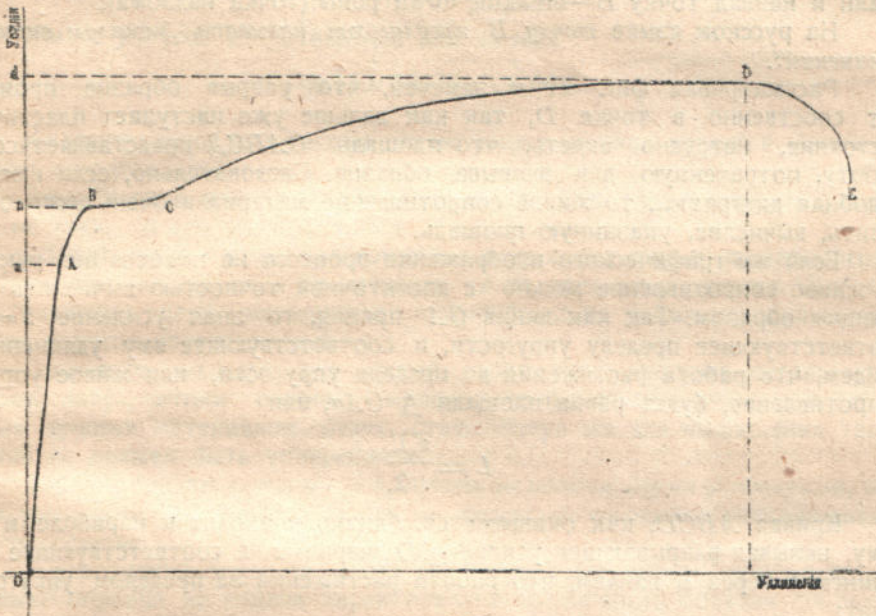
В виду этого Киркальди ¹⁾ предложил для характеристики материала давать совместно с коэффициентом крепости величину сжатия поперечного сечения в месте разрыва или, как он делал, определять коэффициент крепости, относя разрывающее усилие не к первоначальному сечению, а к сечению, полученному в месте разрыва. Определенный таким образом коэффициент крепости более характеричен. Но точное определение подобного коэффициента крепости очень затруднительно. Во-первых, незадолго до разрыва начинается быстрое удлинение образца, — рычаг разрывной машины падает и обыкновенно разрыв происходит при нагрузке несколько меньшей, чем та, при которой началось быстрое удлинение образца. Определить точно величину нагрузки, при которой произошел разрыв очень трудно. Во-вторых, у мягких образцов поверхность, по которой произошел разрыв, получается очень неправильной, так что трудно бывает определить ее площадь. Гораздо удобнее для оценки качества железа и стали определять их живое сопротивление.

¹⁾ Kirkaldy, Experiments on wrought iron and steel, стр. 24.

Живым сопротивлением называется работа, которую нужно употребить для разрыва образца. При этом, для того, чтобы сравнение было возможно, нужно, чтобы размеры сравниваемых образцов были бы одинаковы или же, чтобы работа была приведена к единице объема образца.

Для большого пояснения вышесказанного рассмотрим явление, сопровождающее разрыв железного образца.

Если цилиндрический железный образец, хорошо отполированный и имеющий по всей своей длине одинаковую площадь сечения, вставить в разрывную машину и подвергнуть растягиванию, затем по оси абсцисс откладывать удлинения, а по оси ординат нагрузки, то графически процесс растяжения представится кривой *OABCDE* (фиг. 21).



Фиг. 21.

Пока нагрузка не достигнет величины *oa*, удлинения будут получаться очень незначительные и будут пропорциональны усилиям. Поверхность образца будет оставаться полированной. Графически этот период выразится прямой *OA*.

Когда растягивающая сила превзойдет величину *oa*, пропорциональность между усилием и удлинением нарушится: удлинения будут возрастать быстрее. Графически этот период выразится кривой *AB*.

По достижении растягивающей силой величины *ob* образец получит сразу большое удлинение. Его бьестящая поверхность потускнеет. В этот момент удлинение образца происходит так быстро, что почти нет возможности удерживать рычаг разрывной машины в горизонтальном положении. Графически этот период выражается кривой *BC*.

Затем снова начинается более медленное удлинение, но удлинения все-таки возрастают быстрее, чем нагрузки. Во время этого периода наблюдение производить не затруднительно. Графически оно выражается кривой *CD*.

Когда растягивающая сила достигает величины *od*, то в образце делается заметным местное удлинение и сжатие поперечного сечения. С этого момента наступает пластичное состояние железа или его истечение. Удлинение быстро возрастает, так что приходится уменьшать нагрузку

для того, чтобы поддержать рычаг разрывной машины в равновесии. Наконец, образец разрывается при нагрузке, значительно меньшей *od*.

Точка *A* представляет собой предел упругости или предел пропорциональности нагрузки и удлинения.

Изменение образца, характеризующееся линией *BC*, было замечено еще в 1870 году комиссией английских гражданских инженеров назначенной для испытания стали, и точка *B* названа ими yielding point (сдающая точка).

То же исследовал и описал в 1879 г. проф. Баушингер, он назвал эту точку *Streckrenze* (предел растяжения).

В 1881 г. проф. Кенеди обратил тоже внимание на эту особенность стали и назвал точку *B*—breaking-down point (точка надлома).

На русском языке точку *B* предлагают называть „началом видимых удлинений“.

Рассматривая фиг. 21 и замечая, что разрыв образца происходит собственно в точке *D*, так как дальше уже наступает пластичное состояние, нетрудно видеть, что площадь *OABCD* представляет собой работу, потраченную для разрыва образца. Следовательно, если имеется подобная диаграмма, то живое сопротивление материала очень легко определить, вычислив, указанную площадь.

Если же графического изображения процесса не имеется под руками, то живое сопротивление можно с достаточной точностью вычислить следующим образом. Так как линия *OA* прямая, то зная усиление $z = oa$, соответствующее пределу упругости, и соответствующее ему удлинение λ' найдем, что работа растяжения до предела упругости, или живое упругое сопротивление, будет равна площади $\Delta O A a$, или

$$L = \frac{z' \lambda'}{2}.$$

Кривая *ABCD*, как оказывается, близко подходит к параболе, и потому, называя разрывающее усилие *OD* через z , а соответствующее ему удлинение через λ , найдем, что работа растяжения за пределом упругости будет:

$$L = z'(\lambda - \lambda') + \frac{2}{3}(z - z')(\lambda - \lambda').$$

Полное живое сопротивление выразится следующим образом:

$$\text{Ж. С.} = z' \left(\lambda - \frac{2}{3} \lambda' \right) + \frac{2}{3} (z - z') (\lambda - \lambda').$$

Разделивши **Ж. С.** на объем образца получим, живое сопротивление единицы объема.

Если будет дана величина напряжения материала, соответствующая пределу упругости, коэффициент крепости и соответствующие им относительные удлинения, то приведенная формула прямо выразит работу единицы объема.

Для примера возьмем некоторые значения z и z' , полученные из опытов.

	Кэффиц. крепости крг. на □ мм.	Пред. упруг. крг. на □ мм.	Удлинение до разрыва %	Удлинение до предела упругости.
Хорошее железо . . .	40	15	0,25	0,00075
Сталь мягкая	60	35	0,15	0,00175

Тогда живое сопротивление для железа будет:

$$15 \left(0,25 - \frac{0,00075}{2} \right) + \frac{2}{3} (40 - 15) (0,25 - 0,00075) = 7,89.$$

Живое сопротивление для стали:

$$35 \left(0,15 - \frac{0,00175}{2} \right) + \frac{2}{3} (60 - 35) (0,15 - 0,00175) = 7,91.$$

Живое упругое сопротивление для стали =

$$\frac{1}{2} \cdot 35 \cdot 0,00175 = 0,03.$$

Живое упругое сопротивление для железа =

$$\frac{1}{2} \cdot 15 \cdot 0,00075 = 0,005.$$

Из этого видно, что *упругое живое сопротивление стали в шесть раз больше, чем у железа.*

Здесь кстати можно упомянуть, что так как чугун упругих удлинений не дает, то его упругое живое сопротивление = 0.

Обыкновенно в практике сооружениям придают такие размеры, чтобы действующие на них силы не выводили их из предела упругости. Поэтому при сравнении двух материалов нужно большое внимание обращать на живое упругое сопротивление.

Следовательно, для тех частей сооружения, которые подвергаются ударам, напр., штоки паровых молотов, вагонные оси, рельсы и т. п., самым лучшим материалом будет сталь. Чугун же для выполнения таких частей не должен быть употребляем.

Таким образом *вязкость и крепость являются двумя факторами, обуславливающими прочность железа и стали и их нужно рассматривать всегда совместно.*

Здесь нужно заметить, что диаграмма полученная при медленном разрыве образца не вполне характеризует способность образца сопротивляться ударам. Многие сорта железа, будучи пластичными при медленном разрыве, оказываются хрупкими при действии на них ударов. — На такое свойство железа большое влияние оказывает примесь фосфора. (См. Кирпичев. Сопр. матер. I § 280) М. Е.—623—10—04.

Вообще способность металла сопротивляться ударному действию может быть вполне выяснена только при помощи испытания ударами под копром. (см. Б. П. О. 450—402 г.).

72. Условия, влияющие на изменение прочности железа и стали.

А. Температура ¹⁾ Еще в 1832 г. комиссия Франклиновского института в Филадельфии занималась исследованием вопроса о влиянии температуры на прочность железа.

Эти исследования раскрыли впервые тот интересный факт, что железо, нагреваясь до 250° Ц. (приблизительно), увеличивает свою крепость.

При нагревании до этой температуры и ломании большого числа железных полос оказалось, что в среднем их крепость увеличилась на 15%. При дальнейшем нагревании крепость железа уменьшилась.

Приведенная таблица, опубликованная в „Журнале франклиновского института“ в 1839 г., дает понятие, насколько быстро теряет железо крепость при нагревании его выше 250° Ц.

¹⁾ См. также статью о влиянии времени и температуры на механич. свойства на испытание металлов Le Chatelier. Инженер—№ 3—4 и 5—04.

При ° Ц.	Максимальная крепость умень- шается на:	При ° Ц.	Максимальная крепость умень- шается на:	При ° Ц.	Максимальная крепость умень- шается на:
271	0,0738	390	0,1535	624	0,6000
299	0,0869	408	0,1589	626	0,6011
311	0,0899	410	0,1627	642	0,6332
316	0,0964	440	0,2010	669	0,6622
332	0,1047	500	0,3324	674	0,6715
350	0,1135	508	0,3593	703	0,7001
378	0,1436	554	0,4478		
389	0,1491	599	0,5514		

Подобные же опыты производил Вильям Ферберн ¹⁾. Он употреблял для опытов стаффордширское котельное железо и подвергал его нагреву до темно-краснокапильного жара: при этом крепость железа увеличивалась по мере нагревания от 15° до 200° Ц. Затем началось уменьшение крепости, и при темно-краснокапильном жаре уменьшение крепости достигло 25% по сравнению с обыкновенной температурой. При понижении температуры ниже 0° Ц. крепость немного увеличивалась (от 1% до 6%).

Весьма полные исследования по этому вопросу произведены Кнудом Стифом (Knut Styffe), директором Королевского Технологического института в Стокгольме. Исследования были начаты в 1863 г. и продолжались несколько лет.

На основании своих опытов Стиф пришел к следующему заключению ²⁾.

1) Абсолютная крепость железа и стали не уменьшается под действием холода, так что даже при таких низких температурах, какие случаются в Швеции, крепость остается такая же, как и при обыкновенной температуре + 16° Ц.

2) При температуре от 100° до 200° Ц. абсолютная крепость стали такая же, как и при обыкновенной температуре; у железа же она всегда больше.

3) Вязкость железа и стали не уменьшается при сильном холоде, но обыкновенно уменьшается при температуре 130° Ц., 160° Ц., и в железе больше.

4) Предел упругости повышается при сильном холоде, а наименьшую величину получает при температуре 140° Ц.

5) Коэффициент упругости как железа, так и стали увеличивается с понижением температуры и наоборот, но изменение это не превышает 0,05% на каждый 1° Ц., а потому по крайней мере для обыденных случаев, не представляет никакого значения.

В своем докладе перед собран. Iron and Steel Institute (1905) R. A. Hadfield приводит результаты своих исследований под влиянием низких температур (жидкий воздух—185° Ц.), на железные сплавы. Железо становится вообще значительно хрупче и крепче. Присутствие C влияет на изменение твердости мало. Примесь же никеля сообщ. большую вязкость железу при низких температурах. Точно также присутствие марганца может предупредить появление хрупкости железа. М. Е. 870—6—05.

Особенно интересны опыты, произведенные по тому же вопросу Лешателье ³⁾.

1) British Association Report, 1856.

2) Iron and Steel, Knut Styffe, стр. 111.

3) Influence de la température sur les propriétés mécaniques du fer et de l'acier. Note de M. Andre Le Chatelier, Comptes Rendes 1889 г., стр. 58.

Приводимые результаты относятся к литым металлам, так как оказалось, что железо сварочное дает результаты крайне неоднородные, вероятно, вследствие присутствия в нем примесей, нарушающих его однородность. Этому же обстоятельству, вероятно, нужно приписать и то разноречие, которое существует между предшествовавшими экспериментаторами.

Железо и сталь, употреблявшиеся при этих опытах, были очень чистые, с содержанием углерода от 0,05% до 0,8% и с примесью марганца от 0,35% до 0,40%.

Разрывание образцов велось с такою скоростью, что нагрузка увеличивалась на 1,5 кг. на кв. мм. в 1 минуту.

Явления, сопровождавшие разрыв при различных температурах образца, могут быть разделены на три фазы.

1) Температура от 15° до 80° Ц. Коэффициент крепости постепенно уменьшается от 26,7 до 33,3 для железа и от 68,7 до 64,6 для стали. Разрыв происходит с значительным сжатием поперечного сечения. Удлинение остается почти постоянным: 20% для стали и 30% для железа. В эту фазу железо и сталь ничем не отличаются от других металлов.

2) Температура от 100° до 240° Ц. В эту фазу железо и сталь выказывают свойства, совершенно отличные от других металлов. Коэффициент крепости остается почти постоянным: около 35 для железа и 65 для стали. Удлинение значительно меньше: 9—10% для железа, 3—7% для стали.

Характеристичная особенность этой фазы — это то, что удлинения увеличиваются не постепенно, а скачками. Некоторое время незаметно ни малейшего удлинения, а потом образец дает сразу большое удлинение, при чем удлинение образца не является местным, а распределяется равномерно по всей длине. При 150° Ц. вместе с внезапными удлинениями появляются также и трещины на образце.

3) Температура выше 240° Ц. Коэффициент крепости возрастает: его величина между 250—300° Ц. — 44,2 для железа и 72,8 для стали. Удлинение довольно значительно и достигает при 300° Ц. — 20%. При разрыве сжатие поперечного сечения незначительно. Железо и сталь снова подчиняются тем же законам, как и все остальные металлы. Выше 300° Ц. коэффициент крепости уменьшается.

Предельные температуры, ограничивающие фазы, изменяются соответственно скорости разрыва образца. Если в минуту увеличивать нагрузку на 12 кг. на кв. мм., то вторая фаза начинается при 120° Ц. Если разрыв производить рядом ударов, то вторая фаза начнется при 200°. Третья фаза начнется около 300° Ц.

Этот факт примиряет разноречивые мнения, из которых одни уверяют, что железо при температуре 300° Ц. очень хрупко, а другая, — что оно при этой температуре имеет наибольшую прочность. Если железо, нагретое до 300° Ц., подвергать ударам, оно окажется хрупким; если же его разрывать спокойно, оно выкажет большую крепость и вязкость, т. е. прочность.

Диаграмма (фиг. 22), представляющая графическое изображение изменений коэффициента крепости (*A*) и удлинений железа (*B*) при различных температурах, построена на основании опытов Лешателье.

Кроме того Лешателье ¹⁾ при своих опытах нашел, что скорость, с которою разрывается образец, оказывает влияние на положения начала видимых удлинений. Чем больше скорость разрыва, тем ближе подходит начало видимых удлинений к моменту разрыва, иначе: металл по мере

1) Commission des méthodes d'essai des matériaux de construction, tome II. стр. 327.

возрастания скорости разрыва, дает все меньшие удлинения, становится хрупким. Особенно резко влияние скорости сказывается при низких температурах.

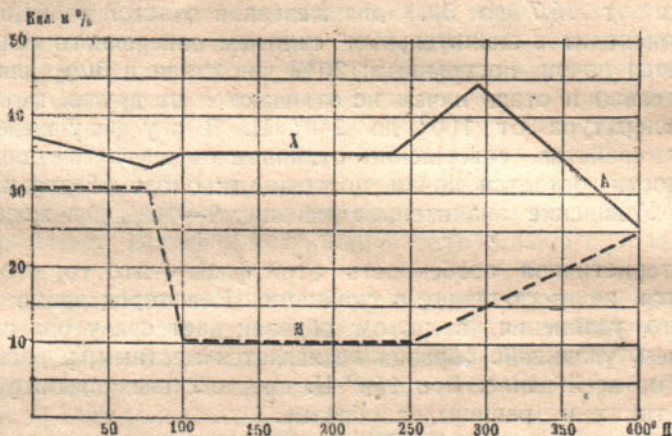
Упомянем еще об опытах, произведенных проф. Мартенсом ¹⁾.

Экспериментируя над литым железом трех сортов, у которых коэффициент крепости был 36, 42 и 47 кгр. на кв. мм., он нашел, что предел упругости понижается по мере нагревания. До 200° Ц. понижение это идет очень медленно; после 200° Ц. предел упругости понижается более быстро и затем совсем исчезает.

Коэффициент крепости уменьшается от 20° Ц. до 50° Ц., потом начинает возрастать и достигает своего maximum'a около 250° Ц.

Наименьшее сокращение поперечного сечения при разрыве замечается около 300° Ц.

Аналогичные же результаты получены профессором Ределовым при его опытах над железом в Берлинской испытательной станции ²⁾.



Фиг. 22.

Опыты Баха, (Z — 1819 — 12 — 03) показали, что вязкость железа при повышении температуры для различных сортов железа изменяется весьма различно и может сильно понизиться. См. также Z. 1349—04.

Интересные исследования о влиянии низких температур на крепость металлов были произведены Штейнером ³⁾.

Низкие температуры получались при помощи жидкой углекислоты. Образцы испытывались на изгиб и разрыв. Результаты некоторых из его испытаний приведены в следующей таблице.

М а т е р и а л ы.	Темпер. при опыте °C.	Напряж. кгр. □ мм.		Удлинение %.	Сжатие попереч. сечения %.
		Начало видим. удлин.	Разрыв образц.		
Сварочное железо	+1,8	27,1	41,3	18,5	48,9
	-50	32,8	42,4	15,0	51,0
Литое железо Мартенса	+25	24,8	40,1	30,5	62,3
	-40	31,8	43,7	17,0	60,0
" " Томаса	+25	24,2	38,1	30,5	69,4
	-50	32,8	40,9	17,0	67,7

¹⁾ Mittheilungen aus der Königlich Versuchsanstalten 1890, стр. 185.

²⁾ Redeloff, Mittheilungen aus der Königlich technischen Versuchsanstalten 1893, Heft 1. To же Stahl und Eisen 1895, стр. 623

³⁾ Steiner, Über Metallconstructions der Zukunft. Zeitschr. des Oester. Ingenieur und Architekten Vereins. 1892, № 8 и 10.

Затем весьма обстоятельные испытания по тому же предмету произведены Дьюаром ¹⁾. Низкая температура получалась при помощи жидкого кислорода. Для испытания брались литые образцы из различных металлов, диаметром 0,2", и проволока, приготовленная из тех же металлов, диаметром 0,1" и длиной 2". Результаты некоторых из его испытаний (средние величины коэф. крепости из 3 и 6 опытов) приведены в следующей таблице:

Температура при опыте ° Ц.	Проволока.				Литые образцы.			
	Мягкая сталь.	Железо.	Медь.	Латунь.	Олово.	Сви-нец.	Цинк.	Сплав Вуда.
+ 15	39	30	19	29	4,5	1,7	0,78	3,1
-182	65	62	28	41	8,7	3,8	6,58	10,0

Как видно из приведенных таблиц, крепость почти всех испытанных металлов (исключение составляют цинк, висмут и антимоний) при низких температурах значительно увеличивается, но зато удлинение при разрыве, а следовательно и их вязкость, заметно уменьшается. Охлажденные и затем снова нагретые до нормальной комнатной температуры, металлы сохраняют свои прежние свойства.

Здесь же уместно будет упомянуть о влиянии, какое оказывает на железо и чугун попеременное действие высокой и низкой температуры, напр., при пожарах когда горячие колонны и балки обдаются холодной водой. Впервые для выяснения этого вопроса были произведены опыты в крупном масштабе Баушингером ²⁾. Из опытов этих выяснилось, что железные колонны, даже при незначительном нагреве (600° Ц.), уже искривляются и постепенно теряют всю свою прочность. Пущенная на них струя воды значительно ухудшает дело, даже если она соприкасается только с основанием колонны. Чугунные колонны, хотя под действием огня и воды дают трещины, но зато не прогибаются столь сильно, как железные, и потому менее теряют свою прочность. При остывании они снова совершенно выпрямляются.

К подобному же заключению привели и дальнейшие испытания, произведенные Moller'ом и Lüthmann'ом ³⁾.

Температура влияет на величину упругого последа «elastische Nachwirkung» и на величину модул. Юнга. Исследование Hopkinson'a при t. до 600 Ц. Eng.—331 9—05

Весьма полный материал о действии различных температур на металлы собран Ледебуром и напечатан в журнале Zeitschrift des Vereines deutscher Ingenieure 1896 г.

Резюмируя все выше приведенное, можно сказать, что все экспериментаторы высказывают почти одно и то же мнение относительно влияния высоких температур на крепость железа, а именно, что *крепость сначала заметно уменьшается, а потом увеличивается по мере возрастания температуры до 300° Ц. и затем начинает снова уменьшаться*. Что же касается до влияния низких температур, то здесь мнения расходятся: Ферберн, Стиф и Киркальди ⁴⁾ утверждают, что холод не влияет на крепость же-

¹⁾ Dewar. Scientific uses of liquid air. The Chemical News 1895. vol. 71, стр. 199.

²⁾ Mittheilungen aus dem Mech.-technisch. Laboratorium zu München, Heft 12 und 15.

³⁾ Verhandlungen des Vereines zur Beförderung des Gewerbfleisses 1887, стр. 573.

⁴⁾ Experiments upon the strength of iron and steel, by D. Kirkaldy, стр. 95.

леза, с другой стороны Перси ¹⁾, Сандберг ²⁾, и многочисленные случаи поломок рельсов и бандажей в морозное время стараются убедить в противном.

Окончательно этот вопрос может быть решен, произведя точные исследования, но пока больше основания есть предполагать, что холод увеличивает хрупкость железа, и потому уменьшает его живое сопротивление.

В. Перемена температуры. Если нагретое железо или сталь быстро охладить, то железо почти не изменяет при этом своей крепости и мягкости и только разве в некоторых случаях делается еще более мягким. Напротив того, сталь при быстром охлаждении твердеет (принимает закал), при чем ее крепость увеличивается, а вязкость уменьшается.

В подтверждение этого Мильтон ³⁾ приводит следующие результаты испытаний над образцами, приготовленными из листовой стали:

М а т е р и а л .	Первонач. состояние.		После закала.	
	Коэф. креп. кгр. на □ мм.	Удлинен. на 250 мм.	Коэф. креп.	Удлинение на 250 мм.
Мягкая сталь	39,4	24%	59,8	10%
Более твердая сталь	45,6	23%	66,7	5%
Твердая сталь	54,0	22%	78,7	6%

Увеличение крепости и уменьшение вязкости происходит тем сильнее, чем больше содержание углерода в железе и чем быстрее производится охлаждение. Это подтверждается следующими результатами испытаний Лебастея ⁴⁾ над различными сортами стали завода Terre Noire:

Содерж. углерода %	Первоначальн. состоян.			Закален. в масле.			Закален. в воде.		
	Предел упруг.	Коэф. креп.	Удли. %	Предел упруг.	Коэф. креп.	Удли. %	Предел упруг.	Коэф. креп.	Удли. %
0,150	16,2	36,4	32,5	32,8	46,8	28,6	30,7	45,4	19,0
0,490	23,0	48,0	24,8	44,6	69,5	12,0	48,0	78,0	2,5
0,709	30,8	68,2	10	48,8	107,0	4,0	} Лопну ло при закале.		
0,875	32,8	64,8	8,4	90,51	106,0	1,0			
1,050	34,5	86,0	5,2	Лопну	ло при закале				

Если закаленную сталь или железо, утратившее свою мягкость в силу каких бы то ни было обстоятельств, нагреть и потом медленно охладить, то как сталь, так и железо снова приобретают мягкость, но в то же время крепость их уменьшается. *Процесс нагревания и затем медленного охлаждения называется отжигом.* Отжигание во всех случаях оказывает благотворное влияние, увеличивая живое сопротивление железа и стали.

¹⁾ Предисловие к Steel and Iron, by Styffe.

²⁾ Ibid Appendix, by the translator.

³⁾ Testing of materials of construction, by Unwin, стр. 300.

⁴⁾ Lebasteur, Les Métaux, стр. 72.

Испытания над влиянием отжига на крепость и вязкость железа и стали производил Гиль (Hill) ¹⁾. Ниже приведены некоторые результаты его опытов.

ОТЖИГАНИЕ СТАЛИ С РАЗЛИЧНЫМ СОДЕРЖАНИЕМ С						
Содержание углерода ‰	Не отожженная.			Отожженная.		
	Предел упруг.	Коэф. крепости.	Удлинение ‰	Предел упруг.	Коэф. крепости.	Удлинение ‰
0,3	30,3	53,7	24	22,7	41,6	29
0,4	34,6	63,9	17	29,3	55,8	22
0,5	39,7	68,7	13	34,3	63,7	16

Как видно из этой таблицы, предел упругости и коэффициент крепости при отжигании уменьшаются, а удлинение, т.е. вязкость, увеличиваются. При этом влияние отжига тем сильнее, чем меньше содержание углерода в железе, т.е. чем сталь мягче.

ВЛИЯНИЕ ОТЖИГА ПРИ НАГРЕВЕ ДО РАЗЛИЧНЫХ ТЕМПЕРАТУР.				
	Первонач. состояние.	Нагрет. до черн. кален.	Нагрет. до темно-вишн. цвета.	Нагрет. до светл.-вишн. цвета.
Предел упругости	30,4	28,6	25,0	21,7
Коэффициент крепости	52,6	49,4	44,2	40,3
Удлинение на 300 мм. ‰	20	23	28	36
Сжатие поперечн. сечения ‰	35	38	44	53

Влияние отжига становится тем заметнее, чем более нагревается металл.

ВЛИЯНИЕ НА ОТЖИГ СКОРОСТИ ОХЛАЖДЕНИЯ.					
	Нагретая до темно-вишнев. цвета.		Нагретая до светло-вишнев. цвета.		Первоначальное состояние.
	Охлажд. в извести.	Охлажд. в масле.	Охлажд. в извести.	Охлажд. в масле.	
Предел упругости	29,4	31,9	25,7	28,2	35,2
Коэффициент крепости	56,1	58,4	50,5	52,9	65,5
Удлинение ‰	22,3	19,8	25,3	21,8	15,3
Сжатие поперечн. сечения ‰	38,7	40,7	42,8	46,1	30

¹⁾ Iron Age, March 1883.

При охлаждении в извести, т.-е. при более медленном, действие *ст-жила* проявляется более сильно.

Особенно полезным оказывается отжигать стальные отливки—при этом уничтожаются их внутренние напряжения и увеличивается живое сопротивление.

Следующая таблица представляет результат опытов Гиля над влиянием отжига на стальные отливки ¹⁾

Коэф. крепости.		Удлинение %.		Сжат. попер.сеч. %.	
Неотж.	Отж.	Неотж.	Отж.	Неотж.	Отж.
53,2	51,6	12,00	22,00	8,16	38,70
50,5	57,6	4,16	14,60	2,90	28,11
—	50,8	—	15,00	—	38,70
37,8	44,7	1,00	13,00	2,80	15,90
—	47,3	—	21,00	—	23,05

С. Обработка железа и стали при температуре от 270° до 350° Ц. при так называемом синем нагреве (Blue heat).

Уже давно было известно, что железо, охлаждаясь, вслед за потерей темно-красного цвета переходит через известный период, в котором оно представляет большую опасность для обработки. Многие рабочие подметили эту опасность, и потому обыкновенно прекращают работу, выжидая, пока металл более охладится.

Если при такой температуре нагрева (240—350° Ц.) железо сломать, то оно имеет в изломе синеватый оттенок, откуда и название *синий нагрев*.

На это обстоятельство впервые обратил надлежащее внимание и произвел ряд опытов Стромейер ²⁾. Из этих опытов оказалось, что *если железо или сталь подвергать обработке при синем нагреве, то по охлаждении металл тердет всю свою прочность, делается крайне хрупким*.

Для своих испытаний Стромейер зажимал испытуемые образцы между молотом и наковальней и подвергал их изгибу ударами молотка около закругленного ребра на угол в 45°. Затем образец переворачивался и загибался в другую сторону. Число изгибов, прежде чем образец ломался, определяло вязкость материала.

В следующей таблице приведены результаты некоторых из его испытаний.

¹⁾ См. также „Gant. Steel Castings. Engineering, vol LII, p. 380, и T. A. S. M. E.—1891.

²⁾ Testing of materials, by Unwin, стр. 302; также Proc. Civil Engineers 1886.

Какому воздействию подвергался образец.	СРЕДНЕЕ ЧИСЛО ИЗГИБОВ ДО ИЗЛОМА.			
	Среднетвердая сталь 10 мм. толщ.	Мягкая сталь 10 мм. толщ.	Литое железо 10 мм. толщ.	Сварочное железо Low Moog 10 мм. толщ.
Изгибался в первонач. виде, холодн.	21	12 $\frac{1}{2}$	26	20
Изгибался при син. нагреве. .	2 $\frac{1}{2}$	1 $\frac{1}{2}$	2 $\frac{1}{2}$	3
Согнутый один раз при син. нагреве, изгибался холодн. .	3	2 $\frac{1}{2}$	11	12
Согнутый при син. нагр. два раза, изгибался в холодн. состоянии	1 $\frac{1}{3}$	1 $\frac{1}{4}$	2 $\frac{1}{3}$	10

Таким образом, оказывается, что образец, изогнутый при синем нагреве хотя бы один раз, терлет уже более половины своей вязкости. Наименьшему влиянию подвергается сварочное железо, наибольшему — сталь. Эти результаты ясно указывают на ту опасность, которую представляет обработка железа и стали при синем нагреве.

Овнин для выяснения того же вопроса произвел следующий опыт. Два образца, приготовленные из мягкой стали, были нагреты до красного каления, затем, как только красный цвет исчез, осторожно согнуты посередине на угол 15° и снова выпрямлены. По охлаждении они были разорваны на разрывной машине. Удлинения на каждый дюйм длины распределились следующим образом:

Образец изогнут 1 раз.	Образец изогнут 2 раза.
0,048	0,120
0,152	0,154
0,138	0,156
0,080	0,064
0,020	0,000
0,010	0,002
0,138	0,082
0,287	0,174
0,622 место разрыва	0,610 место разрыва.
0,160	0,232
0,100	—

Как видно, образец в месте нагрева почти не дал удлинений и сжатие поперечного сечения получилось с обеих сторон нагретого места. Таким образом, материал является совершенно разнородным по всей длине образца.

Подобная разнородность материалов может получиться при обработке больших листов, где ковку некоторых мест стараются докончить после того, как материал уже значительно охладился, что может повести к весьма печальным результатам, а потому на это обстоятельство нужно обращать особое внимание.

Что железо становится хрупким при некоторых температурах, указывают также и приведенные выше опыты Лешателье (2-я фаза). Из тех же опытов видно, что при ударном действии на металл опасная для его обработки температура повышается; следовательно, при обработке железа под паровыми молотами нужно нагревать металл более сильно, чем при обработке давлением под прессом.

Вред, нанесенный обработкой при синем нагреве, может быть уничтожен отжигом металла, на что указывают испытания, произведенные Вебом (Webb) на английском железодельном заводе Crey Iron Works.

Следующая таблица дает результаты этих испытаний.

	Кэфци. крепости кгр. на □ мм.	Удлинение в % на 250 мм.
Листы в обыкновенном состоянии, отожженные	48,7	23,6
Кованные при синем нагреве и "	47,6	23,8
Согнутые " " " " " "	48,4	22,1
" " красном калении и охлажденные	49,8	22,5
Отожженные листы, согнутые в холодном состоянии	51,0	12,5
То же, потом отожженные вторично	48,1	23,6
3 раза согнутые при синем нагреве, без отжига	59,9	4,3
Кованные " " " " " "	55,5	10,0
1 раз согнутые " " " " " "	50,3	7,5
Разорванные " " " " " "	61,1	11,4

Как видно из этой таблицы, утраченная вязкость металла снова восстанавливается отжигом.

Д. Обработка в холодном состоянии. При обработке железа и стали в холодном состоянии в тех случаях, когда металл деформируется, выходя из пределов упругости, обыкновенно замечается, с одной стороны, *повышение предела упругости и увеличение коэффициента крепости*, а с другой стороны, — *уменьшение вязкости металла*.

Это видоизменение материала является иногда очень желательным, а иногда, напротив, делает его непригодным к употреблению.

Консидер приводит следующие данные, характеризующие до некоторой степени влияние холодной обработки ¹⁾.

МАТЕРИАЛЫ.	Пределы упруг кгр. на □ мм.	Кэфци. крепости кгр. на □ мм.	Удлине- ние %.
Очень мягкая сталь	25,3	42,5	26,5
То же, пресс. гидр. пресс. 5 тонн на □ сант.	35,7	44,6	17,0
Сталь для судостроения	29,6	52,5	18,0
То же, прокатанная в холодном состоянии от 10 до 9,45 мм.	42,3	54,5	11,5
Железный лист	22,8	37,4	15,0
То же, прокатанный в холодном состоянии от 8 до 7,1 мм.	41,6	46,9	7,0

¹⁾ M. Considérés, L'emploi du fer et de l'acier, стр. 118.

Как видно из этой таблицы, коэффициент крепости изменяется не очень значительно, предел же упругости повышается очень сильно, но вместе с этим уменьшается вязкость.

Холодная прокатка применяется в больших размерах в Соединенных Штатах Северной Америки для выработки приводных валов. Главным образом подобной обработке подвергается самое чистое, мягкое, пудлинговое железо.

Многочисленные исследования проф. Торстона над обработанным таким образом железом привели его к следующим заключениям ¹⁾.

Крепость при растяжении увеличивается от 25% до 40%, крепость при изгибе на 50 — 80%.

Предел упругости повышается на 80 — 125%.

Живое упругое сопротивление значительно увеличивается.

Полное живое сопротивление, однако, уменьшается до 50%; так что увеличение упругости и крепости получается за счет вязкости; поэтому прокатанное в холодном состоянии железо применимо только в тех случаях, когда напряжения материала не могут выйти из предела упругости.

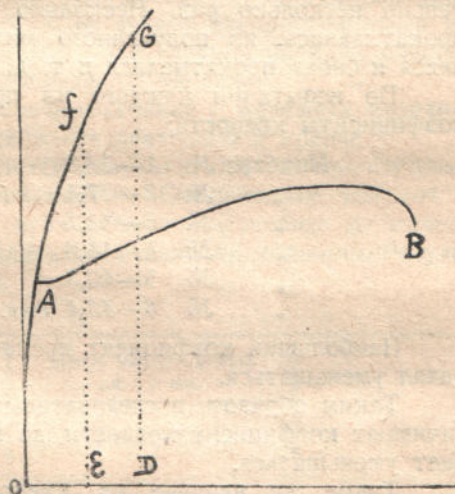
Кроме указанных изменений, холодная прокатка сообщает железу гладкую блестящую поверхность, совершенно свободную от окалины. Железо может быть прокатано с большой точностью в размерах (на заводе Johnes and Laughilins, Pittsburgh, Pa., валы прокатываются с точностью до $\frac{1}{1000}$ "), не требуя дальнейшей обработки.

Иногда при холодной обработке железо получает только местные изменения крепости. Так, напр., при отрезывании на ножницах место около обреза становится твердым и хрупким.

То же самое при пробивании дыр пуансоном: около пробитого отверстия металл уплотняется, твердеет и становится хрупким. Это затвердевание распространяется внутрь металла на толщину до 3 мм. Удаление такого слоя с помощью высверливания или развертывание отверстия, обстрогивания кромки вполне уничтожает затвердевание. Некоторые опыты указывают на то, что затвердевание способно постепенно распространяться на толщину до 125 мм., и потому, если его желают уничтожить, то пробитые отверстия должны развертываться возможно скорее.

Полученные вследствие холодной обработки твердые места могут оказаться очень опасными при общем сопротивлении детали и наверно прежде всего разрушатся.

Для большего разъяснения этого вопроса удобнее обратиться к фиг. 23, где *OAB* представляет графическое изображение растяжения мягкого металла, а *OAC* — расширение затвердевшего при обработке. Хотя крепость затвердевшего металла и больше, но зато, когда общее растяжение детали достигнет величины *OE*, то мягкая часть еще будет далеко от разрыва, тогда как твердая уже получит большое напряжение *Ef* и будет почти на границе разрушения *C*.



Фиг. 23

¹⁾ Thorston Report on cold-rolled iron and steel. Pittsburgh 1878.

Следовательно, подобных местных затвердеваний металла допускать не следует.

Изменившиеся под действием холодной обработки железо и сталь снова приобретают свои прежние качества после отжигания.

Вероятно, небольшое уменьшение коэффициента крепости у некоторых сортов железа и стали после отжигания нужно именно объяснить тем, что прокатка их доканчивалась уже при низкой температуре, и потому появилась некоторая твердость и большая крепость, которые и уничтожаются после отжига.

Е. Обработка в горячем состоянии. Обработка железа и стали при такой температуре, при которой они переходят в пластичное состояние, обыкновенно улучшает качество металла, повышает его коэффициент крепости и при этом не уменьшает вязкости, а иногда даже увеличивает ее.

Ферберн ¹⁾ приводит испытание, произведенные Клейем (Clay) на железоделательном заводе „Mersey Steel Works“, которые состояли в том, что одно и тоже железо проваривалось и прокатывалось последовательно несколько раз. Несколько милбарсов № 1 сваривались вместе и прокатывались, из полученного милбарса № 2 составлялся пакет, сваривался и снова прокатывался и т. д.

По испытанию каждого из прокатных №№ получились следующие коэффициенты крепости:

Милбарс № 1—30,8	Милбарс № 7—41,8
„ № 2—37,1	„ № 8—40,3
„ № 3—41,8	„ № 9—40,3
„ № 4—41,8	„ № 10—38,0
„ № 5—40,3	„ № 11—36,5
„ № 6—43,4 max.	„ № 12—30,8

Наибольший коэффициент крепости получился при 6-й прокатке, затем начал уменьшаться.

Таким образом, последовательные проварки и прокатки железа увеличивают коэффициент крепости до известного предела, а потом он начинает уменьшаться.

Такое же влияние на крепость железа оказывает и ковка. Она уплотняет металл и повышает его живое сопротивление. Вследствие этого мелкие детали, которые могут быть прокованы лучше, выказывают большую прочность, чем крупные. В крупных же деталях на поверхности металл лучше прокован, и потому он здесь всегда прочнее, чем изнутри. Так, напр., на американском пароходе Dolphin сломался на пробном плавании вал. Образцы, вырезанные из вала, при испытании дали следующие результаты.

	Предел упр. кгр. на □ мм.	Кoeffиц. креп. кгр. на □ мм.	Удлинение %.
Из центра вала	23,9	37,9	2
С поверхности вала	22,5	56,2	18

У стали при ковке коэффициент крепости изменяется не так сильно. По опытам Воклена на заводе Baldwin Locomotive Works в Филадельфии над литой сталью получились следующие результаты ²⁾:

¹⁾ Ферберн. Железо, стр. 251.

²⁾ Engineering April 1894, стр. 471.

	Кoeffиц. крепости кгр. на □ мм.	Удлинен. %/о.	И з л о м.
Болванка с кв. сечен. 125 мм. в стороне . . .	35,7	13	Кристаллическ.
" прокованная до толщины 180 мм. .	35,6	16	Частью кристалл.
То же до 145 мм.	34,7	18	
" " 125 "	35,0	20	Шелковистый.
" " 100 "	35,1	22	

Из таблицы видно, что коэффициент крепости изменяется мало, но вязкость материала, а следовательно, живое сопротивление, сильно возрастает.

Г. Размеры изделий. Вследствие того, что влияние обработки, которая вообще увеличивает коэффициент крепости, не может распространяться на всю массу металла, крепость последнего получается различной на поверхности и в центре, как это видно из предыдущей таблички.

Поэтому, чем меньше будет поперечное сечение у железных изделий, тем материал в них будет равномернее, а следовательно и крепче.

Справедливость этого подтверждается результатами опытов, произведенных в 1881 г. испытательным департаментом Соединенных Штатов ¹⁾ (United States Testing-Board) При этих испытаниях полосы из железа одного и того же качества прокатывались до различной толщины. Результаты приведены в следующей таблице.

Размеры полос в дюймах.	Кoeff. креп. в кгр. на □ мм.		Пред. упруг. в кгр. на □ мм.		А.
	Не обточен.	Обточен.	Не обточен.	Обточен.	
4	—	32,2	—	16,4	31
3	—	33,5	—	18,5	32,6
2 1/2	33,2	33,2	20,8	20,9	33,6
2 1/4	34,0	34,6	21,8	22,5	34,7
2	33,7	34,0	25,8	22,3	35,1
1 3/4	35,4	34,3	25,3	26,3	35,8
1 1/2	35,7	36,3	24,5	25,6	36,8
1 1/4	37,0	34,9	27,7	28,5	38
1	36,3	35,9	27,4	27,0	39,35
3/4	35,5	35,2	23,7	25,1	40,7
1/2	36,6	37,0	26,9	27,4	43
1/4	40,0	41,8	—	—	48

Как видно, коэффициент крепости и предел упругости с уменьшением толщины бруса увеличиваются.

Профессор Торстон ²⁾ составил следующую эмпирическую формулу, дающую зависимость между размерами железа и его коэффициентом крепости.

$$z = 59 - 14,06 \lg d.$$

¹⁾ Unwin, Testing of materials of construction, стр. 289.

²⁾ Thurston, Steel and iron, стр. 407.

Здесь z коэффициент крепости в кгр. на кв мм., d — диаметр железной полосы в миллиметрах.

Последний столбец A в предыдущей таблице дает коэффициенты крепости вычисленные по этой формуле. Как видно, для полос от 4" до 1" формула дает величины, весьма близко подходящие к полученным при опытах. Для более же мелких сортов получается некоторая разница, но объяснить ее нужно тем, что прокатка полос велась не при нормальных условиях, отчего коэффициенты крепости получились несколько меньше, так что, вообще формула Торстона дает довольно близкие к действительности величины для коэффициентов крепости хорошего железа.

Г. Время и сотрясения. Известно, что железо и сталь под влиянием времени изменяют свою внутреннюю структуру и химический состав. К счастью, перемены эти обыкновенно или не изменяют, или улучшают качество железа. Первые железные рельсы, положенные Робертом Стевенсоном в 1832 г. в Америке для железной дороги «Camden and Amboy», были приготовлены из очень плохого, хрупкого железа. Спустя много лет они были сняты и прокатаны в полосовое железо, при чем оно получилось прекрасного качества.

Недавно произведены испытания железа из швейцарского моста, прослужившего 38 лет. Так как при постройке моста испытание материалов не производилось, то для сравнения качества были взяты образцы из крайних стержней, почти не подвергавшихся напряжению, и из средних, испытывающих напряжение от 5 до 5,4 тонн на квадрат. дюйм.

Испытание дало следующие результаты ¹⁾:

Образцы из крайних стержней. .	20,38—22,6	удлин.	11—24%
Образцы из средних стержней. .	20 —22,4	"	15—25%

Из чего можно заключить, что железо не изменило своих качеств под действием грузов в течение долгого времени.

Но подобные явления улучшения или сохранения старого качества металла замечаются только в том случае, когда действующие усилия не выводят его из пределов упругости или даже не подводят металл близко к этому пределу.

В противном случае замечается совсем обратное явление. Железо под влиянием сотрясений, повидимому, изменяет волокнистое строение на кристаллическое и теряет крепость.

Интересный пример подобной перемены волокнистого строения на кристаллическое представляет случай поломки разрывной машины при вашигтонском морском арсенале. Эта машина служила 35 лет, и очень часто ее нагружали до 130 тонн. Недавно один из ее рычагов сломался при нагрузке 100 тонн. Излом показывал явно кристаллическое строение, которое при исследовании рычага оказалось на длине одного фута; в других частях рычаг имел волокнистое строение.

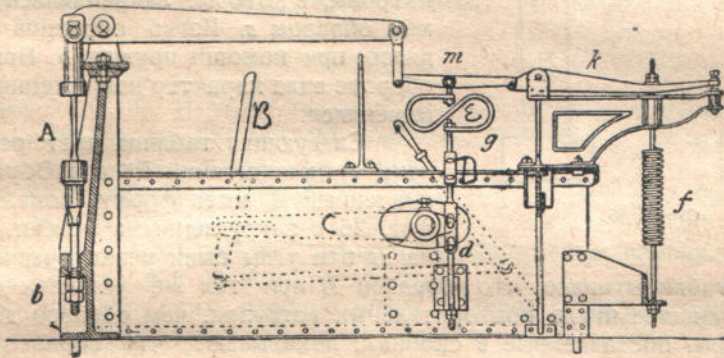
На заводе The Morgan Iron Works в Нью-Йорке при ковке большого вала сломалась полоса, которая приваривалась для его поддерживания и поворачивания. Полоса эта имела 20 фут. длины, 12" толщины с одного конца и 15" с другого. Когда вал был под паровым молотом, то удары последнего производили сотрясения свободного конца полосы, который после довольно долгой службы и отломился. Вес оставшегося конца был около тонны; сообразно же размерам полосы при обыкновенном железе для подобного излома нужно было бы приложить силу, по крайней мере, в 14 раз большею. Излом оказался совершенно кристаллическим. Ребра одного из кристаллов были около 12 мм.

¹⁾ Engineering, Dec. 1894, стр. 737.

Кроме сотрясений на кристаллизацию железа и в особенности стали, может иметь влияние температура. Если при ковке стальной вещи нагревание ее производится неравномерно, то весьма вероятно, что при остывании сталь получит кристаллическое строение.

Многие авторитеты, признают возможной кристаллизацию железа только при переходе из очень горячего, почти расплавленного состояния в более холодное; кристаллизацию же под влиянием сотрясений считают не доказанным явлением повторительных нагрузок. (См. следующий §).

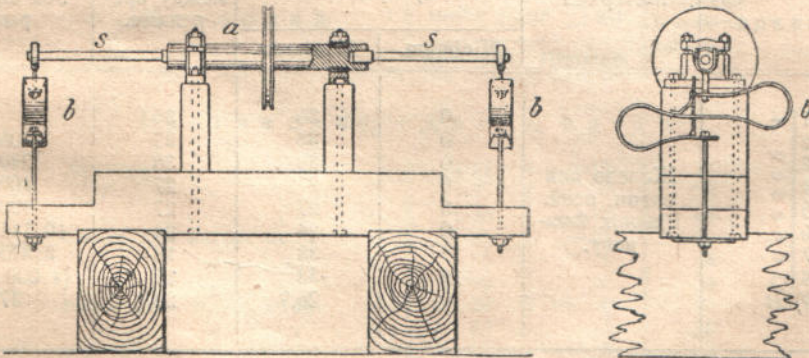
Н. Влияние повторительных нагрузок. В 1858 г. Вёлер по поручению прусского правительства предпринял ряд опытов над действием повтори-



Фиг. 24.

тельных нагрузок. Опыты эти продолжались около 12 лет; в 1871 г. были опубликованы полученные им результаты ¹⁾. Для своих опытов Вёлер употреблял машину, изображенную на фиг. 24.

Испытуемый образец закреплялся в зажимах *A*. Усилие передавалось эксцентриковой тягой *B*, при-посредстве рычага *C*, стержня *D* и пружины



Фиг. 25.

E, на рычаг *m*. Этот последний рычаг опирался одним концом на неравноплечий рычаг *h*, а другим на неравноплечий рычаг *k*. Длинное плечо рычага *k* удерживается пружиной *f*.

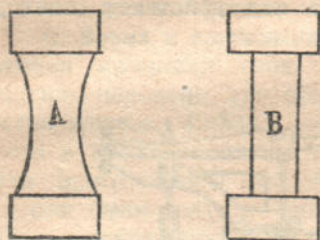
При движении вверх эксцентриковой тяги стержень *D* опускался и увлекал за собой пружину *E*, и рычаг *h* производил растяжение образца. При этом рычаг *k*, вследствие натяжения пружины *f* оставался неподвижным.

¹⁾ Ueber die Festigkeitversuche mit Eisen und Stahl angestellt von A. Wöhler.

Изменяя размах тяги B , можно было изменять и степень нагрузки испытуемого образца, при этом сила, растягивающая образец, всегда регулировалась пружиной f . Как только она переходила известный предел, пружина f растягивалась и уменьшала ее.

Гайка, находящаяся на нижнем конце стержня D , удерживала его в любом положении при движении тяги B вниз.

Таким образом, изменяя натяжение пружины f и подвинчивая гайку, можно было по произволу изменять пределы нагрузки на испытуемый образец.



Фиг. 26.

На изгиб образцы испытывались при помощи машины, изображенной на фиг. 25. По концам вращающегося вала находились патроны, в которые закреплялись испытуемые образцы s . Изгиб образцов производился при помощи пружин b . При каждом обороте вала характер напряжения волокон изменялся.

Следующая таблица дает результаты некоторых испытаний Ввлера. Образец обозначенный A , имел форму, показанную на фиг. 26 с закругленными углами. У образца B эти углы были резко очерчены.

Из таблицы видно, что образец B при тех же условиях выдержал гораздо меньшее число повторительных нагрузок, чем образец A .

Цифры, поставленные в скобках, показывают, что образец при таком числе нагрузок еще не сломался.

Как видно из этой таблицы, число повторительных нагрузок, которое может выдержать образец, увеличивается по мере того, как величина нагрузок уменьшается.

Форма образца.	Материал.	Нагрузка в кгр. на □ мм. между пределами.		Разность между пре- делами.	Число нагру- зок до раз- рыва.
		Minimum.	Maximum		
1 2 3 4 5 6 7 8 9 Образец А.	Железо для вагон. осей. Phoenix Com- рау.	0	36	36	800
		0	33	33	106.910
		0	30	30	340.853
		0	27	27	409.481
		0	27	27	480.852
		0	24	24	10.141.645
		15	33	18	2.373.424
		18	33	15	(4.000.000)
		0	26,9	26,9	37.828
10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 Образец А.	Сталь для вагонных осей завода Крупна.	0	60,1	60,1	18.741
		0	52,6	52,6	46.286
		0	45,1	45,1	170.170
		0	41,1	41,1	123.770
		0	37,5	37,5	473.766
		0	36,0	36,0	(13.000.000)
		0	34,5	34,5	(13.200.000)
		37,6	60,1	32,5	(1.801.000)
		30,0	60,1	30,1	(12.100.000)
		26,3	60,1	33,8	(12.000.000)

Ф о р м а о б р а з ц а.	Материал.	Нагрузка в кгр. на □ мм. между пределами:		Разность между пределами.	Число нагру- зок до раз- рыва.
		Minimum.	Maximum.		
20	Образец В. Сталь для вагонных осей завода Крупна.	0	37,6	37,6	23.546
21		0	34,6	34,6	35.486
22		0	31,6	31,6	65.358
23		0	30,0	30,0	75.343
24		0	27,0	27,0	208.883
25		0	24,0	24,0	274.970
26		0	22,5	22,5	(1.100.000)

Кроме того, из этой же таблицы видно, что число нагрузок зависит не от одной только их абсолютной величины, но также и от тех пределов, между которыми изменяются эти нагрузки.

Так, напр., образцы №№ 7 и 8, несмотря на то, что были нагружены до напряжения 33 кгр., выдержали несравненно больше нагрузок, чем образец № 2,—вследствие того, что напряжение изменялось в них только на 18 кгр., а в № 2 на все 33 кгр.

На основании своих опытов Вёлер пришел к заключению, что под действием повторительных нагрузок железо и сталь могут быть разрушены, даже в том случае, если каждая из отдельных нагрузок не в состоянии разорвать металла. Но, с другой стороны, всегда существует известная величина напряжения, повторение которого металл может выдержать произвольно большое число раз.

Величины подобных безопасных напряжений, определенных Вёлером, приведены в следующей таблице:

М а т е р и а л.	Предел напряже- ний кгр. на □ мм.		Разница в измен. напряж.
	Maximum.	Minimum.	

Р а с т я ж е н и е, с ж а т и е, и з г и б.

Железо	+12	-12	24
"	+25	0	25
"	+33	+18	15
Сталь для вагон. осей	+21	-21	42
" " " "	+36	0	36
" " " "	60	26	34
Незакален. пруж. сталь	38	0	38
" " " "	53	18	35
" " " "	60	30	30
" " " "	68	45	23

К р у ч е н и е и с д в и г.

Сталь вагон. колес	+16,5	-16,5	33
" " " "	28	0	28

Продолжение опытов Вёлера, по предложению проф. Релло, было поручено проф. Шпангенбургу, который произвел целый ряд испытаний

над железом, сталью и другими сплавами ¹⁾. Полученные им результаты явились подтверждением опытов Вёлера.

Откладывая по оси абсцисс напряжения, а по оси ординат соответствующее число повторительных нагрузок до разрыва, Шпангенбург построил целый ряд кривых для различных металлов, представляющих наглядно результаты его опытов.

Эти кривые шли, асимптотически приближаясь к прямой, параллельной оси ординат, указывая, таким образом, на то, что всегда существует напряжение, при котором металл может выдержать бесконечное число повторительных нагрузок.

Затем подобные же опыты произведены были Бекером (В. Baker) и Баушингером и вполне подтвердили полученные раньше результаты.

Следующая таблица представляет величины напряжений, которые, согласно опытам Баушингера, материал может выдержать произвольно большое число раз:

Материалы.	Попеременно сжатие и растяжение		Растяжение от 0 до		Растяжения.		Кэф. креп. при обыкн. разрыве.
	от (сжатие).	до (растяж.).	0.	растяж.	от	до	
Листовое железо	11,2	11,2	0	20,6	17,9	30,2	35,9
Полосовое "	13,6	13,6	0	24,8	20,7	34,5	41,5
Бессем. мягкая сталь, листы .	13,4	13,4	0	24,7	22,5	37,4	45,0
Сталь для вагон. осей	16,5	16,5	0	31,0	31,4	50,5	62,9
Стальные рельсы	15,2	15,2	0	28,9	30,7	48,5	61,4
Мягкая сталь для котел. листов (литое жел.)	13,6	13,6	0	24,8	20,9	35,5	41,8

Если мы по оси абсцисс будем откладывать минимальные нагрузки, а по оси ординат соответствующия им допустимые максимальные разности нагрузок, то геометрическое место подобных точек, как оказалось из опыта, будет кривая, близко подходящая к параболе. Поэтому, если над материалом произвести три испытания, дающие величины соответствующих минимальных и максимальных нагрузок, аналогично с тем, как приведено в предыдущей таблице, то по этим трем точкам можно построить кривую, которая и будет характеризовать способность материала сопротивляться повторительным нагрузкам. Имея подобную кривую для каждой минимальной нагрузки, сейчас же будет известна соответствующая максимальная и наоборот.

Интересен тот факт, что металл под действием повторительных нагрузок не теряет своей крепости и вязкости, так как разрушенные повторительными нагрузками образцы при испытаниях на разрывных машинах выказывают свою прежнюю крепость и вязкость. В этом отношении сходятся как показания Бекера, так и Баушингера.

Нужно допустить, что разрушающее действие повторительных нагрузок распространяется на весьма тонкий, наиболее слабый слой поперечного сечения, по которому металл и разрывается. Такое соображение подтверждается еще и тем обстоятельством, что при повторительных нагруз-

¹⁾ The fatigue of metals under repeated strains, by Ludwig Spangenburg. (Пер. с немецкого).

ках железо и сталь рвутся без всяких удлинений, совершенно как хрупкие металлы.

То же самое замечается и при поломке вагонных осей, бандажей и др. и, вероятно, то, что обыкновенно приписывают действию кристаллизации железа, может прямо быть объяснено влиянием повторительных нагрузок.

Влияние повторительных нагрузок открыто Вёлером уже более 50 лет тому назад, но распространение установленных им положений шло очень медленно.

Причину этого нужно искать в том, что положение Вёлера пока основывались только на опыте и не находили себе объяснений со стороны теории сопротивления материалов.

Обыкновенно надежной нагрузкой теория сопротивления материалов считает ту, при которой напряжение металла не превосходит предела упругости.

Согласно с этим воззрением, действие повторительных нагрузок, не превосходящее предела упругости, не должно бы быть разрушительным. На самом же деле из опытов Вёлера оказывается, что повторительные нагрузки, даже не выводящие металл из предела упругости, способны разрушить его. Кроме того, известно, что предел упругости железа и стали может быть повышен, а потому, тем более, повторительные нагрузки не должны бы разрушать их.

Таким образом, положения установленные Вёлером, являются как бы в противоречии с теорией сопротивления материалов. Устранению этих противоречий способствуют исследования Баушингера над изменением пределов упругости ¹⁾.

На основании своих опытов, при помощи очень точных инструментов, Баушингер нашел, что повышению предела упругости железа при растяжении одновременно соответствует понижение предела упругости при сжатии. Даже сравнительно небольшое повышение предела упругости при растяжении может понизить предел упругости при сжатии до 0.

Таким образом, при повторительных нагрузках не может быть речи о повышении предела упругости.

Под действием только растяжения или только сжатия предел упругости, действительно, может быть повышен почти до величины коэффициента крепости. Но Баушингер заметил, что поднятый искусственно предел упругости очень неустойчив и легко изменяет свою величину в больших пределах.

Применяя все вышесказанное к объяснению явлений, открытых Вёлером, Баушингер считает, что железо и сталь в большинстве случаев имеют предел упругости, искусственно поднятый, при их обработке. Действие повторительных нагрузок (попеременно растяжение и сжатие) стремится понизить этот искусственно приподнятый предел упругости и привести его к естественной величине.

Целым рядом опытов Баушингер старался установить естественную величину предела упругости и получил ее для железа равной 12,6 кгр. на кв. мм., а для мягкой стали 14,9 кгр. на кв. мм., т.-е. величины, весьма близкие к тем, которые даны Вёлером, как безопасные напряжения для произвольно большого числа повторительных нагрузок.

Таким образом, этими исследованиями Баушингера приведены в согласие открытие Вёлера с общими взглядами теории сопротивления материалов.

¹⁾ Ueber die Veränderung der Elasticitätsgrenze. Mittheilungen aus dem Mechanisch-technisch. Laboratorium in München, Heft XIII 1886.

73. Влияние примесей на свойства железа и стали ¹⁾.

А. Углерод—наиболее важная из всех примесей. Чем больше углерода в железе, тем оно становится тверже и крепче, но зато уменьшается его вязкость, ковкость и способность свариваться.

Стиф ²⁾ приводит следующие результаты своих испытаний, показывающие, насколько увеличивается крепость железа с увеличением содержания углерода

М а т е р и а л.	Содержан. С-в %/о.	Кэффиц. крепости.
Железо В	0,2	33,8
Пудлинг. сталь G—2	0,5	55,1
„ „ P—2	0,6	58,3
„ „ N P—2	0,7	59,2
„ „ N P—1	0,8	78,5

Увеличение крепости, согласно испытаниям Стифа, продолжается до тех пор, пока содержание углерода достигнет 1,2⁰/_о; при этом коэффициент крепости повышается до 96 кгр. на кв. мм., затем крепость начинает уменьшаться.

Особенно полные испытания над влиянием содержания углерода на крепость и упругость железа были произведены проф. Баушингером ³⁾.

Для опытов служили 12 сортов литой стали с Терницеvского сталелитейного завода.

¹⁾ Влияние примесей сказывается на механические свойства железа, которые могут с большой точностью отмечаться „склероскопом“. Вследствие этого таким прибором можно пользоваться для анализов химических при помощи чисто механических средств. Напр., тверд. инструмент. сталь с большим содержанием углерода переходит в аллотропическое состояние закала при температуре, при которой она теряет и магнитные свойства, это и есть нормальная температура закала. Если сталь перегреть, она получает зернистое строение и теряет твердость. Степень потери твердости находится в строгом соответствии с содерж. углерода и точно отмечается склероскопом, благодаря чему нагревая сталь при поддержке магнитом и затем определяя твердость склероскопом, можно определить содержание С. Подробности и о других определениях см. А. М. 10-6—09.

²⁾ Slyffe, Iron and Steel, стр. 46.

³⁾ Versuche über die Festigkeit des Bessemerstahl. Mittheilungen aus dem Mechan. Tech. Laboratorium in München. 1874, Heft III, стр. 6—8.

Следующая таблица дает результаты этих испытаний.

Содержани С в 0/0.	Средний коэф- циент упругости при растяж.	Предел упруг. при растяж	Коэффициент крепости.	Удлинение на 380 мм. в 0/0.	Сжатие площади сечения в 0/0.	Коэффициент упругости при сжатии.	Предел упруг. при сжатии.	Коэффициент крепости при сдвиге.
0,14	22500	29,5	44,3	21,8	49,2	26920	27,7	34,1
0,19	21700	33,1	47,8	20,1	41,7	26050	30,2	37,1
0,46	22500	34,5	53,3	18,1	30,5	23050	34,4	35,8
0,51	22100	34,0	56,0	14,3	25,1	22800	32,5	40,2
0,54	21550	34,9	55,6	17,8	32,8	25400	34,4	39,3
0,55	22200	33,0	56,5	17,6	27,9	23700	34,9	40,0
0,57	21600	33,1	56,0	18,4	30,7	22500	34,4	36,4
0,66	22800	37,4	62,9	13,7	19,7	25040	37,7	42,8
0,78	23600	37,5	64,7	11,4	19,1	22800	37,7	41,4
0,80	21500	40,0	72,3	9,0	14,0	22600	44,4	48,2
0,87	21850	42,9	73,5	8,1	16,5	22200	39,4	50,0
0,96	21650	48,7	83,0	6,6	10,0	23000	50,0	58,2

На основании полученных данных Баушингер составил формулу, дающую приблизительно зависимость между содержанием углерода в железе и его коэффициентом крепости.

$$z = 43,5 (1 + C^2)$$

Здесь С представляет содержание углерода в 0/0. Так, напр., при содержании углерода в 0,80/0

$$z = 43,5 (1 + (0,8)^2) = 71,3.$$

Вейраух ¹⁾ считает, что железо не должно иметь крепость меньшую той, какая получится из формулы

$$z = 37 (1 + C^2).$$

Проведенными формулами можно пользоваться лишь для приближительной оценки коэффициента крепости (точное определение коэф. крепости возможно лишь непосредственным испытанием) и только в том случае, если содержание углерода не превышает 1⁰/0, так как при дальнейшем увеличении содержания углерода (до 1,25⁰/0) замечается очень быстрое повышение коэф. крепости, после чего крепость стали начинает уменьшаться и постепенно переходит к крепости чугуна.

1) J. W a y r a u c h. Strength of iron and steel constructions, стр 31.

Если содержание углерода становится более 0,5%, то железо приобретает свойства закаливаться, т.-е. превращается в сталь.

При содержании углерода 1,75% сталь теряет способность свариваться.

При содержании углерода 1,8% сталь трудно куется, а при 1,9% ковать ее совершенно невозможно. Нагретая докрасна, она разлетается вдребезги под ударами молотка.

Когда содержание углерода достигает 2%, сталь переходит в чугун.

Железо, нагретое докрасна или выше, легко поглощает углерод, приходя в соприкосновение с древесным или каменным углем, а также и с другими углеродистыми и синеродистыми составами.

Этим свойством пользуются для приготовления из железа так наз. цементной стали (см. стр. 66) или же для цементации железа только с поверхности (поверхностная закалка, осталивание, case hardening), при чем железо получает тонкую твердую корку, оставаясь мягким внутри. Для этой цели железо накаливается в особых ящиках, обложенное кругом синеродистым кали (желтая кровяная соль) или другими цементирующими порошками, которые и передают ему свой углерод¹⁾.

Пары и газы, содержащие углерод, также передают его железу нагретому докрасна.

Вообще материалы, употребляемые при осталивании, могут быть подразделены на 3 класса: 1.—действующее при посредстве окиси углерода (сахар, животная сажа, костяной порошок); 2.—действующее при посредстве синерода (синеродистый кали, древесный уголь); 3.—действующее при посредстве углеводородов (светильный газ, нефть, газолин).

Первые два класса материалов окружают обыкновенно осталиваемый предмет со всех сторон в каком-либо чугуном или железном ящике и осталивание идет тем лучше, чем больше будет образовываться цианистого амония, так как только этот материал и способен собственно производить осталивание.

При осталивании при помощи углеводорода эти газы необходимо получать в сосудах из такого материала, чтобы при этом мог образоваться цианистый амоний, который и нужно вводить в пространство, заполненное предметами, подлежащими осталиванию. Чем дольше продолжается процесс, тем глубже проникает осталивание.

После осталивания изделие следует подвергать отжигу, чтобы разрушить кристаллическое строение, которое может при этом процессе образоваться, а затем, чтобы получить твердую поверхность, изделие может быть опять закалено. Температура, до которой должно нагреваться изделие при отжиге, зависит от состава стали и должно устанавливаться на основании опыта; вообще температура должна быть немного выше критической точки, при которой происходит закал. Нагреваться изделия должны до 900°; но выше не следует, так как при этом сталь может кристаллизоваться и стать хрупкой. Специальные сорта сталей, как никелевая и вольфрамовая, могут при насыщении углеродом нагреваться и гораздо выше—до 1100°C, и притом корбурация происходит наилучшим образом.

Для корбурации газами американская фирма A. G. F. Co²⁾ приготовляет особые печи, конструкция которых описана в А. М. 266-08. Осталивание газами представляет большие преимущества: не требуется тщательной упаковки, процесс идет более равномерно, изделия можно осматривать во время процесса. См. более подробно I. A. 1688-28-5-08, М. Е. 877-6-05 и А. М. 108-8-05.

Для цементации порошками изделия укладываются в железные ящики со стенками толщиной около 8 мм и обкладываются цементирующими веществами. Те поверхности, которые не должны получать закала, покрываются предварительно глиной, или в ящиках делаются соответственные перегородки, при помощи которых, цементирующие вещества отделяются от тех поверхностей изделия, которые должны оставаться мягкими. Так как на процесс цементации большое влияние оказывает температура, то выгоднее употреблять сравнительно небольшие ящики, в которых нагретые

¹⁾ Синеродистое кали науглероживает железо лишь на небольшую толщину, и потому таким образом цементируются лишь те поверхности, которые не подвергаются истиранию. В тех же случаях, когда желают осталить железо на большую толщину, употребляют молотый древесный (лучше всего березовый) уголь и для большей скорости процесса примешивают к нему $\frac{1}{3}$ животного угля; иногда примешивают до 10% поташа.

вание идет равномерное. Чтобы эту равномерность увеличить еще более, полезно ящики снаружи обмазывать глиной. Изделия в ящиках должны укладываться плотно и крышка, после того, как она закрыта, должна быть обмазана глиной, чтобы в ящик не мог проникать воздух, способный окислять цементирующие вещества.

Мелкие предметы в маленьких ящиках могут нагреваться в обыкновенном горне, но при этом надо ящик обложить топливом, чтобы нагрев шел возможно равномернее. Если предмет обложен животным углем, то достаточно полчаса нагрева, чтобы цементация распространилась на толщину 1 мм. Крупные предметы нагреваются в печах—лучше всего посудных, так как они дают наиболее равномерный нагрев. В зависимости от величины предметов и толщины осталивания, операция продолжается от одного дня до 2-х суток. По вынутии из печи изделия погружаются в воду и получают при этом закал.

В некоторых случаях железное изделие погружается в ванну расплавленного синильного кали, где оно сначала нагревается, а затем и цементируется на незначительную толщину. Таким образом закаливаются в Америке железные печатные доски с награвированным на них рисунком.

Гарвей предложил способ осталивания применять при изготовлении броневых плит. На выдвижном поде печи особой конструкции укладывается такая плита. По краям плиты складывается из огнеупорного кирпича бортик, высотой около 150 мм.; на плиту внутри этого бортика наносится цементирующее вещество (древесный уголь с примесью животного), поверх этого слоя кладется другая плита; все обмазывается глиной или обсыпается песком и затем под задвигается в печь. Растворка печи при постепенно возвышающейся температуре до 1100° Ц. ведется в течение 10 суток, затем такая температура поддерживается в течение 7 суток, после чего печь остывает в течение 3-х суток, открывается и плиты продолжают постепенно остывать в воздухе. Остывшие совсем плиты снова подогреваются до температуры, необходимой для их дальнейшей обработки и для закалки. При таком способе обработки получается плита с большим содержанием углерода на поверхности, вследствие этого очень твердая; по мере углубления содержание углерода уменьшается и материал становится все мягче и мягче. Такие плиты, очень твердые с поверхности и в то же время обладающие большой вязкостью в остальной массе металла, очень хорошо сопротивляются ударному действию снарядов. Процесс этот по имени изобретателя называется **гарвейрованием**.

Приготовление брони на заводе Beardmore's Steel Works, Parkhead, Glasgow—См. Eng. 656—5—09.

Калильные или цементирующие порошки.

I. по Rinmann'y.

Для цементации в жестяных ящиках:

Истолченного березового угля	4 части
" " " кожаного угля	1 «
Сажи	3 «

II. по Karmarsch'y.

(Применяются при нагревании в открытом горне).

Рогового угля	24 части
Роговых опилок	3 «
Калийной селитры	9,5 «
Поваренной соли	55 «
Клею	6 «

III.

Селитры	15	весовых частей
Канифоли	2	« «
Желтой кровавой соли	7	« «

Указанные вещества толкут мелко в ступке и затем тщательно перемешивают. Закаливаемый предмет нагревают до темно-красного жара и затем равномерно посыпают цементирующим порошком в таком количестве, чтобы на поверхности металла образовалась нечто в роде глазури. Для этой цели удобно пользоваться небольшим жестяным ситом с ручкой. После посыпания обрабатываемый предмет нагревают до требуемой температуры закалки и затем закаливают в воде, как обыкновенно. Прежде чем прибавлять *поваренную соль*, ее нужно предварительно не много поджарить для того, чтобы она не лопалась при нагревании предмета.

Полуидные цементирующие составы.

IV. По Kulicke.

Виннокислотной кислоты	6	весовых частей.
Рыбьего жира	30	« «
Бычачьего сала	10	« «
Древесноугольного порошка	2	« «
Костяного угля	8	« «
Жженого оленьего рога	3	« «
Кровяной соли	5	« «

Для изготовления этого состава расплавляют сначала сало, затем прибавляют к нему рыбьего жира и, наконец, примешивают остальные составные части в порошкообразном виде, после чего все тщательно перемешивают. Полученная смесь имеет сначала жидкий вид, но затем через две или три недели приходит в тестообразное состояние.

Обработываемый предмет нагревают предварительно до темно-красного жара, затем погружают в этот состав или обмазывают его последним, после чего накаливают до желаемой температуры закали и охлаждают в воде.

V.

Поваренной соли	2	литра
Стекла	1/8	»
Роговой муки (из копыт)	3/4	»
Ржаной муки	1/4	»
Канифоли	1/4	»
Березового угля	1/4	»
Желтый кровяной соли	100	грамм.

Кровяную соль растворяют приблизительно в 4-х литрах кипящих пивных дрожжей и к этой жидкости прибавляют остальные вещества в мелко-истолченном и хорошо перемешанном виде.

VI. По Schirlitz'y.

Поджаренной роговой муки	16	частей
Хинной корки	8	»
Желтой кровяной соли	4	»
Очищенной калийной селитры	2	»
Поваренной соли	4	»
Черного мыла	30	»

Эти вещества месят до получения однообразного теста и затем высушивают. При употреблении разбалтывают состав в воде и полученную полужидкую кашу намазывают при помощи кисти на поверхность закаливаемого предмета.

Состав № V имеет применение, главным образом, для закали напильников.

В. Фосфор ¹⁾ одна из самых вредных примесей. Фосфор подобно углероду *увеличивает предел упругости и коэф. крепости*, но еще более значительно *уменьшает живое сопротивление* железа. Присутствие фосфора делает железо *хрупким, крупнокристаллическим и холодноломким*, т.е. легко разрушающимся при обработке в холодном состоянии. Вредное влияние фосфора тем сильнее, чем больше в железе углерода. Присутствие фосфора в железе еще тем опасно, что оно делает все испытания металла крайне ненадежными; в одном случае тот же самый материал при испытании может дать хорошие результаты, в другом—никуда негодные ²⁾. Вследствие всего этого *примесь фосфора в железе не должна превышать 0,10/0.*

Примесь фосфора не должна, по мнению некоторых, превышать 0,07/0. Было замечено несколько случаев, когда литое железо, выдержав-

¹⁾ См. Металлография Евангулова и Вологодина, стр. 105.

²⁾ См. Кирпичев. Спротивл. матер. Т. I, стр. 300.

шее первоначально все требования при испытании, через некоторое время оказывалось совершенно хрупким и негодным к употреблению (при исполнении котлов для яхты «Ливадия» и др.). Такое поведение железа только и можно приписать слишком большому содержанию в нем фосфора, делающего свойства материала очень непостоянными. Термическая обработка в данном случае была правильная. См. по этому поводу статью Стромейера в I. A. 1378—11—06.

С. Сера, подобно фосфору *увеличивает твердость железа*; кроме того, она сообщает железу в нагретом состоянии хрупкость, *делает его красноломким*, уменьшает способность свариваться. Поэтому железо, содержащее серу, совершенно не годится для изделий, которые приходится обрабатывать в нагретом состоянии.

Влияние серы особенно резко сказывается в совершенно чистом от других примесей железе. Но, с другой стороны, ее вредное влияние до некоторой степени уменьшается присутствием в железе марганца.

В хорошем котельном железе *содержание серы не должно превышать 0,08%*. В железе для других целей в присутствии марганца содержание серы может подняться до 0,2%.

Д. Кремний. По отчету ¹⁾ комиссии, назначенной для изучения влияния примеси кремния на качества железа, оказывается, что примесь кремния в количестве, меньшем 0,15%, почти не изменяет ни предела упругости, ни крепости, ни вязкости. Если же железо содержит кремния более 0,15%, то предел упругости и крепость повышаются, но за то удлинения при растяжении и сжатии поперечного сечения заметно уменьшаются.

Примесь кремния в 0,35% делает железо холодноломким и красноломким. Вредное влияние кремния значительно ослабляется марганцем. В его присутствии железо, даже с содержанием кремния до 0,5%, оказывается способным хорошо прокатываться, следовательно, не красноломко, не хрупко в холодном состоянии и хорошо сваривается.

Благодаря этому обстоятельству является возможность воспользоваться способностью кремния уничтожать пустоты в стальных отливках. Для этого в расплавленную сталь нарочно прибавляют чугуны с большим содержанием кремния (10—11%) и марганца (18%), в результате получается сталь с содержанием кремния от 0,2% до 0,3%.

Е. Марганец всегда добавляется к литому сплаву железа и его примесь полезна, так как она умеряет вредное влияние серы. Сообщает сплаву более мелкозернистое строение. Увеличивает коэффициент крепости, но в то же время увеличивает склонность давать трещины при быстром охлаждении. При содержании до 1% в мягких сортах марганец не производит заметного вреда, при большем же содержании сплав плохо сопротивляется ударам. При большом содержании углерода содержание марганца должно быть значительно меньше.

Г. Медь встречается редко. В количестве до 1% не приносит вреда. Но если при этом будет содержаться сера, даже в количестве 0,08%, то и указанная примесь меди оказывается вредной, так как сообщает железу красноломкость.

С. Алюминий часто прибавляется к расплавленному железу. Его влияние почти незаметно, пока содержание не достигнет 0,2%; при увеличении содержания до 0,5% коэффициент крепости возрастает, но вязкость уменьшается.

Н. Мышьяк встречается редко в стали. Если содержание не превосходит 0,15%, то его влияние почти незаметно. При большем содержании сообщает стали твердость и хрупкость.

1) Report of the Committee to the British Association, Engineering, 1888, стр. 421.

I. Азот в небольших количествах всегда присутствует в стали в растворенном состоянии или в виде механической примеси, но в том количестве, в каком азот обыкновенно находится, он не оказывает почти никакого влияния на физические свойства стали.

К. Окислы железа иногда присутствуют в мягких сортах литой стали и железа. Точно их влияние не выяснено, по видимому они повышают коэффициент крепости, но вносят некоторую хрупкость.

Л. Водород может оказаться вредным (см. Металлография Евангулова и Вологодина, стр. 103), и потому важно следить, чтобы в печи при нагреве не было свободного водорода.

Следующая таблица показывает, какое влияние оказывают примеси на различные свойства железа.

Примеси.	Крепость.	Удлинение.	Смятие.	Ковкость.			Сваривание.	Твердость.	Окисление.
				Холодн.	Краснокал.	Белокал.			
Углерод	+	—	—	—	—	.	—	+	—
Кремний	+	—	—	.	—	—?	0	+	
Мышьяк	+	—	—	—	..	0	..	—	
Фосфор	+	—	—	—	0	—			
Сера	0	0	..	0	—	0	—		
Медь . . . . .	+	—	..	..	0?	0?	0?	+	
Марганец	+	+	+	..	+	+	0	—	?
Никель . . . . .	—	+	+	+	..	..	.	—	—
Хром	+	0	+	+	..	..	..	+

+ Увеличивает. 0 Не оказывает влияния.. Нет указания. — Уменьшает.
? Спорный вопрос.

74. Закал, как отличительное свойство углеродистой стали. Существенное отличие углеродистой стали от железа проявляется под действием на нее теплоты.

Действие теплоты на сталь разделяется на 3 характерные вида:

1) Сталь нагревается до известной температуры и затем быстро охлаждается; подобная операция называется *закалкой стали*.

2) Закаленная уже сталь нагревается до температуры более низкой, чем та, при которой сталь была закалена, и затем медленно или быстро охлаждается; эта операция называется *отпусканьем закала у стали*.

3) Закаленная сталь нагревается до температуры более высокой, чем та, при которой сталь была закалена и затем *медленно* охлаждается; эта операция называется *отжиганием*.

Как изменяются свойства стали при этих трех операциях — может быть пояснено следующим примером.

Если взять стальной прут, то обыкновенно его можно пилить подпилком, изогнуть и тем самым показать его мягкость и вязкость. Если этот прут нагреть докрасна и затем погрузить в холодную воду, то он

станет тверд (примет закал) и при первой же попытке согнуть его—сломается. Если закаленный таким образом прут снова нагреть хотя бы до температуры расплавленного свинца и затем охладить, то его уже можно будет согнуть, но он будет возвращаться к своей первоначальной форме—станет очень упругим. Наконец, если закаленный прут нагреть до белого каления и *медленно охладить*, он снова потеряет свою твердость и, будучи изогнут, останется в таком положении, т.-е. приобретает свои первоначальные свойства.

Во всех этих трех случаях сталь резко изменяла свои свойства и при этом металлу ничего не сообщалось и ничего от него не отнималось, кроме теплоты.

75. Объяснение явления закала. Свойство стали принимать закал было известно еще у древних и, начиная с самых отдаленных времен, человечество старалось дать объяснение этому явлению; тем не менее, вполне установленной теории закала до сих пор не существует.

В половине XVII века флогистическая гипотеза старалась объяснить явление закала присутствием в металле особого вещества — *флогистона*, нечто в роде души металлов, которую они теряли при нагревании, а при быстром охлаждении флогистон не мог вселиться обратно. При медленном же охлаждении металлы снова получали флогистон.

В 1872 г. Реомюр объяснял это явление тем, что при нагревании сера и другие соли вытеснялись из молекул железа и распределялись в промежуточных пространствах. При быстром охлаждении они не успевали занять свои места и потому меняли свойства металла.

В 1781 г. Бергман впервые указал, что сталь способная принимать закал, главным образом отличается от железа тем, что содержит около 0,2% графита, тогда как в железе его совсем нет.

В 1827 г. Карстен впервые выделил из стали соединение железа с углеродом. Впоследствии Бертье тоже получил подобное соединение, которое он выразил формулой FeC .

Только в восьмидесятых годах этот вопрос несколько осветился благодаря тому, что были более близко исследованы химические и физические видоизменения, которые претерпевают железо и содержащийся в нем углерод при закаливании. Тем не менее, завеса, в течение тысячелетий скрывающая от нас тайну этого явления, не совсем приподнята. Многое уже достаточно ясно, но встречаются факты, как бы стоящие в противоречии с предлагаемыми объяснениями этого явления.

За последние годы становится все более и более очевидно, что объяснение таинственных явлений, происходящих с железом, мы должны получить при помощи микроскопических исследований. Еще тридцать лет тому назад д-р Сорби высказал идею, что металлы должны быть рассматриваемы, как кристаллические массы, идею которая в настоящее время находит себе полное подтверждение. Только теперь металлурги-практики поняли, что исследования Сорби составляют основу металлургии и положили основу новой науки—металлографии. Методы этой науки стали в наше время необходимыми спутниками химического анализа.

Из предлагаемых в настоящее время двух теорий одна, высказанная Кароном, объясняет явление закала химическим видоизменением углерода.

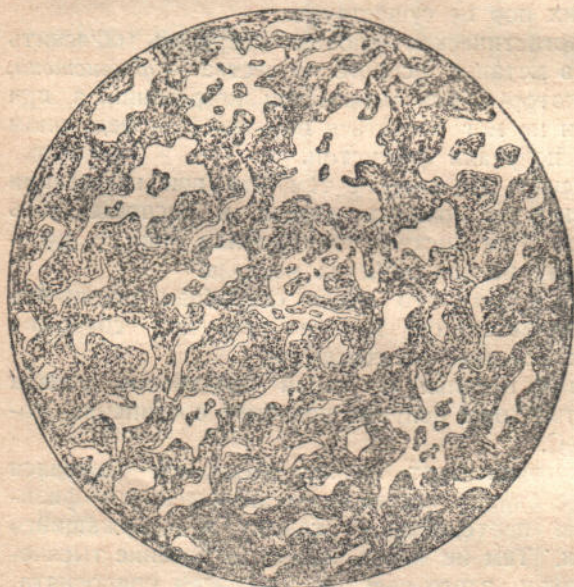
Наиболее горячим защитником этой теории является профессор Арнольд ¹⁾.

Профессор Арнольд, исследуя под микроскопом шлифы закаленной стали, нашел, что при содержании в железе углерода 0,38% после закала

¹⁾ Arnold on the Influence of carbon on Iron. Minutes of Proceedings to the Inst. of Civil Engineers, V. CXXIII, p. 127.

шлиф имеет вид, представленный на фиг. 27. При вытравливании шлиф покрывается серым налетом, по удалении которого ясно видно, что поверхность состоит из светлых пятен чистого железа и из другой разновидности, которой протрава сообщила темный цвет. Профессор Арнольд считает, что эта разновидность есть *субкарбид*, выражающийся формулой $Fe_{21}C$, обладающий большой твердостью и сообщающий закаленной стали присущие ей свойства.

Если железо содержит углерода 0,89%, то шлиф закаленной стали представляется более однородным, светлых мест нет. При слабом протравливании шлиф принимает темно-свинцовый оттенок. На первый взгляд под микроскопом поверхность представляется почти гладкой без кристаллического строения, но при более внимательном исследовании видно, что вся поверхность разбита на отдельные части. Вероятно, кристаллы,



Увелич. 600 л. раз.
Фиг. 27.

оказываются столь мелкими, что поверхности их соприкосновения трудно различаются под микроскопом.

У стали с содержанием углерода 1,47% (фиг. 28) основной фон представляется такой же, как и в предыдущем образце, но весь он разбит тонкой сеткой, которая под микроскопом во всех отношениях походит на кристаллический карбид.

Английским металлургом Абелем ¹⁾ было вполне установлено присутствие в стали особого соединения углерода с железом Fe_3C нормального карбида, который в настоящее время ясно различается и под микроскопом. Во время нагревания стали это соединение при температурах ме-

жду 600—700° Ц. распадается и, по предположению профессора Арнольда, образуется другое соединение $Fe_{21}C$, при избытке же углерода в стали может остаться и часть кристаллического карбида. Если затем охлаждение идет медленно, то приблизительно при тех же температурах снова образуется карбид и сталь не меняет своих качеств. Если же охлаждение идет быстро, что и имеет место при закале, то субкарбид распасться не успевает и после охлаждения обуславливает большую твердость закаленной стали.

Приписывая таким образом отличительные свойства стали присутствующему в ней субкарбиду, профессор Арнольд делает следующее замечание: теория закала, сводящаяся к присутствию субкарбида, находится в полном соответствии с ежедневной практикой, например, давно было известно, что сталь с содержанием углерода в 0,85% является наиболее пригодной для приготовления ²⁾ режущих ребер и в то же время прекрасно

¹⁾ Engineering, vol XXXIX, стр. 150 и 200.

²⁾ Проф. Арнольд считает сталь с содержанием углерода 0,89% нормальной, при большем содержании углерода сталь будет пересыщена, при меньшем недосыщена. См. основание к этому ниже: микроструктура стали.

сопротивляется ударному действию, почему такую сталь и употребляют для приготовления зубил. Точно также известно, что сталь с содержанием углерода 1,3% (пересыщения) будет совершенно непригодна для этих инструментов, так как при ударах она будет крошиться вследствие хрупкости. Объяснение очевидно: такая пересыщенная углеродом сталь при закале, кроме субкарбида, сохраняет еще прослойки кристаллического карбида, очень твердого, но в то же время хрупкого, отчего и сталь получается очень хрупкая, (см. шлиф. фиг. 28). Для инструментов же режущих без ударов такая сталь вследствие своей твердости будет вполне пригодна. Если сталь содержит углерода меньше 0,9% (недосыщенная), то в закаленном виде она является уже недостаточно твердой, так как на ряду с твердым субкарбидом содержит большое количество кристаллов мягкого железа (см. шлиф. фиг. 27).

Теория эта, хотя и имеет много сторонников, не является вполне установленной, так как факт существования особого соединения железа с углеродом — субкарбида — ничем не доказан и есть ли то вещество, которое мы видим под микроскопом, субкарбид или какая-нибудь другая разновидность железа, как это утверждает Осмонд, с точностью решить трудно.

Другая теория, хотя и признает видоизменение углерода необходимым при явлении закала, но не считает его достаточным, для объяснения, и перемену физических свойств стали приписывает главным образом *аллотропическому видоизменению железа*, которое происходит при некоторой температуре металла.

Для составления этой теории послужили следующие факты.

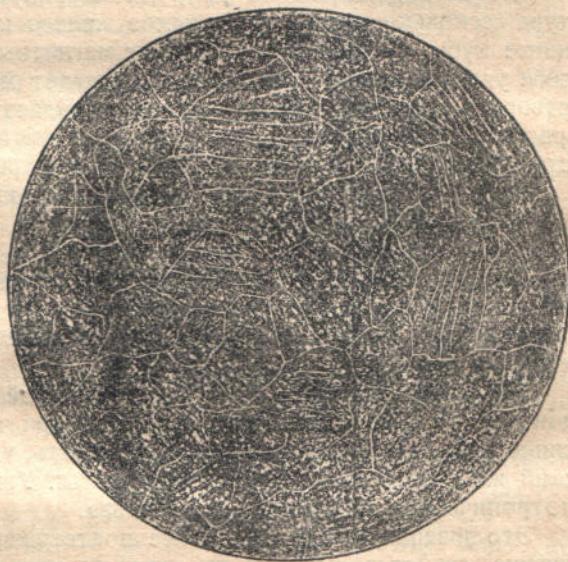
Уже давно Жильбертом было замечено, что раскаленное докрасна железо теряет магнитные свойства.

В 1868 г. Чернов ¹⁾ указал, что сталь не получит закала при быстром охлаждении, если она будет нагрета ниже известной температуры, которую он назвал α .

В 1869 Барет и Гор, наблюдая над охлаждением стальной проволоки, заметили, что она при известной температуре как бы снова нагревается и затем охлаждение продолжает идти дальше.

Барет назвал это явление *рекалесценцией* ²⁾.

В 1879 г. Барус нашел, что твердость закала не увеличивается при увеличении температуры нагревания.



Увелич. 600 л. раз.
Фиг. 28.

¹⁾ Записки Русск. Техн. О-ва, 1868, отд. I, стр. 427.

²⁾ Pros. Roy. Soc. 28 Jan. 1869 u Phil. Mag. 4 Ser. U. XXXVI. стр. 59.

Все эти факты указывают, что для железа, повидимому, существует известная критическая температура, при которой с ним происходит какой-то внутренняя перемена.

Как известно, некоторые тела способны принимать различные аллотропические состояния, при чем состав их молекул не изменяется, а, вероятно, меняется расположение составляющих их атомов. Примером этого может служить сера, кристаллизующаяся в кристаллы различной формы, также углерод в его трех видоизменениях: алмаза, графита и сажи.

Французский ученый Осмонд, на основании своих наблюдений¹⁾, считает, что при обыкновенной температуре железо находится в мягком аллотропическом состоянии, которое он называет α . При некоторой же температуре железо переходит в твердое аллотропическое состояние, которое он назвал β . Железо способно, повидимому, принимать еще третье аллотропическое видоизменение γ ²⁾, характеризующееся тем, что при температуре несколько высшей 850° такое железо кристаллизуется в ясно выраженные кубы. Железо- γ не обладает магнитными свойствами и растворяет в себе углерод закала; железо- β не обладает магнитными свойствами, и не растворяет углерода закала; железо- α обладает магнитными свойствами, но не растворяет цементита. Присутствие углерода в большем или меньшем количестве сказывается только тем, что он как бы затрудняет переход железа из одного состояния в другое при быстром охлаждении.

Упомянутое видоизменение углерода в химической теории закала подтверждается непосредственным опытом и может быть выделено при помощи химического анализа. Нельзя того сказать об аллотропических видоизменениях железа: химическим путем мы их распознать не можем и в их существовании можем убедиться, хотя тоже опытным, но тем не менее косвенным путем.

Так, напр., известно, что при холодной обработке железа металл видоизменяет свои физические свойства, при чем это видоизменение аналогично с закалом: увеличивается твердость, упругость, хрупкость. Химический же состав совершенно не меняется. Уже это наводит на мысль об аллотропическом видоизменении железа.

Это предположение еще более подтверждается тем фактом, что физические свойства металла продолжают изменяться даже после того, как действующие силы прекратили свое действие. Напр., при разрыве образцов крепость образца через некоторое время оказывается больше, чем в момент разрыва, т.-е. как будто начавшееся аллотропическое изменение в момент разрыва позволяет затем переменить свое строение и всем остальным частицам тела. Подобное явление очень часто наблюдается и в других телах, способных изменять свое аллотропическое состояние.

Шарпи³⁾ указал на то, что на диаграмме разрыва незакаленного железа заметна всегда линия, соответствующая началу видимых изменений, тогда как в закаленной стали или железе, подвергнутом холодной обработке, этой линии не заметно.

Тот же Шарпи указал, что железо, подвергнутое холодной обработке, подобно стали, приобретает способность лучше удерживать магнетизм. Так, напр., никелевая сталь, содержащая 25% никеля, в обыкновенном состоянии совершенно не намагничивается; если же ее подвергнуть деформации в холодном состоянии, то она приобретает магнитные свойства, и как раз эти свойства начинают появляться после того, как на диаграмме удлинений образца получилась линия начала видимых изменений.

1) Annales des mines Serie 8—1885 и Serie 14—1888.

2) Journal of the Iron and Steel Institute 1894, p. 45—112—152.

3) M. G. Sharpy. Comptes Rendus. 1894 стр. 418.

Осмонд и Верт нашли, что обработанное в холодном состоянии железо и закаленное железо при сжигании их в калориметре выделяют большее количество теплоты, чем то же железо при обыкновенных условиях ¹⁾.

Но, с другой стороны, хотя все вышеприведенные факты и указывают, что при холодной обработке железа с ним, повидимому, происходит какое-то аллотропическое изменение, тем не менее существует некоторая разница в свойствах железа, приобретаемых им при холодной обработке и при быстром охлаждении. Так, например, твердость закаленной стали всегда во много раз больше, чем твердость той же стали, обработанной в холодном состоянии. При слабом нагреве (до 150° 350° Ц.) стали, обработанной в холодном состоянии, предел упругости повышается, если же нагревать до тех же температур закаленную сталь, то предел упругости, наоборот, понижается ²⁾. Электропроводность при холодной обработке понижается значительно слабее, чем при быстром охлаждении ³⁾. Холодная обработка увеличивает развѣдающее действие соляной кислоты, закал, наоборот, уменьшает ⁴⁾.

Все эти обстоятельства заставляют думать, что аллотропическое видоизменение при холодной обработке несколько отличается от того видоизменения, которое железо получает при нагревании выше критической температуры, и присваивают аллотропическому видоизменению железа при холодной обработке название железа- δ в отличие от железа β , которое получается при нагреве. Весьма вероятно, что некоторое различие в свойствах стали, проявляемых при закале и при холодной обработке, обуславливается тем, что в первом случае мы имеем дело не с чистым железом- γ , а с железом- β , содержащем в растворе углерод закала; во втором же случае все свойства обуславливаются присутствием чистого железа- β . Таким образом создается еще новая гипотеза, считающая железо β и δ за одну аллотропическую форму, и отличительные свойства закала, приписывающая растворенному в железе- β углероду закала.

Аналогичные с этим свойства при холодной обработке выказывают и другие металлы. Как известно, при отжигании все эти приобретенные при холодной обработке свойства уничтожаются.

Нам неизвестно, действительно ли при этом происходит аллотропическое изменение металла, но, по крайней мере, мы не имеем более близко подходящего объяснения этому влиянию.

Этот вопрос еще более выяснился после термических исследований, сделанных французским металлургом Осмондом. Осмонд ⁵⁾ произвел ряд наблюдений над охлаждением раскаленного добела железа. Измерение температуры производилось им с большею точностью термоэлектрическим пирометром Лешателье ⁶⁾ который, действуя на зеркало гальванометра, поворачивал его, при этом отраженный от зеркала свет двигался по экрану и тем указывал на понижение температуры. Если отраженный свет на экране стоял неподвижно, это значило, что температура железа не изменялась. В то же время замечалась скорость охлаждения. На фиг. 29 представлены графически результаты его наблюдений.

¹⁾ Annales des Mines, 8-me Serie, vol. VIII, p. 36. 1885.

²⁾ Howe, Metallurgy of Steel, p. 214.

³⁾ Commission des méthodes d'Essai des Matériaux de Construcstion II Section A. 1895 p. 62.

⁴⁾ Annales des Mines 8-me Serie 1885 p. 46.

American Journal of Science, 3-d Series Vol. XXXII 1886, p. 276.

⁵⁾ Comptes Rendus 1890, стр. 743. 1890, стр. 346. Также Report to the Alloys Research Committee, by Roberts-Austen. Engineering, vol. LII, 1891.

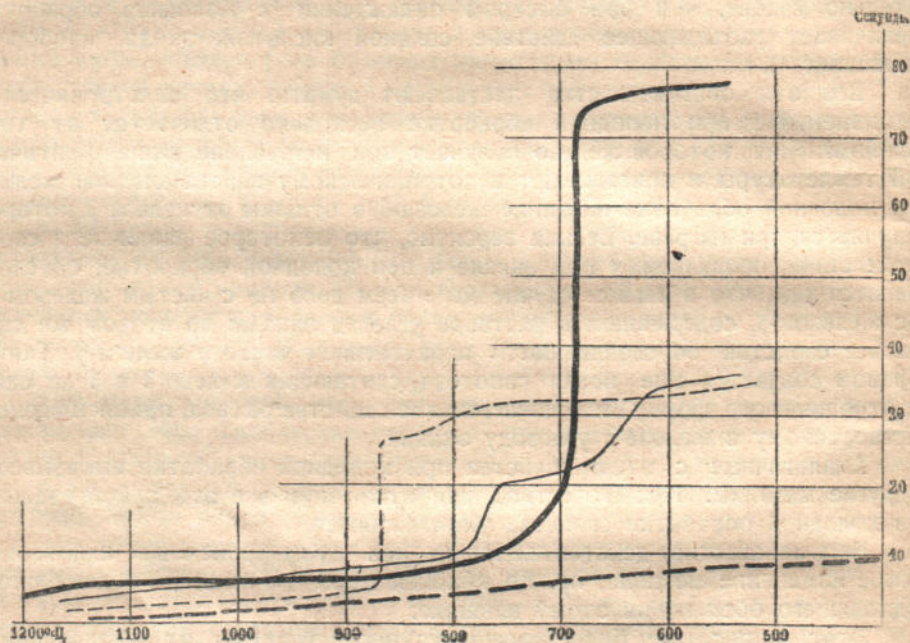
⁶⁾ Описание этого прибора помещено в Génie Civil, Mars 5, 1887.

Способы определ. критич. темпер. см. ст. Saladin Iron and Steel Metallurgis— № 3—04.

Тонкая пунктирная линия относится к совершенно чистому железу, полученному при помощи электролиза. Тонкая сплошная представляет охлаждение мягкой стали, т.-е. железа с небольшим содержанием углерода. Толстая сплошная линия представляет охлаждение твердой стали с большим содержанием углерода (1,25%). Наконец, толстая пунктирная относится к марганцевой стали.

По оси ординат отложены времена, по оси абсцисс — температура железа.

Как видно из диаграммы, чистое железо при понижении температуры до 870° Ц. охлаждается довольно равномерно, затем происходит сразу остановка в охлаждении, и в продолжении приблизительно 26 секунд железо не меняет своей температуры. Вслед за этим опять начинается охлаждение, идущее довольно равномерно.



Фиг. 29.

Эту остановку в охлаждении можно объяснить только тем, что в железе освобождается скрытая теплота, вследствие некоторого внутреннего перемещения частиц. Таким образом этот опыт дает новое, очень веское подтверждение гипотезы о способности железа переходить из одного аллотропического состояния в другое.

Посмотрим, какое влияние оказывает присутствие углерода. Как видно из направления тонкой кривой, железо с небольшим содержанием углерода охлаждается довольно равномерно до 780°, затем охлаждение значительно замедляется, секунд на 10, потом снова идет до 680°. Здесь замечается вторичное замедление в охлаждении, после которого температура понижается равномерно и с обычной скоростью до конца.

В некоторых случаях замечается еще третье замедление охлаждения. Все эти замедления Осмонд называет критическими точками при термическом изменении железа. Первую точку, соответствующую разложению карбида (Fe_3C) обозначают A_1 ; она лежит в пределах температур 650°—700° Ц. Вторую точку, соответствующую началу перехода железа- α в железо- β

обозначают A_2 (700° — 750° Ц.) и третью точку, в которой происходит переход железа β в железо γ обозначают A_3 (850° — 860° Ц.). Если нагревать железо, до температуры критических точек Ac_1 , Ac_2 и Ac_3 всегда несколько выше, чем температуры критических точек при охлаждении A_{r1} , A_{r2} , A_{r3} . Это происходит, вероятно, оттого, что температуры измеряются на поверхности образцов, а при нагревании температура на поверхности всегда несколько выше, чем температура внутренних слоев, при охлаждении же наоборот.

Точки A_2 и A_3 в некоторых сортах железа, в зависимости от их химического состава, иногда совсем совпадают между собою, образуя точку $A_{2,3}$, положение же точки A_2 тем ближе к A_1 , чем больше содержание углерода в стали, и в стали с большим содержанием углерода эти все три точки совпадают в одну, как это и показано на диаграмме толстой линией.

На основании всего вышесказанного явление закала объясняется следующим образом. Предполагают, что железо существует в двух аллотропических состояниях: при температуре ниже точки A_2 железо мягко, так как состоит из мягких молекул; при температуре же выше критической точки A_2 оно меняет свое внутреннее строение, и хотя при сильном нагреве мягко само по себе, но молекулы его тверды.

При охлаждении совершенно чистого железа оно свободно меняет свое аллотропическое состояние, переходя через критическую температуру, и потому в холодном состоянии всегда получается мягким.

Присутствие углерода связывает до некоторой степени свободу перемещения атомов, вследствие чего при быстром охлаждении, переходя через критическую температуру, не все молекулы успевают перейти из одного аллотропического состояния в другое. В результате получается более твердое железо, т.е. закал. Точно также и углерод при быстром охлаждении не успевает перейти в химическое состояние Fe_3C и остается в том виде, который считается характерным для закаленной стали.

Чем больше будет содержание углерода, тем сильнее получится закал.

Принимая подобное объяснение, становится ясным, почему иногда возможно при быстром охлаждении получить сталь незакаленную, но содержащую углерод в состоянии, характерном для закаленной стали.

Рассмотрим, напр., сталь, которой на диаграмме соответствует тонкая сплошная линия. Если такую сталь нагреть до температуры 700° , то молекулы ее еще не перейдут из одного аллотропического состояния в другое, а потому, как быстро не охлаждать нагретую сталь, она все-таки получится мягкой. Но в то же время углерод не успеет образовать соединение Fe_3C , так как его критическая температура лежит ниже 700° Ц.

Также понятно, почему закал не увеличивается с повышением температуры. Раз сталь нагрета немного выше критической температуры, дальнейшее нагревание является, конечно, бесполезным.

Для закала важна только скорость охлаждения при переходе через критическую температуру. *Чем быстрее происходит охлаждение, тем меньше молекул успевает переменить свое внутреннее строение и тем сильнее получится закал.*

Приведенная гипотеза аллотропического видоизменения железа при закале хотя является более обоснованной, чем гипотеза химического видоизменения углерода, тем не менее, она встречает возражения очень многих авторитетов ¹⁾.

В последнее время американский металлург, проф. Гау, предложил гипотезу, повидимому, примеряющую ту и другую партии. Профессор Гау указывает на то, что

¹⁾ См. по этому поводу: Arnold. On the Influence of Carbon on Iron. Minutes of Proceedings of the Inst. Civil Engineers Vol. CXXIII, p. 127.

при закале изменяется целый ряд механических свойств материала и высказывает предположение, что некоторые из этих изменений зависят от аллотропического строения железа, а некоторые от видоизменения углерода. К такому мнению Гау пришел на основании исследований, произведенных им над 21 образцом стали (состава: углерода 0,21%, кремния 0,31% и марганца 1,19%), которые нагревались до температуры 970° Ц., затем им давали остывать до различных температур и после этого быстро охлаждали, чтобы получить закал. Закаленные таким образом образцы подвергались испытаниям на разрыв, определялась их твердость, вязкость и количество углерода, которое перешло из состояния углерода закала в другое видоизменение.

При этом оказалось, что 1):

Охлаждены при температурах			Уменьшение или увеличение на %			
От	До		Крепость уменьшилась	Твердость уменьшилась на	Углерода закала уменьшилось на	Удлинение или вязкость увеличилась на
880	698	Выше точки A_{r_2}	12	19	0	3
698	620	A_{r_2}	57	40	12	11
620	600	A_{r_1}	20	4	42	32
600	512	Ниже точки A_r	6	26	24	54
512	20		5	10	18	—

Из этой таблицы мы видим, что сопротивление на разрыв уменьшилось после закала в очень сильной степени (на 57%), но это было в том случае, когда образцы охлаждались, имея температуру в пределах между 698 и 620; в то же время углерода закала перешло в другое соединение лишь 12% и соответственно с этим вязкость увеличилась тоже немного (11%). На основании этого уменьшение крепости и твердости нужно скорее приписать аллотропическому видоизменению железа, чем видоизменению углерода. Между 620° и 600° видоизменение углерода происходит в большом количестве (42%), твердость же почти не изменяется (4%), но в то же время вязкость увеличивается на 32%. Так как эти пределы температур лежат уже ниже A_{r_1} , то изменение вязкости нужно приписать видоизменению углерода.

Гау считает, что в закаленной стали присутствует железо-β в чистом виде и в соединении с углеродом закала, образуя особую разновидность, различаемую под микроскопом, которую Гау сначала назвал *карбидит*, а потом присвоил название *мартенсит*, предложенное Осмондом. Точка A_{r_1} соответствует, по Гау, переходу железа-β в железо-α, точка A_{r_2} распаденю *мартенсита* и образованию *перлита*. Свойства, приобретаемые такой сталью, с небольшим содержанием углерода, Гау, следовательно, приписывает отчасти присутствию железа-β, а частью присутствию *мартенсита*.

Так как мягкая сталь теряет значительную часть своей твердости и крепости в том случае, когда закал совершается при температуре ниже A_{r_2} , т.е. в том случае, когда согласно этой теории, сталь должна содержать главным образом железо-β, и в то же время вязкость почти не изменяется, то мы должны заключить, что железо-β гораздо крепче и тверже, чем железо-α, хотя вязкость их одинаковая. Так как значительное увеличение вязкости и дальнейшее уменьшение твердости и крепости происходит при закале стали при температурах низших A_{r_2} , т.е. уже после того, как углерод закала перешел в другое соединение, то мы должны заключить, что мартенсит представляет из себя вещество более твердое, крепкое и хрупкое, чем та разновидность, в которую он переходит при температуре A_{r_1} .

Что является более крепким и твердым: железо-β или мартенсит?—решить трудно, так как значительное уменьшение твердости мягкой стали при закале при температурах низших A_{r_2} может быть объяснено не большей твердостью железа-β по сравнению с мартенситом, а просто тем, что в такой стали свободное железо-β присутст-

1) Journal of the Iron and Steel. 1895 № 11, p. 295.

вует в большом количестве, а мартенсита сравнительно мало. Поэтому в мягкой стали главным фактором при закале является железо- β . В сортах же стали, богатых углеродом, свободного железа- β совершенно не замечается, оно все соединено с углеродом закала и присутствует в виде мартенсита, поэтому и твердость закала такой стали должна быть приписана почти исключительно мартенситу, который, может быть обладает и большей твердостью, чем железо- β . Вероятно, благодаря этому обстоятельству, наибольшую твердость дают сорта стали с большим содержанием углерода.

Теория эта встретила и поддержку и большие возражения со стороны лиц, принадлежащих к двум различным партиям. Вообще вопрос остается до сих пор неисчерпанным и желающие ближе познакомиться с положением дела найдут богатый материал в отчетах английских обществ: Minutes of the proceedings of the Institution Civil Engineers. Vol. CXXIII, p. 27. Journal of the Iron and Steel Institute. 1895 № 11, p. 258—Ibid 1896 № 1 p. 17С.—Ibid 1898 № 1, p. 206.—Ibid. 1899 № 11, p. 169.

Резюмируя все вышесказанное, нужно признать, что для закала железа необходимо присутствие углерода или другого аналогического тела, связывающего свободу внутреннего передвижения атомов, так как без этого железо закала не принимает, а с другой стороны, необходимо нагреть железо выше критической температуры для того, чтобы оно могло перейти в твердое состояние, без чего закал также невозможен.

Приведенные гипотезы уясняют явление закала и отжигания, остается только несомненно ясным явление отпуска.

Нужно предположить, что закаленный металл находится в неестественном состоянии: большинство молекул его испытывают известное напряжение и всегда стремятся освободиться от него, — притти в нормальное состояние. Вероятно, вследствие такого неестественного положения частиц изменяется плотность закаленной стали. Как известно, объем ее несколько увеличивается; следовательно, удельный вес уменьшается.

Всякое повышение температуры металла, несомненно, должно способствовать достижению нормального состояния, и потому, чем сильнее будет нагрет металл после закала, тем больше молекул придет в свое естественное, мягкое состояние и, следовательно, сообразно с этим сталь будет терять свою твердость.

Насколько температура может способствовать внутреннему перемещению частиц, указывает следующий интересный опыт. Всякому кузнецу известно, как трудно сваривается твердая сталь с большим содержанием углерода; но если свежесломанный стальной прут сложить вместе, около излома обернуть его платиновым листом, чтобы исключить возможность доступа воздуха, и затем это место поместить в пламя бунзеновой горелки, то сталь соединится в одно целое и при этом прочность ее будет несколько не меньше целой полосы.

Таким образом, кроме качества самой стали, главными факторами при закале, от которых зависит большая или меньшая твердость являются—температура нагревания и быстрота охлаждения.

76. Некоторые замечания по поводу закаливания и отпуска углеродистой стали. Явление закала имеет громадное значение в технике, так как благодаря этому процессу мы имеем возможность получать предметы большой твердости, служащие резцами при обработке металлов и дерева. В виду того, что от правильно закаленного инструмента в большой мере зависит успех процесса резания, мы считаем нужным отметить более подробно те условия, при которых закаливание происходит надлежащим образом ¹⁾, и приводим здесь выдержки из сочинения Рейзера „закалка стали“, в которой эти условия изложены с достаточной полнотой и добавочные указания.

¹⁾ Устройства отделения для закалки со всеми приспособлениями на заводе Standard Tool Co, Cleveland, 6, описано в А. М. 327—9—08.

Желая достичь хороших результатов при закале, нужно иметь в виду следующее.

При нагревании углеродистую сталь не следует нагревать слишком сильно, так как при высокой температуре она *пережигается*, т. е. теряет часть своего углерода и, охлаждаясь, приобретает крупнокристаллический излом, отчего сталь получается очень хрупкой.

Сталь нагретая до надлежащей температуры, после закала имеет излом более мелкозернистый, чем до закала—Если излом после закала кристаллический или более крупнозернистый, чем излом незакаленной стали, это указывает, что сталь была пережжена.

Альфред Стэнфилд ¹⁾ явление пережигания стали объясняет тем, что сплавы железа с углеродом, переходя из расплавленного состояния в твердое, начинают затвердевать при тем более высокой температуре, чем меньше содержание углерода. При этом затвердевает сплав не сразу по всей массе, а постепенно; последним затвердевает эвтектический сплав. Следовательно, в пределах между известными температурами часть стали находится в затвердевшем состоянии, часть в расплавленном. Поэтому если мы сталь начнем нагревать, то при известной высокой температуре (температура пережигания) часть стали начнет плавиться, а именно начнет плавиться эвтектический сплав, наиболее богатый углеродом. Этот сплав вследствие взаимного притяжения кристаллов еще твердой стали, будет вытесняться в междукристаллические спаи. Если в таком виде сталь быстро охладить, то эвтектический сплав не успеет вновь распределиться равномерно по всей массе металла и, оставаясь в междукристаллических спаях и представляя вследствие большого содержания углерода материалом более хрупким, сообщает хрупкость всей стали:— сталь является пережженной или, правильнее, в таком состоянии она является еще только перегретой. Перегретой стали можно снова возвратить ее надлежащие качества, если ее отжечь, нагревая до температуры выше температуры рекалесценции, но ниже той температуры, при которой сталь была испорчена.

Если же сталь подвергать действию высокой температуры более продолжительное время, то расплавленный эвтектический сплав начинает вытесняться, пробивается сквозь внешнюю оболочку и под известным давлением выбрасывается в виде искорок, оставляя небольшие пустоты на поверхности стали, в которые может проникать кислород внешней среды и производить окисление углерода, вследствие чего сталь становится не только хрупкой, но и с неровной потрескавшейся поверхностью. Исправить такую сталь вполне пережженную одним отжигом уже нельзя, а нужно при этом применять также и механическую обработку.

Перетожленной наз. сталь, утратившая до известной степени присущие ей свойства и сделавшаяся мягкой, под влиянием слишком продолжительного или слишком частого нагревания до нормальной ковочной температуры при доступе воздуха — Такая сталь уже потеряла часть своего углерода отчего и стала мягче.

Для каждого сорта стали существует своя критическая температура. Чем больше углерода, тем эта температура ниже и тем меньше должна нагреваться сталь при закале ²⁾.

Удобный и простой способ для определения критической температуры состоит в следующем. Берут стальной квадратного сечения брусок, около 15 мм. в стороне, и делают на нем около 10 заметок зубилом на расстоянии 10 мм. друг от друга. Затем брусок кладут в горн так, чтобы жар главным образом действовал на первое деление бруска. При этом, конечно, первое деление нагреется наиболее сильно, а температура остальных делений будет постепенно уменьшаться. Первое деление нагревают до тех пор, пока оно не начнет гореть, т. е. пока не появятся искры. Затем брусок вынимают, замечают, насколько нагрелось каждое из делений, и погружают его быстро в воду.

Если после этой операции произвести *испытание стали напильком*, то окажется, что первое деление обладает *наибольшей твердостью*, и что твердость непосредственно следующих за ним делений значительно ниже; но приблизительно на расстоянии двух третей длины от конца стержня находится одно деление, твердость которого почти такова же, как и твердость первого деления; это именно то деление, которое в момент закалики имело *наиболее правильную температуру*. Начиная отсюда, твердость материала все уменьшается и достигает, наконец, величины натуральной твердости стали.

¹⁾ Iron and Steel Institute 1903. См. М. Е. 433—9—03. The Burning and Overheating of Steel. By Alfred Stanfield.

²⁾ Сталь недогретая слишком мягка при закале. Перегретая теряет свою твердость и прочность и тем в большей мере, чем больше содержание углерода, как это ясно видно из диаграмм, полученных при помощи склероскопа. Поэтому склероскоп очень удобен для исследования инструментальной стали. См. Machin.—928—09.

После описанной операции испытуемый образец зажимают в тиски и *отбивают* молотом последовательно одно деление за другим. При этом оказывается, что первое деление чрезвычайно хрупко и что вязкость последующих кусков все увеличивается и достигает наконец такой же или даже еще большей величины, чем та, которую имела сталь в натуральном состоянии. Если все полученные куски поставить рядом в том порядке, в каком они находились в действительности, то легко произвести *сравнение изломов*: первый кусок обладает грубо-кристаллическим строением с беловатым оттенком; этот вид излома является характерным для пережженной стали. Мелкозернистость строения увеличивается по мере удаления от конца стержня; и достигает *maximum'a* в том куске, который обладал правильной температурой закала; поверхность излома этого последнего имеет совершенно равномерный, матовый бархатистый вид с почти совсем незаметным зерном.

Если закалить таким же образом и до той же температуры сталь с большим поперечным сечением, то, рассматривая излом ее можно заметить, что указанный матовый бархатистый вид имеет не вся поверхность излома, а только края его на известную глубину. Далее во внутрь поперечного сечения строение делается несколько грубее, что доказывает, что закал не прошел чрез всю толщину стержня. Это и есть *желательная степень закала*, при которой сталь обладает снаружи полным закалом, а внутри менее закаленным мягким и вязким ядром, благодаря которому, при хорошем лезвее инструмента, уменьшается его ломкость.

В последующих кусках зерно становится грубее и поверхность излома менее гладкой. Таким образом всякое, даже едва уловимое глазом, различие в нагревании при закалке производит вполне ясно заметное изменение в строении и условиях крепости материала.

Если зерно после закала становится грубее, чем оно было до закала, то это указывает на то, что закаленная сталь перегрета или пережжена, хрупка и имеет склонность к образованию трещин. Подобное же вредное действие, хотя и в несколько меньшей степени, произойдет, если сталь сначала перегреть и затем охладить до надлежащей температуры закали. Наконец, из описанного опыта следует также и то, что сравнительно наиболее благоприятное отношение между твердостью и вязкостью закаленной стали достигается лишь при строго определенных температурах, ограниченных довольно узкими пределами, и что закаливание при более высоких, как и при более низких температурах, дает менее благоприятные результаты.

Конечно, сразу трудно запомнить последовательные оттенки нагрева различных делений, но после первого нагрева уже будет известно, на какое деление нужно обратить внимание, и, повторяя этот опыт, обыкновенно легко заметить надлежащую температуру нагрева.

Нужно сказать, что световые эффекты при нагревании стали несколько разнятся при дневном и вечернем освещении. Это следует иметь в виду, так как цвет нормального нагрева, определенный днем, может оказаться другим в темноте.

Вообще, калить лучше в темном или полутемном помещении, так как при дневном свете очень трудно верно определить степень нагрева и сталь всегда кажется слабее нагретой, чем на самом деле.

Для определения подлежащей температуры нагрева стали более рационально пользоваться пирометрами, которые в настоящее время изготовляются в очень удобной для этой цели форме ¹⁾.

Нагревать сталь следует возможно равномернее и возможно быстро. Долгое пребывание стали в высокой температуре (*томление*) делает ее крупнокристаллической и хрупкой. От неравномерного нагрева при быстром охлаждении развиваются столь же неравномерные внутренние напряжения, отчего закаленное изделие коробится и трескается.

77. Операции перед закалкой и во время нее.

А) Отжигание и накаливание углеродистой стали.

При закаливании в стали появляются внутренние напряжения, которые могут быть настолько значительны, что преодолеют силу сцепления частиц и вызовут *образование трещин*. В виду зависимости между температурой закали и изменением объема стали ²⁾ можно вывести правило, что *степень нагрева закаливаемых предметов не следует увеличивать выше определенной, необходимой для закали температуры*, иначе сталь делается дряблой и не в состоянии при пониженной крепости ее сопротивляться действию внутренних напряжений. Далее, так как расширение стали при нагревании происходит не вполне *равномерно*, то остающееся приращение

¹⁾ См. А. М. 1514—XI—03.

²⁾ О деформациях при закаливании см. А. М. 227—08.

объема после закалки также не будет совершенно одинаково во всех частях предмета, вследствие чего последний под действием закаливания изменяет свою форму, т.е. *„кобоится“*.

Если же закалке подвергается не весь предмет, а только часть его, то происходящее при этом изменение в объеме переносится им тем легче *чем более постепенно* происходило это изменение; из чего следует, что как нагревание, так и охлаждение закаливаемых предметов не должно производиться слишком резко.

Приведенные замечания содержат наиболее существенные условия, которых нужно придерживаться при закалке стали. Но прежде чем переходить к более подробному их рассмотрению, укажем на одно обстоятельство, которое может иметь место еще до закала стали и часто является причиной коробления и образования трещин при закалке.

Кованная или прокатанная инструментальная сталь с блестящей поверхностью, с какой она обыкновенно встречается в продаже, обладает всегда некоторой хрупкостью, являющейся следствием внутренних напряжений, которые вызываются в ней механической обработкой, производимой почти в холодном состоянии. Эти напряжения увеличиваются еще более при дальнейшей обработке стали, напр., при фасонной ковке или аппретуре, вызывающей, особенно если она производится с ударами, неравномерные уплотнения материала. Понятно поэтому, что при подобной обработке нужно по возможности избегать употребления зубил, гвоздиль и тому подобных инструментов; тем не менее при фасонной ковке почти всегда, в зависимости от формы, которую должен получить инструмент, в одних местах происходит большее видоизменение материала, а в других меньшее.

Для уничтожения указанных внутренних напряжений *необходимо перед закалкой производить отжигание* всех таких инструментов, которые имеют мало-мальски сложную форму и непостоянную величину площади поперечного сечения. При более простых формах инструмента бывает достаточно *нагреть его по возможности равномерно до темно-красного каления* и дать затем медленно охладиться на воздухе; если предмет тонок и обладает острыми, выступающими ребрами, то охлаждение лучше производить, помещая его в сухой порошок из древесного угля.

Для уничтожения внутренних напряжений в таких инструментах, которые по своей величине и форме особенно легко коробятся и трескаются при закалке, как, напр., сверла, метчики, фрезы и т. п., их помещают в грубо обработанном виде в ящик из листового железа, который плотно заполняют чистыми незаржавленными железными опилками, после чего ящик замазывают совершенно герметично глиной. Ставят на медленный огонь и держат его там до тех пор, пока по предположению содержимое его не накалится до темно-красного каления, о чем судят или на основании предварительных опытов или же по протодой через стенки ящика, подвижной, железной палочке 4—8 мм. толщины, выдвигая которую можно видеть степень нагрева той части ее, которая находилась внутри ящика. Нагревание продолжается, в зависимости от величины предметов и толщины слоя опилок, от 2-х до 4-х часов и дольше, после чего ящик снимают с огня и дают ему медленно охладиться или на воздухе, или же в сухом песке, или угольной пыли.

Описанная операция имеет большую важность и противодействует короблению и образованию трещин более энергично, чем постепенное охлаждение накалившихся предметов в пространстве, наполненном дурными проводниками тепла. Не нужно однако упускать из виду того, что при недостаточной осторожности сталь легко перегревается, а при накаливании в открытом пространстве может произойти перетомление ее.

Поэтому никогда не следует усиливать нагревания выше темно-красного каления и не продолжать его дольше, чем это необходимо для *равномерного* прогревания предмета во всех его частях до надлежащей температуры. Кроме того, должно существовать возможно полное отсутствие доступа воздуха и, наконец, главное: *охлаждение должно идти возможно медленнее*, так как именно от этого зависит более или менее полное уничтожение внутренних напряжений материала.

Едва ли нужно говорить, что все печи, служащие для накаливания стали при закалке, пригодны также и для отжигания ее.

Впрочем, даже самое тщательное отжигание не в состоянии совершенно уничтожить последствия предшествовавшей нерациональной обработки материала. Так, напр., если от стальной полосы отбивают для обработки куски стали молотом при обыкновенной температуре вместо того, чтобы отрезать их зубилом в горячем состоянии, то в таких случаях, в особенности при довольно толстой полосе из твердого материала, могут появиться тонкие трещины. Не менее вредное действие оказывает *осаживание* полосы. Поэтому нужно всегда выгибать для работы такую полосу, чтобы толщина ее соответствовала наибольшей толщине изготавливаемого предмета.

После того, как будет закончено отжигание и окончательная отделка инструмента, приступают к *нагреванию его для закали*. Рассмотрим сначала производство этой операции над предметами, целиком подвергаемыми закалке, нагревание которых должно, следовательно, происходить во всех местах вполне равномерно.

Так как условия, необходимые для получения успешных результатов при нагревании стали для закалки, были указаны нами выше, то нам остается прибавить здесь весьма немногое.

Особые затруднения в смысле получения вполне равномерного нагревания представляют собой предметы, имеющие выступающие ребра и углы, в особенности в тех случаях, когда не имеется муфельной печи, нагретой до известной, строго определенной, температуры закалки и действующей под постоянным контролем пирометра. Для облегчения этой задачи нагревают обрабатываемый предмет медленно до вишнево-красного каления сперва в таком пространстве, которое обладает температурой не выше указанной, и только после этого подвергают его действию настоящего жара, сообщаящего ему нужную температуру закала, при чем, если для этого служит кузнечный горн, то накаливаемые предметы, если только это позволяет их форма, нужно вводить в огонь более тонкими частями вперед и вести нагревание при постоянном поворачивании их и внимательном наблюдении за световыми явлениями. По окончании нагревания таких предметов их не нужно тотчас же опускать в закаливающую жидкость, а дать им сначала слегка охладиться на воздухе; при этом более тонкие части предмета, которые в огне накалились быстрее толстых, будут также и охлаждаться в воздухе быстрее последних, благодаря чему достигается более равномерная степень нагрева всех частей; только когда раскаленный предмет получит вполне равномерный красный цвет, можно произвести закалку его. Вместо указанного приема, можно поступить и иначе, вынимая несколько раз предмет во время его нагревания из огня и охлаждая более раскаленные тонкие части его посредством опускания их на мгновение в воду.

При накаливании весьма тонких предметов можно класть их не прямо в горн, а вводить в последний сперва газовую трубку, соответствующего диаметра, и, когда она нагреется до равномерно красного каления, вкладывать в нее закаливаемый предмет, постоянно двигая и поворачивая его там.

Для предметов с очень различающимися поперечными сечениями рекомендуется в некоторых случаях *нагревание в металлической ванне*. Для этой цели расплавляют в чугунном тигле чистый, не содержащий серы свинец и нагревают его до красного каления. Если температуру расплавленного металла поддерживать по возможности на высоте надлежащей температуры закалки, что контролируется при помощи пирометра, то даже слишком продолжительное пребывание нагреваемого предмета в ванне не представляет опасности в смысле перегрева более тонких частей; вследствие этого указанный способ дает весьма равномерное нагревание и притом без образования окалины.

Чтобы предотвратить приставание свинца к стали, обмазывают предметы льняным маслом, посыпают их сажой и затем высушивают.

Так как пары свинца вредны для здоровья, то необходимо позаботиться о возможно полном удалении их в трубу.

Еще лучше производить нагревание в ванне из расплавленных солей (смесь хлористого калия и хлористого натрия). Температура плавления около 700° Ц. При погружении в такую ванну соль, соприкасающаяся с предметом, затвердевает и образует изолирующий слой, медленно проводящий теплоту, — что способствует более равномерному нагреву предмета. Печи, работающие таким образом, изготовляет завод C. Churchill and Co, Ltd. d. Leonard st., London E. C. См. Eng. 520—10—04; A. M. 783. E.—10—04; 354—05; 18—09.

Le Chatelier дает рецепты различных смесей с различными температурами плавления для закалки и отпуска. См. М. Е. 363—3—05.

При частичном нагревании предмета *раскаленные части его не должны быть слишком резко разграничены с ненакаленными*; напротив, нагрев должен по возможности постепенно убывать, переходя от наиболее горячих частей к холодным. Это весьма существенное условие и, если оно не выполняется, то обрабатываемый предмет легко дает трещины в месте разграничения накаленных и холодных частей. Постепенно убывающий нагрев легко получается при применении кузнечного горна. Если же накаливание происходит в свинцовой ванне, то для достижения того же погруженному в свинец предмету сообщают небольшое перемещение вверх и вниз.

Если производится закалка не всего предмета, а только некоторых его частей, но вследствие формы нужно подвергать действию огня целиком весь предмет, то для защиты от нагревания частей, неподлежащих закалке, их обмазывают слоем глины соответствующей толщины. Подобным манипуляциям подвергают, напр., шипы небольших валцов для прокатки серебра и золота; шипы покрывают сырой глиной, а для того, чтобы она не отваливалась, ее смешивают с шерстью. Глину обматывают сверху еще проволокой. Этот слой заходит на несколько миллиметров на заплечики шипов и защищает, таким образом, как шипы, так и ребра заплечиков от перегрева.

Сделанных замечаний о нагревании предметов с неравномерными поперечными сечениями достаточно, чтобы видеть, какое важное значение имеет *продолжительность нагревания* на получение удачных результатов при закалке. Если нагревание

ведется слишком быстро, то более тонкие части предмета нагреваются скорее и достигают поэтому надлежащей температуры раньше, чем остальная масса предмета.

При излишней же медленности нагревания происходит сильное образование окалины. Последняя так плотно пристаёт при этом к поверхности стали, что не осыпается вполне при закалке и *препятствует процессу закаливания*. Средством против образования окалины может служить посыпание раскаленной стали сухой поваренной солью, которая расплавляется на огне и покрывает поверхность металла корой, защищающей сталь от окисления; для той же цели может служить обмазывание стали мягким мылом или посыпание ее кровяной солью. Предметы больших размеров, требующие для вполне равномерного прогревания по всей своей толщине продолжительного пребывания в накаливаемом пространстве, а также предметы с тонкой гравировкой, как, напр., штемпеля и нажимные доски для печатания банковых билетов, нагреваются иногда в ящике из листового железа, плотно набитом мелкоистолченным порошком древесного или *кожоную угля*; ящик должен быть закрыт, но не закупорен герметически.

Для предохранения предметов от окисления рекомендуется также погружать их после предварительного нагревания в тесто, составленное из двух частей древесного угля и одной части желтой кровяной соли; эти вещества варят вместе в воде и прибавляют затем желатину. Когда предмет высохнет, его погружают вновь в этот состав и повторяют эту операцию до тех пор, пока на поверхности металла не образуется слой толщиной в 2—3 мм., после чего предмет накаливают до температуры закалики.

Необходимо заметить, однако, что благодаря нагреванию стали в присутствии угольного порошка и, еще более, кровяной соли, поверхность металла поглощает углерод и делается вследствие этого более твердой и хрупкой, что в том случае, когда сорт стали по твердости выбран наиболее подходящий для данной цели, надо признать вредным. Это обстоятельство необходимо иметь в виду при выборе степени твердости стали для таких предметов, которые будут при закалке подвергаться нагреванию описанным способом. При быстром же нагревании указанное действие углерода почти незаметно.

Упомянутое свойство окалины нужно принимать во внимание особенно тогда, когда подвергается закалке отожженная сталь без всякой предварительной обработки, так как в этом случае, если только отжигание происходило в не вполне герметично закрытом пространстве, на поверхности металла всегда образуется значительный слой окалины.

Таким образом нужно принять за правило *производить нагревание с возможною быстротою, но так однако, чтобы не причинять этим ущерба равномерности нагревания*.

В) Охлаждение стали.

Охлаждение накаленной стали должно производиться *возможно равномерно*, а в целях достижения наибольшей твердости также и *возможно быстро*. Что касается *равномерности* охлаждения, то она необходима потому, что закаливаемый предмет, расширившийся вследствие нагревания, вновь сокращается при охлаждении и не коробится только в том случае, если охлаждение, а следовательно и сокращение его, идет совершенно равномерно.

Нагретый предмет следует погружать в охлаждающую ванну не около стенок сосуда, а посредине его.

За исключением предметов самых малых размеров, закаливаемых сразу в небольшом количестве (напр., иголки и т. п.), никогда не нужно нагретую вещь прямо бросать в воду, так как; во-первых, каждый предмет нужно при закалке погружать в охлаждающую жидкость в определенном положении, а, во-вторых, при бросании предмет падает на дно, вследствие чего та часть его поверхности, которая касается дна, не так быстро остывает. Если стальной стержень с квадратной, круглой или тому подобной формой поперечного сечения погружать в жидкость так, что его продольная ось параллельна поверхности жидкости, то предмет будет коробиться. Поэтому длинные предметы нужно погружать *в вертикальном положении* и притом не слишком быстро. Иногда погружаемый предмет двигают по спирали, что делается с тою целью, чтобы поверхность стали все время приходила в соприкосновение с свежей, еще ненагретой жидкостью. Впрочем, последний прием требует особой осторожности и его не нужно применять при закалке длинных и тонких, легко коробящихся инструментов.

Медленное погружение имеет целью произвести охлаждение раскаленной стали вблизи поверхности охлаждающей жидкости, так как в этом случае вредные для процесса закаливания пары, которые образуются особенно сильно при погружении крупных предметов, могут тотчас же улетучиваться в воздух.

Плоские предметы опускают в жидкость узкой стороной вперед отчасти горизонтально, отчасти вертикально. Предметы *неравномерной толщины погружают вертикально более толстой стороной вперед*. Последнее необходимо потому, что в

противном случае более тонкие части, охладившись ранее, не были бы в состоянии уступать усадке более толстой части. Если указанный прием практически неосуществим, то можно более тонкие части для защиты их от слишком быстрого охлаждения покрывать тонким слоем глины. Как средство против коробления и образования трещин Karparsch предлагает зажимать закаливаемый предмет в пресс (напр., листовая сталь) или надевать на закаливаемый предмет железные кольца (на концах стальных вальцов).

Для получения совершенно правильного закала необходимо, чтобы температура охлаждающей жидкости не менялась слишком сильно во время операции закалики. Следовательно, жидкость должна быть в достаточном количестве ¹⁾.

В длинных, пустотелых предметах, закаливаемых изнутри, необходимо производить постоянную циркуляцию жидкости. Этого можно достигнуть, пропуская, напр., струю воды под давлением в отверстие закаливаемых предметов или же пользуясь трубкой, закрытой с конца и снабженной по своей боковой поверхности большим числом маленьких отверстий; надевая раскаленный предмет снизу на такую трубу и пропуская через нее воду под высоким давлением, можно получить весьма равномерный закал, так как при этом способе все точки внутренней поверхности закаливаемого предмета подвергаются непосредственному действию свежей струи воды.

Диаметр трубы нужно выбирать таким образом, чтобы между трубой и стенкой предмета оставалось достаточное пространство для стока воды.

Предметы, нагретые частью, нужно погружать в охлаждающую жидкость немного глубже того места, в котором заметен темно-красный нагрев. Если по какому-нибудь случаю частично закаливаемый предмет был нагрет дальше, чем нужно, то необходимо при погружении в воду сообщать ему небольшое вертикальное перемещение вверх и вниз. Если этого не делают, то предмет часто трескается как раз в том месте, в котором приходился уровень воды.

Быстрота, с которой происходит охлаждение, зависит от теплопроводности и теплоемкости жидкости, от ее точки кипения и, наконец от скрытой теплоты испарения ее. О влиянии каждого из этих факторов будем говорить позднее при рассмотрении различных закаливающих жидкостей. Сюда нужно еще прибавить температуру жидкости, как одно из условий, имеющих влияние на быстроту охлаждения. В последнем легко убедиться, производя закалку стали в горячей и холодной воде. При этом легко заметить, что охлаждение раскаленного металла до температуры охлаждающей среды происходит при употреблении горячей воды несравненно дольше, чем при холодной. Причиной этого является то, что горячая вода скорее обращается в пар, который замедляет поглощение теплоты жидкостью. Аналогичное явление происходит при охлаждении в масле, жире и ртути. Поэтому будет вполне справедливо сказать, что при всех прочих одинаковых условиях сталь будет после закалики тем тверже, чем ниже была температура охлаждающей жидкости или, другими словами, что закаливающая способность воды понижается с повышением ее температуры. Хотя очень часто говорят, что в качестве закаливающей жидкости употребляют жидкости весьма высокой температуры, как, напр., металлы, нагретые до точки плавления (свинец, олово и даже расплавленный цинк), т.-е. жидкость, обладающую температурой 400° Ц., тем не менее подобное выражение будет до известной степени условно, так как явление закалики не всегда происходит при погружении раскаленной стали в эти жидкости. Мы знаем, что закалика не происходит, если сталь была нагрета только до температуры темно-красного каления. Явление закалики имеет место только при быстром охлаждении стали от вишнево-красного до темно-красного каления. Дальнейшее быстрое охлаждение необходимо для того, чтобы сохранить стали ту твердость, которую она получила во время закала. При медленном же охлаждении закаленная сталь утрачивает в большей или меньшей степени свою твердость (отпускается).

В этом смысле процесс закалики распадается на две фазы: собственно закалики (быстрое охлаждение до темно-красного каления) и закрепления полученной твердости (охлаждение от темно-красного каления до обыкновенной температуры).

Этим расчленением явления закалики на две фазы можно объяснить, напр., то, что тонкая раскаленная стальная проволока, при погружении ее на короткое время в расплавленный цинк, быстро охлаждается, закаливается и делается совершенно твердой, но если ту же проволоку оставить на продолжительное время в горячем цинке, то проволока отпускается и вновь теряет полученную при закале твердость.

Если сталь вынуть из расплавленного цинка тотчас же, как только она охладится до его температуры, то после охлаждения в воздухе она оказывается закаленной в большей или меньшей степени. Эта степень закала будет больше, если закаливаемый предмет очень тонок (напр., проволока) и охлаждение его в воздухе производит настолько быстро, что не успевает произойти явления отпуска; если же предмет более крупен, то степень закала его меньше, так как в этом случае значительное количество внутренней теплоты предмета сильно замедляет охлаждение его в воздухе

¹⁾ Конструкц. охлаждающ. маслян. ванны см. А. М. 526—5—05.

Таким образом, если за мерило успешности закалки принимать твердость совершенно охладившейся стали, то главнейшим условием для получения максимальной твердости закаливаемого материала является возможная быстрота охлаждения раскаленного металла при обоих стадиях процесса, что, в свою очередь, обуславливает употребление закаливающей жидкости возможной низкой температуры ¹⁾.

Сталь с полным закалом применяется однако на практике лишь в самых редких случаях, так как в этом состоянии она слишком хрупка. Обыкновенно закаленную сталь до известной степени *отпускают*, при чем она получает вновь часть утраченной вязкости, теряя в твердости. При общепринятых приемах отпуска стали эта операция производится путем внешнего нагревания предмета, так сказать, *спнаружи внутрь*, так что при этом способе цвета отпуска появляются на поверхности металла раньше, чем теплота успеет вполне проникнуть внутрь его. В этом случае инструмент снаружи мягче и вязче, чем внутри. Между тем наиболее правильным был бы как раз обратный процесс, и потребность в инструментах, изготовленных именно таким способом, привела к применению различных способов, имеющих целью сохранить большую вязкость внутри закаленного предмета или, по меньшей мере, не делать ее внутри меньше, чем снаружи.

Из таких способов мы укажем на два: способ „отпускания изнутри наружу“ и способ „совместной закалки и отпуска“ (отрицательный закал). Как в том, так и в другом способе процесс отпуска неразрывно связан с процессом закаливания, вследствие этого такие виды отпуска стали мы рассмотрим в настоящем параграфе.

Способ „отпускания изнутри наружу“ состоит в том, что раскаленный предмет погружают в закаливающую жидкость, не давая ему однако вполне охладиться в последней, а вынимая его из ванны еще настолько горячим, чтобы внутренней теплоты его было бы достаточно для того, чтобы снова нагреть охладившуюся в ванне поверхность предмета и вызвать на ней цвета отпуска. Как только при этом появится желаемый цвет, его тотчас же фиксируют на поверхности металла путем мгновенного погружения в холодную воду. Если описанному способу закалки подвергать подряд большое количество однородных инструментов, то при производстве этой операции удастся определить такую продолжительность погружения предмета в охлаждающую ванну, что оставшейся после закалки внутренней теплоты оказывается как раз достаточно для того, чтобы вызвать потребный цвет отпуска, после чего даже не требуется фиксировать этого цвета путем погружения предмета в холодную воду.

На основании многих практических опытов было замечено, что стальные предметы больших размеров часто трескаются, если их вынимают из закаливающей ванны раньше, чем они вполне охладятся. Это явление легко объяснить действительно: представим себе кубический кусок раскаленной стали; если его погрузить в воду и через некоторое время опять вынуть из нее, то он охладится только с поверхности на большую или меньшую глубину; внутри же его останется горячее ядро, от которого опять распространяется теплота к поверхности металла. Это распространение достигает поверхности предмета ранее всего в тех местах, где теплоте приходится пройти кратчайший путь, т. е. посредине боковых сторон куба, которые и нагреваются раньше углов и ребер. Вследствие более сильного нагревания средин боковых сторон происходит в этих местах приращение объема, которому не могут уступить еще холодные ребра, и потому в последних появляются трещины, образованию которых еще более способствует хрупкость закаленной стали. Отсюда следует, что способ „отпускания изнутри спнаружу“ применим для закалки только небольших предметов и притом такой внешней формы, при которой возможно равномерное нагревание внешней поверхности действием внутренней теплоты.

Второй способ отпуска, при котором это явление также связано неразрывно с процессом закаливания, состоит в том, что *сначала сталь быстро охлаждают до 400° Ц., а затем охлаждение ведут медленно.*

Это достигается путем погружения стали в ванну из расплавленного металла, точка плавления которого лежит ниже 400° Ц. (свинец, олово). Благодаря значительной теплопроводности металла сталь быстро отдает свою теплоту и охлаждается до температуры металлической ванны, получая таким образом закал. Непосредственно за этим следует отпускание стали действием, во-первых, внешней теплоты окружающего расплавленного металла, а, во-вторых, внутренней теплоты самого предмета. Если не должно произойти полного отпуска стали, то ее нужно своевременно вынуть из металлической ванны и окончательно охладить в воде.

Существенное различие между описанным способом и способом отпуска изнутри состоит в разнице температур закаливающих жидкостей.

¹⁾ Впрочем, чем энергичнее ведется закалка, тем хрупче делается сталь и тем с большей легкостью она дает трещины, поэтому употребление особенно сильно действующих закаливающих жидкостей весьма ограничено, о чем более подробно будет речь впереди.

Это различие обнаруживается в том, что слишком продолжительное пребывание предмета в закаливающей жидкости вызывает при способе „отпускания изнутри“ полный закал предмета, при втором же способе—полное отпускание его. Дальнейшее различие состоит также и в том, что при способе „отпускания изнутри“ явление отпуска вызывается действием одной только внутренней теплоты не вполне охладившегося предмета, в то время как во втором способе отпускание закаленной стали производится не только действием внутренней теплоты самого предмета, но также и действием теплоты металлической ванны, так что при последнем способе отпускание производится не только изнутри, но одновременно как изнутри, так и снаружи.

Опыты произведенные Рейзером в этом направлении, показали, что при нагревании стали в расплавленном свинце, накалинном до ярко-красного каления, и при охлаждении ее в свинце, нагретом только до точки плавления его, получаются при закалке тонких предметов (проволока, пилы) хорошие результаты. При производстве же этой операции над более толстыми предметами в роде полудюймовых метчиков и т. под., не удавалось получить достаточного закала; твердость их при этом достигла лишь степени твердости пружинной стали и была недостаточна для режущих инструментов, несмотря на то, что после погружения предметов в металлическую ванну окончательное охлаждение их производилось в холодной воде.

Укажем еще один прием закалки, который, благодаря применяемой при нем различной быстроте охлаждения закаливаемого предмета, имеет некоторое сходство со вторым из вышеописанных способов. Он состоит в том, что раскаленную сталь погружают для охлаждения сперва в жидкость, лучшую проводящую тепло, а после этого в жидкость, проводящую хуже. Принципиальным различием между указанными двумя способами закалки является то, что при новом способе нужно еще производить отдельную от закалки операцию отпускания закаленной стали.

Для закаливания стали этим способом погружают раскаленный предмет в воду и, как только его поверхность потемнеет, его вынимают и тотчас же погружают в масло. Так производят, напр. на заводе в *Terre-Noire*¹ закалку стальных гранат; последние накаливают до красного каления и опускают в воду конической частью вперед; когда с поверхности металла исчезнет красный нагрев и она сделается темной, гранаты вынимают и погружают в масляную ванну, где они и остаются до полного охлаждения.

Описанный прием рекомендуется также и для закалки инструментов особенно в тех случаях, когда обрабатываемый материал при закалке в масле не делается достаточно твердым, при закалке же в воде легко может дать трещины.

78. Операции, производимые после закалки.

А) Отпускание стали.

При описании способа „отпускания изнутри“ было упомянуто, что для полного использования преимущества, представляемого этим способом, не производя дополнительного охлаждения предмета, необходимо обладать большим навыком. Еще большие трудности в смысле получения хороших результатов, представляет собою второй способ закалки с различной быстротой охлаждения, так как здесь не имеется в распоряжении цветов отпуска, появляющихся на поверхности стали и служащих в первом способе указанием степени нагревания.

Поэтому на практике сообщают обыкновенно обрабатываемому предмету полный закал, давая ему вполне охладиться в закаливающей жидкости и уже после этого, независимо от закалки, приступают к производству операции отпускания, заключающейся в легком нагревании закаленной стали ¹⁾ Происходящие при этом изменения в физическом строении материала были уже рассмотрены раньше.

После того, как закаленный предмет будет вынут из закаливающей жидкости и высушен, его осматривают и тщательно исследуют напильком. Если закалка оказалась удачной, то нужно производить отпускание стали тотчас же после закалки, очистивши предварительно поверхность металла, и не откладывая эту операцию без нужды, иначе появляющиеся в материале при закалке значительные внутренние напряжения могут легко при самом незначительном внешнем поводе вызвать образование трещин; после же отпускания эта опасность исчезает.

Нагревать отпускаемый предмет нужно повозможности медленно. Чем медленнее производится нагревание, чем на большую глубину внутрь предмета успеет проникнуть теплота, тем, следовательно, вязче будет весь предмет. Когда появится же-

¹⁾ Отпусканию не подвергаются такие предметы, которые требуют большой твердости и не нуждаются в особенной вязкости, как, напр., подпилки, или же такие которые изготовляются из весьма мягкой стали, напр., молотки.

лаемый цвет отпуска, его фиксируют на поверхности металла путем быстрого погружения предмета в воду. Если бы мы не производили охлаждения отпущенной стали в воде, а только прекратили бы ее нагревание в тот момент, когда появится требуемый цвет отпуска, то сохранившаяся в стали внутренняя теплота продолжала бы вызывать на поверхности предмета последующие цвета и сталь оказалась бы, таким образом, после окончательного охлаждения мягче, чем нужно. Впрочем, оказывается, что сталь, охлажденная при отпускании на воздухе, бывает при одинаковом цвете отпуска и при прочих равных условиях всегда несколько тверже и хрупче стали, охлажденной в воде.

Само-собой понятно, что так как цвета отпуска появляются при температурах значительно низших, чем красное каление, то при погружении отпущенной стали в воду вторичного закала произойти не может.

Если сталь с блестящею поверхностью покрыть слоем жира и подвергнуть нагреванию, то цветов отпуска не появляется; это служит доказательством того, что *причиной их образования является поверхностное окисление* металла при нагревании.

Влияние посторонних примесей, могущих увеличить или уменьшить способность стали принимать закал, должно обнаруживаться также и на операции отпускания стали, при чем сталь должна в различной мере поддаваться этой операции в зависимости от большего или меньшего присутствия в ее составе этих веществ, т. е., другими словами, сталь различных сортов должна при отпускании до одного и того же цвета отдавать свою твердость в различной степени. Впрочем, вопрос этот остается пока еще открытым.

В нижеследующей таблице указаны температуры, соответствующие различным цветам отпуска стали и перечислены инструменты, которым обыкновенно дают отпуск до этих цветов ¹⁾.

Группа I.

Светло-желтый цвет.
220°—230°Ц.

Токарные и строгальные резцы по твердой стали и чугуны, отлитому в изложницах (О—II, 1). Грабштихеля для стали и твердого камня (II, III). Полировочные молотки (IV, 4). Матрицы для прессования и печатания (IV, V, 5). Подушки для мельничных подпятников (V, 5).

Темно-желтый цвет.
240°Ц.

Токарные и строгальные резцы (I, III, 1, 2) и сверла (IV, 3) по стали и чугуны. Развертки и фрезы для металла (IV, V, 3). Пилы для металла (V, 4). Большие кузнечные ручные молота (4—6). Кирки для тески жерновов. Kronhämmer (II—IV). Пунсоны дыропробивных машин (V, 5).

Коричнево-желтый цвет.
255°Ц.

Плашки для нарезки винтов (IV, V, 4). Мельничные пяты (5, 6). Малые ручные молотки (V, 3, 4). Стамески (IV, 2, 3).

Группа II.

Коричнево-красный цвет.
265°Ц.

Метчики, спиральные сверла (IV, V, 4). Инструменты для резания костей (V, 4). Пробойники для кожи (V, 5). Бритвы (V, 3).

Пурпурово-красный цвет.
275°Ц.

Токарные и строгальные резцы, сверла и инструменты для резки винтов для железа и желтой меди (V, 4, 5). Зубила для граверов (V, 5). Пробойники для холодного металла (IV, V, 3, 4). Зубила для насечки напильников (III, IV).

Фиолетовый цвет.
285°Ц.

Ручные зубила для стали (5). Обжимки для заклепок (6). Фасонные резцы для обработки дерева и фрезы для твердого дерева (V, 5). Зубила для камня (IV, 2). Сверла для камня (V, 2—5). Клейма для стали (V, 3). Кузнечные зубила для холодного металла (V, 4). Пробойники для горячего металла, ножницы (V, 4, 5). Перочинные ножи и ножи для резания бумаги (V, 4). Керны (IV, 3, V, 4), метчики для дерева (5, 6). Ножи для резки табаку (IV, V, 4, 5).

¹⁾ S. Shogō, испытывая различные сорта стали посредством склероскопа и особой машины, определяющей крепость, нашел, что при отпуске до 245° Ц. (470 F.) соломенно-желтый, крепость стали получается больше, чем при температ. отпуска 265° Ц. (515 F.), затем для стали с большим содержанием Ц (1,65) крепость повышается довольно значительно при более сильных отпусках, и для стали с меньшим содержанием С (1,3—0,9) крепость хотя и повышается, но незначительно, а твердость теряется очень заметно. (См. диагр. А. М. 226—09). В виду этого инструменты, которые должны сохранять свои режущие ребра и испытывать большие напряжения, не следует отпускать далее желто-соломенного цвета. См. стр. 228—09 А. М. Вывод, противоречащий общепринятому мнению.

Группа III.

<p>Синий цвет (цвет васильков). 295° Ц.</p>	<p>Ручные зубила для чугуна (V, 3, 4). Кузнечные зубила для горячего металла (5). Железки для рубанков, употребляемых в спичечной фабрикации, рубанки, сверла, колуны для дров, топоры, тонкие пилы для дерева, фасонные ножи и фрезы для мягкого дерева (V, 5, 6). Рапиры (6). Кинжалы (V, 5). Столовые ножи (V, 6). Гладилки для котельного дела (V, 5). Косы.</p>
<p>Светло-голубой цвет. 315° Ц.</p>	<p>Ручные зубила для ковкого железа (V, 4, 5). Пилы для дерева (5, 6). Хирургические инструменты (V, 6). Сапожные шила (6). Пружины.</p>
<p>Серый (зеленов.-серый цвет морской воды).¹⁾ 330° Ц.</p>	<p>Так называемые „серые, каринтийские косы“ (graue Karntnersensen).</p>

Что же касается до зависимости между температурами и цветами отпуска, то ее легко обнаружить, нагревая отдельные стальные полосы до температур, лежащих между 220° и 330° Ц., и отбивая от них куски, сделавши предварительно надрезы острым зубилом. При исследовании изломов оказывается, что они имеют различную окраску в зависимости от степени предшествовавшего нагревания; это доказывает, что каждой данной температуре отпуска соответствует также и свой определенный цвет, который при отбивании нагретой стальной полосы появляется тотчас же, не проходя последовательно всего ряда цветов, соответствующих предшествовавшим степеням нагревания.

Однако, цвета отпуска находятся в зависимости не от одной только степени нагрева; напротив, можно при одной и той же температуре, смотря по продолжительности нагревания, вызвать на поверхности стали последовательно все цвета отпуска. При одном таком опыте, при температуре нагревания в 230° Ц. светло-желтый цвет появился на поверхности стали через 15 минут, затем через 30 минут он перешел в красный, через 45 минут в синий и, наконец, через 60 мин. поверхность стали приняла светло-голубую окраску; таким образом удалось в течение одного часа и при постоянной температуре нагревания в 230° получить на поверхности металла последовательно все цвета отпуска.

Дальнейшие опыты показали, что если один и тот же сорт стали подвергать отпусканию, нагревая его *быстро до более высокой температуры или медленно до более низкой*, то в результате получается почти одинаковая степень твердости. Разницу в твердости удалось обнаружить только при очень тщательном исследовании, при чем более твердой оказалась сталь, испытывавшая медленное отпускание при низкой температуре.

Таким образом можно сказать, что *температура нагревания и продолжительность его могут заменять друг друга*, как в отношении вызываемых цветов отпуска, так и в смысле окончательной твердости, получаемой после отпускания стали.

Хотя в практике и не применяется температура отпуска ниже 220°, тем не менее, нельзя не указать на то, что, если закаленную сталь подвергать в течение довольно долгого времени действию температуры кипящей воды, то в ней можно заметить некоторую степень отпуска: с другой стороны, можно закаленную сталь нагреть до температуры значительно выше той, которая соответствует серому цвету отпуска, прежде чем окончательно исчезнет ее закал. Примером этого могут служить спиральные пружины для буферов железнодорожных вагонов, которые, если они изготовляются из твердой стали, подвергаются нагреванию при отпуске до такой температуры, что обнаруживают *в темноте темно-красный нагрев*.

Часто при выборе более подходящей степени твердости стали для какой-нибудь определенной цели мнения расходятся. Это обусловливает также отчасти и разногласие в выборе цвета отпуска. Так как цвет отпуска инструмента не представляет собой абсолютно неизменной величины, а может изменяться в некоторых пределах в зависимости от выбранного сорта стали, то в последней таблице при каждом инструменте приведены цифры, дающие по сортименту купфенбергского завода (Бблер) номер того сорта стали, который *в связи с указанным цветом отпуска* является наиболее подходящим для данного инструмента.

¹⁾ Цвета отпуска III группы обыкновенно перечисляют в следующем порядке: „светло-голубой, синий, темно-синий, серый“. Такое перечисление ошибочно, в чем легко убедиться, нагревая тонкую стальную пластинку, положивши ее одним краем на раскаленный кусок железа и дожидаясь, пока серый цвет отпуска не появится у этого края. При этом ясно видно, что переходом к серому является в действительности светло-голубой цвет.

За некоторыми исключениями допускаемый произвол в выборе степени твердости материала, как и цвета отпуска изготавливаемого инструмента, ограничен довольно узкими пределами, благодаря чему легко дать общие правила в этом отношении, хотя этим правилам и нельзя придать настолько точную формулировку, что было бы возможно совершенно шаблонное применение их на практике.

Для наглядности в последней таблице все цвета отпуска разделены на три группы, при чем за основные приняты наиболее употребительные цвета — *темно-желтый, фиолетовый и синий* (цвет васильков). В первой группе твердость и хрупкость закаленной стали ослаблены в наименьшей степени, а в третьей группе — в наибольшей. Таким образом можно сказать, вообще, что цвета отпуска:

I группы нужно употреблять главным образом для изготовления таких инструментов, которые должны обладать *тонким, твердым лезвием* и которые в работе *будут испытывать довольно плавную нагрузку*, не подвергаясь ударам.

II группы — для режущих инструментов, действующих ударами или подвергающихся ударам и сильному кручению.

III группы — для инструментов, от которых требуется не столько *тонкость лезвия*, сколько, главным образом, *вязкость* (напр., косы, подвергаемые „отбиванию“, пилы, зубья которых разводят и чеканят молотком, и т. д.).

Таким образом, зная характерное различие этих трех групп, не трудно будет сделать правильный выбор цвета отпуска для любого инструмента, не поименованного специально в нашей таблице.

Недостаточное нагревание при отпускании изготавливаемого инструмента может повести к выкрашиванию или поломке его в работе. Поэтому является не рациональным употреблять для изготовления инструментов, требующих твердых сортов, сталь более мягкую, стараясь достичь требуемой твердости при помощи меньшего отпуска инструмента.

Напротив, гораздо меньше опасности представляет употребление для данной цели более твердой стали, сообщая зато изготавливаемому инструменту больший отпуск.

При выборе оттенка цвета для одной и той же группы нужно руководиться, как твердостью обрабатываемого материала, так и формой изготавливаемого инструмента и большей или меньшей его ломкостью.

Когда при постепенном нагревании стали на ее поверхности будет последовательно получен весь ряд цветов, тогда при дальнейшем нагревании этот ряд снова повторяется, появляясь в той же последовательности, но только несколько более быстро; наконец, при еще более сильном нагревании цвета исчезают и начинается раскаливание металла.

Что касается производства операции отпуска, то для достижения вполне одинаковой сопротивляемости изготавливаемого инструмента во всех его частях необходимо не только *возможно медленное нагревание* но также и *возможно большая равномерность его*.

Для этой цели наиболее пригодно чистое, ровное, некоптящее и при том не слишком блестящее пламя, дающее возможность не только нагревать предмет равномерно во всей его массе, но и точно наблюдать цвета отпуска, появляющиеся на его поверхности. Этим условиям наиболее удовлетворяет пламя *вишнего спирта*. Для предметов больших размеров это средство является, впрочем, слишком дорогим. В таких случаях рекомендуется употреблять *кузнечный тор* с *древесным углем* или же *угольную жаровню*, которую можно покрыть продырявленным железным листом и класть на него отпускаемые предметы после того, как лист нагреется равномерно.

Вместо листа, некоторые употребляют железный *муфель* или же *песочную ванну*, т. е. железный ящик, наполненный песком на высоту приблизительно в 25 мм. Песок нагревают при постоянном перемешивании на каком-нибудь подходящем источнике тепла, затем его выравнивают и кладут на него отпускаемые предметы. Иногда применяют *свинцовую ванну*, расплавляя свинец в неглубоком чугунном ящике и тщательно поддерживая его при температуре плавления. Свинец покрывают железной пластинкой, которая, вследствие своей меньшей плотности, сравнительно с свинцом, плавает на его поверхности. На нагретую таким образом пластинку кладутся отпускаемые предметы, при чем возможно весьма удобное и точное наблюдение цветов отпуска.

Во многих случаях является весьма выгодным употребление *накаленного докрасна куска железа*, выбирая его по форме соответствующим отпускаемому предмету. Для достижения возможно более равномерного нагревания отпускаемых предметов необходимо их поворачивать от времени до времени.

Особый способ отпуска представляет собой „*обжигание*“ стали, применяемое при изготовлении пружин для ружейных замков, самосвертывающихся стальных ружейных пил и т. п. При этом способе предметы сначала слегка нагревают, затем смазывают маслом или салом, после чего подвергают дальнейшему равномерному нагреванию до тех пор, пока жир не начнет гореть. Если предметы очень тонки, то нельзя допускать полного сгорания жира, так как иначе они получат полный отпуск и придут в свое первоначальное, естественное состояние. При обжигании же предметов

более значительных размеров или неравномерной толщины эту операцию повторяют вполне или только частями несколько раз, чтобы достичь возможно равномерного отпуска предмета во всех его местах.

При специальной фабрикации пружин для ружейных замков применяются различные приемы описанной операции в зависимости как от степени твердости употребляемого материала, так и от требуемой жесткости пружины. Так, напр., сначала подвергают пружины закалке в воде или масле, затем производят в течение 2—2½ мин. операцию обжигания и, наконец, дают им охладиться, смотря по обстоятельствам, или в воздухе или в масле.

Другой способ ослабления закала пружин состоит в том, что их погружают в железный сосуд с холодным маслом или салом и затем подвергают действию слабого огня. При этом способе требуемый нагрев получается во всех местах предмета весьма равномерно и более тонкие части его не страдают от действия слишком продолжительного обжигания. Масло должно при производстве этой операции иметь температуру около 290° Ц., которая соответствует синему цвету отпуска и узнается тем, что масло при такой температуре легко зажечь с поверхности. Если случайно усилить нагревание, то масло легко может загореться само, и потечь через край, что представляет опасность в пожарном отношении; для устранения этого необходимо иметь наготове плотно закрывающуюся крышку и иметь возможность тотчас же снять нагреваемый сосуд с огня.

Описанный способ позволяет производить отпускание стали *независимо от наблюдений цветов отпуска*, благодаря чему отпускаемым пружинам не требуется давать блестящей поверхности.

Другой способ, преследующий ту же цель, имеет место при фабрикации *рессорных пружин железно-рожных вагонов*. Требуемая степень нагревания узнается здесь по нагретой поверхности металла прижатой к ней сухой стружкой из липового или орехового дерева, при чем от последней должны отделяться искры.

При употреблении более мягкого сорта стали нагревание нужно вести только до тех пор, пока прижатая к поверхности металла стружка не начнет дымиться.

Чтобы облегчить достижение вполне равномерного нагревания отпускаемых предметов, и чтобы в то же время избежать необходимости наблюдения цветов отпуска, можно употребить *для операции отпускания различные металлические сплавы*, точки плавления которых соответствуют температурам отдельных цветов отпуска.

Температура расплавленного металла определяется пирометром, а нужная продолжительность погружения в него, установленная для каждого данного предмета из предварительных опытов, контролируется по часам. Впрочем, этот способ отпускания при помощи погружения в металлическую ванну не пользуется большим распространением и ограничен лишь немногими случаями. Особенно удачные результаты получаются при применении его для отпускания хвостов напильников, которые заделываются в рукоятку. Эти хвосты получают полный отпуск путем погружения их в накалившую докрасна свинцовую ванну, при чем получается весьма резкое разграничение отпущенной части от закаленной, чего не удается достигнуть вполне ни при каком другом способе отпускания.

Неприятным является образование окисла свинца на поверхности расплавленного металла; этот окисел приходится от времени до времени удалять во время работы, что влечет за собой непроизводительный расход свинца. *Окисление поверхности металла можно устранить, посыпая ее грубо-истолченным порошком оревоного дла*, что несколько не препятствует производству операции отпускания. Прибавим еще, что свинец обыкновенно расплавляют в чугунном тигле шириною около 100 мм. и глубиною, соответствующую наибольшей длине погружаемого хвоста напильника.

Если требуется, чтобы *вовне закаленный предмет* обладал неодинаковым во всех местах, а *постепенно убывающим закалом*, то в таком случае нужно при отпускании его подвергать непосредственному действию огня только то место, которое должно получить наибольший отпуск; при этом теплота, распространяясь на соседние части, сообщает им отпуск все убывающий по мере удаления частей от места нагревания. Этот переход будет тем постепеннее и тем равномернее, чем ниже была температура пламени. Несколько видоизмененный способ употребляется при отпускании сабельных клинков, которые должны обладать твердым, упругим лезвием и мягкой, вязкой спинкой. Для удовлетворения этим требованиям клинок сначала отпускают немного (от фиолетового до темно-синего цвета), затем зажимают его между двумя холодными, железными полосами таким образом, что свободной остается одна спинка и, наконец, сдерживая все это клещами, быстро нагревают спинку до тех пор, пока она не получит серого цвета отпуска. Благодаря такому приему вся теплота, притекающая к лезвию, тотчас же передается полосам вследствие чего лезвие не нагревается и сохраняет, следовательно, всю свою твердость.

При отпускании частично закаленных предметов, напр. сверл, в огонь вводится не самое острое сверло, а место на несколько сантиметров позади его, при чем нагревание нужно производить до тех пор, пока желаемый цвет отпуска не появится вблизи острия.

При таком способе нагревания от задней части к передней достигается то, что части инструмента, находящиеся позади острия или лезвия, обладают гораздо большей вязкостью, чем та, которую бы они получили при непосредственном нагревании острия.

Если необходимо удалить с поверхности стали цвет отпуска, то для этой цели нужно пользоваться или полировальным порошком или же разбавленной кислотой. Последняя употребляется тогда, когда окраска стали удаляется до резко определенного контура. В таких случаях на те места, которые должны сохранить свой цвет, наносят тонкий слой воска. Если же на поверхности металла желают вытравить рисунок, то места, не подлежащие действию кислоты, покрывают при помощи кисточки масляной краской, составленной из мелко истолченного порошка кровявика, после чего предмет погружают в ванну, составленную из 20 частей воды и одной части серной кислоты; как только исчезнет цвет отпуска, его тотчас же быстро вынимают и споласкивают чистой водой с целью предупреждения ржавчины.

В) Выправка покоробленной стали.

Эта операция, если только она вообще возможна для данного предмета, представляет обыкновенно значительные трудности и должна производиться с большой предусмотрительностью.

Выправка стали, покоробившейся при закалке, производится обыкновенно *после операции отпускания*.

Предметы *неотпущенные или очень мало отпущенные* нагревают перед производством этой операции до теплоты руки для того, чтобы немного уменьшить их хрупкость, не уменьшая, однако, их твердости. После этого предметы помещают между двумя нагретыми также до теплоты руки брусками красной меди и все зажимают в винтовой пресс, при помощи которого производят медленно возрастающее давление до тех пор, пока предмет не приобретет вновь своей правильной формы, после чего предмет оставляют под прессом до полного охлаждения.

Выправка предметов более отпущенных, изготовленных из менее твердого материала производится при помощи особого молотка с узким округленным ребром; молоток должен быть насажен на рукоятку таким образом, чтобы ребро его было расположено в направлении рукоятки. Выправляемые предметы нагревают до теплоты руки и подвергают на наковальне действию *быстрых и легких* ударов, наносимых с вогнутой стороны предмета. Это делается потому, что в этом месте как раз находятся наиболее уплотненные части материала, которые раздаются при надлежащем действии молотка, благодаря чему предмет и получает свою правильную форму. Удары нужно направлять таким образом, чтобы ребро молотка приходилось не вкось, а совпало бы при ударе по всей своей длине с поверхностью металла.

Длину ребра нужно выбирать, смотря по кривизне поверхности предмета, не слишком большой, так как иначе молоток при ударе не соприкасается плотно с поверхностью предмета по всей длине своего ребра.

Тонкие узкие предметы, обладающие синим отпуском, напр. клинки и пр., можно выправлять тогда, когда они еще теплы после отпускания. Для этого согнутые предметы выгибают в противоположную сторону, пользуясь, как точками опоры, двумя штифтами, забитыми в верстак на расстоянии около 80 мм. друг от друга.

Dielen советует производить *выправку стали во время отпускания* ее следующим образом: закаленный предмет свинчивают при помощи железной струбчинки с куском железа таким образом, чтобы к последнему была обращена вогнутая часть предмета; затем все это медленно нагревают на углях и, когда поверхность стали начнет принимать желтую окраску, подвинчивают постепенно винт струбчинки, который должен действовать на выпуклую сторону предмета. Когда сталь получит требуемый цвет отпуска, ее охлаждают, поливая холодной водой выпуклую сторону предмета; если после этого ослабить винт, то предмет сохранит выпрямленную форму. Оставшуюся незначительную кривизну можно уничтожить, нагревая вогнутую часть предмета и смачивая затем водой выпуклую.

Едва ли нужно указывать на то, что выправка стали, покоробившейся во время закалки, применяется лишь к сравнительно тонким предметам, каковы, напр., напильники, ножи, клинки, косы и пр. Более компактные предметы не поддаются этой операции и для их исправления остается только повторить снова процесс закалки. Этой вторичной закалке должно предшествовать *отжигание* стали, которое нужно производить, нагревая предметы *очень медленно* на легком огне до красного каления и давая ему затем медленно охладиться на воздухе или в древесно-угольной пыли. Если и после вторичной закалки предмет не приобретет утраченной правильной формы, то делу можно помочь новой ковкой или аппретурой.

Если нагревание закаленной стали ведется недостаточно медленно, то она легко трескается в огне. Если же совсем не производить отжигание, то при вторичной закалке стали весьма вероятно образование трещин и еще большее коробление ее.

79. Охлаждающие, или закаливающие жидкости.

Наиболее употребительной закаливающей жидкостью является *вода*, хотя, впрочем, действие ее нельзя назвать безусловно удовлетворительным, так как образующиеся во время заковки пары препятствуют непосредственному соприкосновению воды со сталью, вследствие чего отдача теплоты происходит не столько путем теплопроводности, сколько лучеиспусканием.

Для того, чтобы до некоторой степени избавиться от этого неудобства, необходимо, во-первых, производить возможно *медленное погружение* предмета, а, во-вторых, не держать его спокойно, а передвигать его в закаливающей жидкости. При выполнении первого условия достигается своевременное удаление паров, образующихся при таком погружении, главным образом, близ поверхности жидкости, при выполнении же второго условия в соприкосновении с закаливаемой поверхностью будут приходиться все новые слои жидкости, чем предотвращается возможность образования вокруг предмета слоя, нагретого более остальной массы жидкости.

Указанные два условия выполняются еще лучше, если производить *закалку в проточной воде*. Тем не менее, однако, нужно прибавить, что как в первом, так и во втором случае не получается совершенно равномерного охлаждения предмета: если передвигать предмет в воде, то быстрее всего охлаждаются те части, которые сталкиваются с водой. Этому одностороннему охлаждению можно противодействовать, беспрепятственно поворачивая предмет в жидкости.

Оба указанных способа неприменимы в случае заковки длинных, легко коробящихся предметов. При заковке таких предметов чаще всего применяется способ, при котором *вода протекает в сосуд снизу под высоким давлением*. Для быстрого отведения пара рекомендуется *способ заковки в струе воды*, падающей с некоторой высоты (*Strahlhärtung*). При этом способе образующиеся пары быстро увлекаются струей, а вода, слегка нагретая вследствие соприкосновения с горячей поверхностью металла, тотчас же заменяется свежей холодной водой. Устройство для производства заковки описанным способом состоит из резервуара с водой, помещенного где-нибудь наверху, из которого вода идет по трубке, снабженной на конце мундштуком соответственной формы.

Видоизменением способа заковки в струе воды является *„закалка стали в водяных брызгах“* (*Spritzhärtung*), которую производят, пропуская воду под давлением через сито. На стр. 141 описан специальный аппарат и применение этого способа для заковки пустотелых стальных предметов. Настоящий способ имеет то преимущество перед предыдущим, что он дает возможность сообщать равномерный закал поверхностям значительного размера, в то время как закалка в струе воды, понятно, может применяться только для небольших предметов.

По *Jarolimex*'у действие подобной заковки тем сильнее, чем в более тонких струйках и чем под большим давлением вытекает вода, при чем весь промежуток между отдельными струйками остается открытым для свободного удаления образующихся паров, чем достигается весьма равномерный закал.

Наибольшая степень закала достигается при применении воды только в таком количестве, при котором все водяные брызги, приходящие в соприкосновение с горячим металлом, обращаются в пар, благодаря чему поглощается очень большое количество тепла.

Само собой понятно, что форма сита, или душа, должна по возможности соответствовать форме и размерам закаливаемого предмета.

Если закалка предмета производится со всех сторон, то его нужно подвергать одновременному действию нескольких душ; если же закаливаемый предмет представляет собою тело вращения, то при заковке его приводят в быстрое вращение.

Другим средством, усиливающим действие заковки в воде, может служить прибавление в ванну различных примесей, вроде *поваренной соли*, *нашатыря*, *азотной* или *серной кислоты* (2—4% по весу), которые увеличивают теплопроводность воды. По той же причине колодезная вода, содержащая в своем составе углекислые соли, обладает большей закаливающей способностью, чем речная вода.

Предметы, закаленные в подкисленной воде, нужно, во избежание их окисления, споласкивать известковой или простой чистой водой.

Напротив, если в целях ослабления закала желательно уменьшить теплопроводность воды, то к ней прибавляют *известкового молока*, *мыла* и т. п. (настоящая мыльная вода совершенно не вызывает закала). Сюда можно отнести также *смоченную угольную мелочь*, в которой иногда производят закалку тонких и плоских стальных предметов. Можно употреблять также и *сырой песок*; быстрота охлаждения зависит здесь от крупности зерен. Самый мелкий песок дает наилучший закал. Если к воде прибавить *гуммиарабик* или *декстрину* или же *спирту*, то ее закаливающая способность понижается в большей или меньшей степени в зависимости от количества прибавленного вещества и может даже совсем исчезнуть. Также и ручьевая вода, замутившаяся от предшествовавших дождей, дает более слабый закал.

Из других охлаждающих веществ, дающих сравнительно с водой менее интенсивный закал, нужно указать на *масло* и *жиры*, при чем *сало* дает несколько более сильный и глубокий закал, чем масло. Можно применять также и полужидкую смесь, составленную из сала и масла. Вместо этих двух веществ употребляют часто *рыбий жир*, который хотя и дешевле, но зато очень легко испаряется и горит.

В качестве закалывающей жидкости можно пользоваться также *ртутью*, которая имеет то преимущество, что она, вследствие своей значительной теплопроводности, дает возможность производить весьма быстрое охлаждение предмета. Кроме того, по крайней мере при закалке мелких предметов, ртуть не дает паров, нарушающих непосредственное соприкосновение между предметом и ртутью, благодаря чему достигается весьма равномерное охлаждение.

Впрочем, при закалке предметов значительных размеров происходит довольно обильное отделение паров ртути; поэтому необходимо принять все предосторожности против вдыхания их.

Более широкому применению ртути для указанной цели препятствует ее высокая стоимость, которая особенно заметна потому, что вследствие незначительной удельной теплоты ртути (которая равна 0,033, если принять уд. тепл. воды=1) необходимо брать тридцатикратное весовое количество ее по сравнению с водой, так как только при таком количестве ртуть в одинаковой степени с водою удовлетворяет тому условию правильной закалки, которое требует, чтобы температура закалывающей жидкости не менялась заметно во время хода операции.

Так как теплопроводность ртути весьма велика и так как, кроме того, ртуть можно употреблять в качестве закалывающей жидкости также при температурах ниже 0°, то она особенно пригодна для получения очень высоких степеней закала.

При употреблении масла, жира и ртути производят искусственное охлаждение их во время операции закалки, омывая сосуд, содержащий их, холодной водою.

В качестве охлаждающего средства при закалке можно употреблять также и *воздух*, пропуская его сильной струей по поверхности накаливаемого предмета или же быстро махая в воздухе самим предметом. Так, напр., дамасские клинки подвергают закалке в сильной струе холодного воздуха, пропускаемого через длинную узкую щель, или же их закрепляют на колесе, которое приводит в быстрое вращение.

Для полноты описания укажем еще на некоторые металлы, нагретые до точки плавления, которые также можно употреблять для закалки, таковы, напр., *олово* (230° Ц.), *свинец* (330° Ц.) и *цинк* (400° Ц.).

Если за единицу сравнения принять ту степень закала, которая получается при охлаждении стали в воде при 20° Ц. (наиболее употребительный случай), то все остальные вещества можно разделить на две категории, из которых к первой нужно отнести вещества, дающие более слабый, а ко второй—вещества, дающие более сильный закал. Более слабо действующими средствами являются вода с примесью дурных проводников тепла, далее масла, жиры, сплавленный с последними воск, смола и т. д. Сильнее действуют вода при температуре ниже 20° Ц., соленая и подкисленная вода и ртуть, особенно при очень низких температурах.

От режущих инструментов требуется прежде всего *большая твердость лезвия*. Это является первым условием, которое ставится при оценке пригодности инструмента. Хотя указанное требование выполняется при употреблении всех жидкостей дающих более сильный закал, чем вода при 20° Ц., тем не менее, здесь необходимо принимать во внимание еще одно обстоятельство, именно, *образование трещин при закалке*.

Нам известно, насколько трудно достичь вполне равномерного нагревания предметов значительного объема или сложной формы. Если же нагревание происходило неравномерно, то появившиеся вследствие этого в закаленной стали неодинаковые напряжения выражаются тем резче, чем энергичнее велась закалка, так как последняя влечет за собой сильное изменение объема.

Этим обстоятельством объясняется также и то, что при закалке стали в воде ниже 20° Ц, а еще более в подкисленной воде, трещины образуются легче, чем при закалке в масле или сале. В этом отношении последним двум веществам нужно отдать предпочтение, тем более, что при закалке в них сталь не *так легко коробится*.

Кроме коробления и образования трещин при закалке не нужно забывать также и того, что чем интенсивнее ведется эта операция, тем *хрупче* получается сталь, и потому два стальных предмета, закаленные в различной степени, будучи после отпущены хотя и до одного цвета, тем не менее обнаруживают при употреблении различную степень хрупкости.

Поэтому весьма часто при изготовлении инструментов высокой степени твердости предпочитают выбирать для них *более твердый сорт стали*, применяя при этом *закалку в масле*, вместо того, чтобы делать их из стали средней твердости, но закалывать в воде или даже в какой-нибудь другой жидкости, действующей более энергично, чем вода при 20° Ц.

Углеродистая сталь фабрикуется с содержанием углерода не более 1,5%, так как материал с более высоким содержанием углерода не только весьма хрупок, но кроме того с большим трудом поддается обработке в огне и закалке.

В тех случаях, когда средний закал стали оказывается недостаточным, когда изготовляемому инструменту наряду с чрезвычайной твердостью требуется сообщить также и значительную вязкость и когда, наконец, закаливаемый предмет об'емист или вследствие своей сложной формы представляет особые затруднения для равномерного нагревания его и может поэтому при употреблении очень твердой стали легко дать трещины при закалке, часто употребляют вязкую сталь средней твердости и подвергают ее операции *поверхностной закалки* (см. стр. 105).

Такие случаи, в которых оказывается недостаточною та степень твердости, которую обладает очень твердая сталь при нормальном закале, или сталь средней натуральной твердости при поверхностной закалке, встречаются в практике сравнительно редко, и поэтому необходимо прибегать к закаливающим жидкостям, действующим особенно энергично, являясь исключением. Таким образом закалка стали в подкисленной воде ниже 20° Ц. или в ртути ниже той же температуры практикуется только лишь при изготовлении особых видов очень тонких режущих инструментов, которые в работе испытывают спокойную нагрузку; для всех же остальных наиболее употребительных кузнечных и слесарных инструментов, в которых закал сообщается только одному лезвию, самой подходящей закаливающей жидкостью является вода.

Более сложные, ломкие и об'емистые стальные предметы, особенно такие, которые получают закал не в отдельных местах, а по всей своей поверхности, далее предметы из весьма твердой стали, даже если они об'емисты и простой формы, получают, обыкновенно, закалку в масле или сале, в известковой воде или какой-нибудь другой подобной жидкости, действующей менее интенсивно, чем вода при 20° Ц., или же можно рекомендовать также для указанных случаев *способ двойного охлаждения*, состоящего из первоначальной закалки в воде и следующего тотчас же за этим дальнейшего, окончательного охлаждения в масле.

Приспособление для быстрого охлаждения пустотелых стальных предметов.

Приемы, применяемые при закалке этого рода предметов, были уже рассмотрены нами на стр. 130. Опишем здесь еще специально сконструированный для этой цели аппарат, патентованный *W. Lorenz*ом в *Karlsruhe*.

Аппарат в общих чертах состоит в следующем. Вертикальная труба, по которой происходит приток закаливающей жидкости, снабжена коническим клапаном, регулируемым при помощи винта и оканчивается внизу мундштуком, прикрепленным к ней посредством муфты. Этот мундштук должен в точности соответствовать закаливаемому предмету и давать с верхним его отверстием плотное соединение, которое достигается посредством специально устроенного для этой цели утолщенного наконечника мундштука. Нижняя часть аппарата состоит из трубы, через которую производят спуск отработавшей жидкости. Эта труба снабжена в верхней своей части фланцем, служащим подставкой для закаливаемого предмета. Нижним же своим концом эта труба опирается на рычаг, который при помощи специальной пружины все время нажимается вверх и прижимает таким образом фланец нижней трубы к мундштуку.

Чтобы произвести закалку предмета *только изнутри*, отжимают несколько пружину вниз и помещают предмет между фланцем и мундштуком. Пропуская затем воду через аппарат, производят закалку внутренней поверхности предмета. Само собой понятно при этом, что струя воды должна иметь толщину, как раз равную внутреннему отверстию предмета; если же струя слишком тонка, то необходимо несколько задержать вытекание жидкости для того, чтобы последняя могла заполнить все внутреннее пространство предмета.

Если нужно произвести закалку пустотелого предмета *сначала изнутри, а потом снаружи*, то вместо фланца помещают на отводящей трубе чугунный сосуд, верхний край которого доходит до верхнего края закаливаемого предмета. На дно этого сосуда ставят тонкий треножник, а на этот последний вертикально закаливаемый предмет. При таком расположении закаливающая жидкость, выходя из мундштука, смачивает сначала внутреннюю стенку предмета и затем, пройдя внизу его, поднимается вверх в кольцевом пространстве между стенками сосуда и наружной поверхностью предмета, после чего переливается, наконец, через края сосуда. Для того, чтобы струю закаливающей жидкости направлять плотно по внутренним стенкам предмета, мундштук снабжен центральным шпинделем, окачивающимся конусом, дающим струе желаемое направление. Этот конус выступает из отверстия мундштука и образует таким образом с его стенками кольцеобразное отверстие, которое можно регулировать по желанию, выдвигая шпиндель на большую или меньшую величину.

Если необходимо произвести *одновременную закалку пустотелого предмета как изнутри, так и снаружи*, то применяют особую составную коробку, которую можно представить себе, предполагая, что на вышеописанный чугунный сосуд навинчена сверху или при помощи муфты коротенькая трубка, с которой приходит в соприко-

сновение мундштука подводящей трубы. Таким образом здесь получается закрытое со всех сторон пространство, внутри которого находится открытый со всех сторон закаливаемый предмет. Жидкость направляется при помощи распределительного конуса одновременно как на внешнюю, так и на внутреннюю поверхность предмета. Вытекание же ее происходит через боковые отверстия, сделанные в стенках коробки между верхней и нижней его частью¹⁾. Оба последние способа практикуются Lorenz²⁾ для закалки пустотелых инструментов, служащих для выделки металлических гильз ружейных патронов.

80. Исследование причин неудач при закалке.

Неудачи, возникающие при закалке стали, могут зависеть как от самого материала, так и от неправильной его обработки.

В параграфе об испытании стали будут приведены признаки, характеризующие собою *недоброкачество материала*. Эти признаки могут давать надлежащие указания, понятно, в том только случае, когда самая операция закалки велась вполне правильно. Это замечание относится также и к испытанию уже готовых закаленных инструментов. Поэтому, чтобы дать возможность выработать правильное суждение в этом отношении, нужно рассмотреть сначала те признаки, которыми характеризуется *неправильная обработка закаливаемой стали*.

Одним из главнейших затруднений, имеющих место при закалке стали, является, как известно, требование *равномерного нагревания* материала до *определенной*, не слишком высокой температуры. Так как выполнение этого требования представляет собой наибольшие затруднения, то, понятно, в этом пункте грешат наиболее часто. В самом деле, здесь даже и самый искусный рабочий не гарантирован от ошибок, так как в данном случае успешность производимой операции может зависеть от самых разнообразных, на первый взгляд совершенно незначительных и мало заметных, побочных обстоятельств, как, напр., переменное освещение мастерской, которое имело влияние на более или менее правильную оценку на глаз световых явлений и т. под.

Из предыдущего нам известно, что *различными температурами закалки стали соответствуют также и различные, характерные виды изломов ее*. Это обстоятельство дает нам возможность судить о большей или меньшей правильности ведения процесса закалки стали.

Пережженная закаленная сталь имеет грубокристаллический излом блестяще-белого цвета и сравнительно очень тверда.

Если сталь была пережжена еще при отковке, то поверхность ее бывает покрыта большим или меньшим количеством небольших продольных и поперечных трещин (трещины на ребрах). Если сталь после этого была подвергнута новой проковке и закалке при правильной температуре, то, хотя излом ее и имеет до известной степени нормальный вид, тем не менее присутствие трещин указывает на произведенное при обработке стали пережигание ее.

Перегретая, закаленная сталь обладает грубокристаллическим изломом блестяще-белого цвета приблизительно нормальной твердости.

Если при испытании закаленной стали она оказывается перегретой, то нужно заключить, что перегревание ее произошло в период нагревания для закалки, так как сталь, перегретая при ее отковке, вновь получает мелкозернистое строение, если закалку ее производить при *правильной температуре*.

Следовательно, перегревание материала при отковке можно обнаружить, только путем испытания еще незакаленной стали.

Перетомленная, закаленная сталь грубокристаллична, по виду излома похожа на незакаленную сталь и сравнительно мягка.

Сталь *правильно закаленная* не обнаруживает собственно зернистого строения и обладает *тонким, бархатистым матовым изломом*.

Таким образом, если изготовляемый предмет даст трещину при закалке и если причина этой неудачи не вполне ясна, то *необходимо разломать уже без того пришедший в негодность инструмент и тщательно исследовать свежий излом его*. Разбивание предмета нужно производить таким образом, чтобы, во-первых, в излом попадали наиболее тонкие части, обладавшие во время закалки наивысшей температурой, а во-вторых, чтобы были видны также и изломы таких частей, которые должны были получить одинаковый закал и чтобы, следовательно, можно было произвести сравнение их между собою. Так, напр., у токарного резца нужно отломить острие, у ручного зубила—оба угла лезвия, у фрезы—несколько зубьев, и, кроме того, сломать всю фрезу на две части по диаметру.

¹⁾ Предлагаемого описания достаточно для того, чтобы получить приблизительное представление об устройстве для закалки пустотелых стальных предметов. Подробный чертеж и более точное описание можно найти в Dingler's Polytechnisches Journal, I. Februar. heft 1880.

Если строгальный резец, ручное или кузнечное зубило, или зубило, употребляемое для насечки напильников, дает *подковообразную трещину*, обращенную своею выпуклостью в сторону лезвия, то это указывает на то, что материал был *перегрет в масле*, и что закал лезвия был *слишком резко ограничен*.

Если разбить лезвие инструмента, то вид его излома подтверждает вышесказанное.

В молотках для тески камня, испытанных перегревом, лезвие часто ломается в том месте, где тонкая часть его переходит в более компактную, при чем поверхность раздела имеет раковистый вид. В исключительных случаях все лезвие отскакивает от остальной части инструмента в виде кольца. В предметах кубической формы, обладающих острыми ребрами (напр., в некоторых штампах для выковки фигурных углублений), от остальной более компактной части отделяются по сферической поверхности острые углы, испытанные перегревом.

В предметах значительных размеров, закаленных при правильной температуре, закал несколько ослабевает по мере приближения к центру, следствием чего и является несколько более грубое строение центральной части. Подобные компактные предметы должны обладать по всему наружному краю излома совершенно одинаковым строением, закал их должен везде проникать *на одинаковую глубину* и, следовательно более твердая корка, характеризующаяся более мелкозернистым строением, должна во всех точках предмета иметь *одинаковую толщину*.

Если сталь подвергалась *слишком продолжительному и слишком сильному нагреванию*, то она часто не осыпается вполне и на ее поверхности остаются окарины. Часто случается, что частично закаленные предметы обладают в местах закала совершенно чистою поверхностью, но соседние незакаленные части металла покрыты толстым слоем окарины. Это обстоятельство служит верным доказательством того, что сталь была подвергнута *слишком продолжительному и слишком сильному нагреванию*.

Из исследования излома стали, испытанной *слишком быстрым нагреванием*, нужно заключить, что в тот сравнительно короткий промежуток времени, в течение которого сталь подвергалась действию сравнительно высокой температуры, более тонкие части предмета успевают нагреться *до высшей температуры и на большую глубину*, нежели более толстые части.

Если совершенно однородный материал *коробится* при закалке, то это происходит или потому, что нагревание велось неравномерно, или погружение раскаленного предмета в закаливающую ванну происходило не по правилу, или же, наконец, потому, что в самом предмете имелись внутренние напряжения, которые не были уничтожены предшествовавшим отжиганием и медленным затем охлаждением. Кроме того, как известно, закалка в воде более способствует короблению, чем закалка в масле или масле.

Таким образом часто причину неудач при закалке нужно искать *в неправильном выборе применяемой закаливательной жидкости*. Часто оказывается достаточным произвести закалку предмета вместо воды в масле для того, чтобы не только устранить все затруднения, возникающие при этой операции, но и получить хороший и долговечный инструмент, вполне годный для практического употребления.

Если желательно определить, *в какой жидкости была произведена закалка* инструмента, в воде, в масле или в масле, то это легко определить, расцепив сталь вдоль имеющейся трещины. Если закалка производилась в воде, то на поверхности трещины всегда останется некоторое количество ржавчины. Если является сомнение в том, получилась ли данная трещина *при закалке инструмента*, или же она представляет собой *продольную трещину*, образовавшуюся еще при фабрикации материала, то для решения этого вопроса, необходимо также исследовать внутренний вид трещины: если трещина образовалась при закалке, ее поверхность раздела светлого цвета и обнаруживает зернистое строение материала; если же трещина получилась при фабрикации стали, то она имеет гладкие, черные стенки. Эта окраска зависит от тонкого слоя окарины, образовавшегося на поверхностях раздела при нагревании стали. Кроме того, трещины последнего рода всегда направлены почти совершенно параллельно продольной оси полосы, что объясняется самым образованием таких трещин, которые представляют собою не что иное, как растянутую при прокатке стали раковину, имеющуюся в необработанном слитке. Хотя трещины, образующиеся при закалке, тоже могут идти параллельно продольной оси полосы, тем не менее они могут иметь и всякое другое направление.

Что касается *внешней формы инструмента*, то необходимо придерживаться следующего правила, чрезвычайно важного в смысле устранения затруднений при закалке: при изготовлении стальных предметов не нужно делать без нужды острых выдающихся ребер и резких углублений. Резкие углубления необходимо заменять по возможности плавными, а вместо острых, выдающихся ребер нужно делать закругления, так что вообще везде, где это только можно, нужно избегать резких переходов от более тонких частей к более толстым и стараться делать их по возможности плавными. Так, напр., в метчиках продольные бороздки нужно делать в виде полукруглых желобков; в штемпелях, получающих обыкновенно форму двух поставленных друг на

друга цилиндров, из которых нижний, имеющий внизу рабочую поверхность, имеет больший диаметр, а верхний, помещаемый в патрон машины,—меньший, нужно верхнее ребро большего цилиндра закруглять и соединение его с меньшим цилиндром также выполнять при помощи закругления.

При окончательной отделке закаленных инструментов, в особенности таких, которые изготовлены из твердой стали, *необходимо избегать всяких сильных ударов*, как, напр., накернивание, обрубание зубилом и т. п., так как подобная обработка увеличивает опасность образования трещин.

Дальнейшим, весьма существенным источником неудач при закалке является *неправильный выбор степени твердости* обрабатываемого материала, что влечет за собой *неудачи при употреблении готового инструмента*, которые дают себя чувствовать уже после счастливо оконченной операции закалки.

Сюда же нужно отнести *дурную ковку* таких инструментов, как зубила, токарные и строгальные резцы. Если из куска квадратной или плоской стальной полосы выковывают на одном конце его острие или лезвие, то не все части поперечного сечения полосы деформируются одинаково при обработке; середина всегда отстает в этом отношении от наружных слоев, вследствие чего внутри материала образуется небольшая пустота. Если эта пустота не будет уничтожена, а останется в готовом инструменте, то, понятно, она повлечет за собою поломку его при употреблении.

В других случаях причина выкрашивания лезвия лежит часто в *недостаточном отпуске* инструмента. Так напр., если кузнечное зубило, предназначенное для работы в холодном состоянии, выкрашивается при фиолетовом цвете отпуска, то весьма возможно, что при темно-синем цвете оно будет вполне прочно, в чем нужно убедиться, произведя вторичную закалку инструмента.

Впрочем, и *слишком мягкое зубило* может выкрашиваться, если его лезвие затупилось вследствие смятия материала дальше известного предела.

Слишком быстрое затупление режущих инструментов может происходить, как от *смятия* слишком мягкого, так и от *выкрашивания* слишком твердого и хрупкого лезвия. В инструментах, работающих довольно спокойно и без ударов, как, напр., в фрезях, это выкрашивание лезвия может происходить такими мелкими кусочками, что его можно рассмотреть только при весьма внимательном исследовании, при чем весьма легко впасть в заблуждение и принять это явление за слишком быстрое изнашивание инструмента, вызванное *недостаточной степенью твердости* материала, в то время как на самом деле оно произошло как раз наоборот, от *чрезмерной твердости* его, которую нужно ослабить путем более сильного отпуска инструмента.

При изготовлении сложных предметов, подвергаемых при ковке многократному нагреванию, *не нужно придавать им слишком малых размеров*. Непосредственно под слоем окалины здесь находятся более или менее обезуглероженные части металла, которые, в случае, если окончательная отделка была недостаточна совершенной, оказываются после закалки или при практическом употреблении более мягкими.

После сделанных замечаний о причинах неудач, имеющих место как при закалке так и при практическом употреблении стали, остается только указать на то, что при внимательном исследовании каждого данного инструмента, нетрудно будет указать тот путь, по которому шла операция его закалки, и обнаружить все сделанные при этом неправильности и ошибки.

Указанные факты далеко не новы; но не ново также и то, что далеко не во всех мастерских, в которых производится закалка стали, принимают их во внимание.

Во всяком случае, везде, где рабочие, которым вверено производство этой операции, относятся сознательно к своей работе, *отдавая себе при каждой неудаче отчет в ее причинах*, везде в таких мастерских искусство закаливания стали будет непрерывно прогрессировать и достигать все большего и большего совершенства.

81. Восстановление стали, испорченной в огне.

Как известно, испорченная сталь бывает *перегретой, пережженной и перетомленной*, но в действительности, нельзя провести резкой границы между каждым из этих видов испорченной стали. Последняя может быть испорчена в весьма различной степени, вследствие чего успешность попыток к исправлению ее также бывает различна.

Восстановление перегретой стали производят, или *перековывая* или же *закливая* ее *вторично при правильной температуре*. Тем не менее, материал сохраняет при этом несколько более грубое строение, чем первоначально, и если степень перегрева была весьма велика, то сталь уже больше не получает вновь своих утраченных хороших качеств.

Действие подобной обработки состоит в разрушении грубокристаллической структуры, являющейся причиной хрупкости стали. В этом отношении влияние операции закалки аналогично влияниюковки металла, так как при закалке происходит сильное давление наружных слоев на внутренние.

При восстановлении перегретой стали можно нормальную закалку ее в холодной воде заменять *повторным нагреванием до красного каления и погружением предмета в кипящую воду*. При этом опытами Malberg'a ¹⁾ было установлено, что наиболее энергичное влияние оказывают первое нагревание и первое погружение в кипящую воду; действие же всех последующих нагреваний постепенно ослабевает, так что для восстановления перегретой стали оказывается достаточным трехкратное повторение этой операции. Упомянутые опыты показали также, что вода, как таковая, не оказывает никакого влияния на эффект операции восстановления испорченной стали и что он зависит только от температур, которыми обладают сталь и закаливающая жидкость в момент погружения. Отсюда следует, что для данной цели можно вместо воды употреблять также и другие указанные выше закаливающие жидкости, при чем во всех случаях результаты операции восстановления испорченного материала будут подобны, *если эти жидкости будут нагреты до температуры кипения воды или если они сами по себе являются дурными проводниками тепла* ²⁾.

Сделанное замечание важно также еще и потому, что в продаже все еще встречаются различные патентованные средства и составы, которые если и оказывают какое-нибудь действие, то это происходит во всяком случае не вследствие их состава, часто совершенно случайного. Даже если по своему составу подобное средство и могло бы произвести на сталь химическое действие, то последнее не произойдет уже потому, что при простом охлаждении испорченного материала в данном составе не имеется налицо необходимых условий, требуемых для хода химической реакции. Впрочем, при восстановлении перегретой стали всякое химическое действие является совершенно излишним, так как здесь вещество испорченной стали пострадало только в механическом смысле, не испытавши ни малейшего химического изменения.

Выбор того или другого способа восстановления зависит в каждом отдельном случае от специальных условий. Так, напр., в фасонной или фигурной вещи нет расчета восстанавливать утраченные свойства материала при помощи перековки, тогда как, напротив, простой нефигурный предмет опасно подвергать вторичной закалке, так как при этом он легко может дать трещины вследствие новых внутренних напряжений, появляющихся при этой операции.

Сущность регенерации перетомленной стали состоит в том, что при помощи поверхностного закаливания сообщают испорченному материалу углерод и посредством механической обработки разрушают кристаллическое строение. Если в перетомленной стали найдутся окислы кремния, марганца, хрома, вольфрама и др., то восстановить их при помощи подобной обработки невозможно.

Для производства операции восстановления можно пользоваться упомянутыми выше цементирующими составами.

Приемы регенерации перетомленной стали в общем такие же, как и те, которые принимаются при производстве поверхностного закаливания. Различие состоит только в том, что восстанавливаемую сталь после посыпания при темно-красном калении цементирующим порошком или обмазывания в холодном состоянии каким-нибудь другим калильным составом, после высушивания и нагревания затем до вишнево-красного каления не погружают прямо в воду, как обыкновенно, но *предварительно подвергают обработке молотом до тех пор, пока поверхность предмета не потемнеет*.

Регенерация перетомленной стали никогда не может привести к полному восстановлению утраченных свойств и материалу уже никогда не возвращается вполне его прежняя крепость и упругость. В еще большей степени это замечание относится к *пережженной* стали и, если последняя явно пережжена, то все попытки к ее восстановлению напрасны: такой материал негоден для употребления. Если же сталь *только пережета*, то при помощи вышесказанных способов регенерации можно немного исправить испорченный материал. Мнение о том, что некоторые патентованные средства обладают несомненно способностью восстанавливать свойство пережженной стали, является заблуждением, которое возникло вследствие смешения понятий «*пережженная*» и «*перегретая*» сталь.

82. Самозакаливающая сталь. Сплавы углеродистой стали с небольшими количествами вольфрама, хрома и марганца приобретают громадную твердость, которая не исчезает даже и после термической обработки, подобной отжигу, благодаря чему такие сорта стали могут употребляться для изготовления резцов, не требуя совершенно закала, который совершенно не изменяет их твердости, вследствие чего такой стали и присвоено на-

¹⁾ Dinglers Polyt Journal 1853. 1428.

²⁾ Хорошее восстанавливающее средство второго рода можно получить, расплавляя 3 весовых части канифоли и прибавляя к ним при медленном помешивании 2 весовых части вареного льняного масла, при чем получается коричневая полужидкая масса.

звание *самозакаливающейся*. Впервые на такой сплав был взят патент Робертом Мошетом в Англии.

83. **Сталь Мошет.** Между 1860 и 1870 г. *Роберт Мошет*, директор английского металлургического завода The Titanic Steel Company—открыл, что если к стали прибавить значительное количество вольфрама и марганца, то сталь приобретает особые свойства, а именно, будучи нагрета до высоких температур, а затем охлаждена на воздухе, сталь получает такой же закал, как и углеродистая сталь при охлаждении в воде; кроме того сталь Мошет мало теряла закал при нагревании. Вследствие таких свойств, этой стали присвоили название *самозакаливающейся*, или *самокала*. Состав стали Мошет по анализам Тайлора таков:

Вольфрама	5,441%	Хрома	0,398%
Марганца	1,578%	Углерода	0,150%
Кремния	1,044%	Железа	остальное

По опытам Тайлора применение стали Мошет дало возможность повысить скорость резания твердых металлов на 45%, а скорость резания мягкой стали на 90%.

Сталь Мошет быстро вошла в употребление, хотя впервые ее совершенно неправильно применяли только для резания очень твердых металлов, на самом деле, как показали опыты Тайлора, применение для резания мягких металлов еще выгоднее.

После 1885 года многие сталезаводчики начали выделять имитации стали Мошет, изменяя ее состав, и еще более повысили режущие качества стали.

84. **Быстро-режущая сталь.** В 1900 г. на Всемирной Парижской Выставке были продемонстрированы резцы Тайлор-Уайта, которые резали сталь с громадными скоростями, при чем сами, будучи раскалены докрасна, не утрачивали своей режущей способности. Как потом оказалось, такой эффект получался не от применения какой-либо особой стали, а лишь от особого термического способа обработки существовавшей в то время уже самозакаливающейся стали, открытого *Тайлором и Уайтом*. Эти два экспериментатора открыли, что если самозакаливающаяся сталь нагреть до возможно высоких температур, так что сталь начнет плавиться, то, вопреки существовавшему тогда мнению, сталь при этом не только не портится, а, наоборот, приобретает замечательное свойство: *сохранять особую твердость и стойкость при нагреве до красного каления*, хотя в холодном состоянии такая сталь сравнительно мягка и ее можно пилить подпилком из углеродистой стали.

Со времени введения способа Тайлор-Уайта, обработанной таким способом, самозакаливающейся стали присвоили название *быстрорежущей стали*. Благодаря своему отличительному свойству—*твердости при красном калении*, быстрорежущая сталь позволила увеличить во много раз скорости резания и размеры снимаемых стружек и вошла теперь во всеобщее употребление, так что для грубой обработки изделий резцы не из быстрорежущей стали можно встретить лишь на отсталых заводах.

В настоящее время существуют очень много сортов стали, вполне пригодных для приготовления быстрорежущих резцов. Состав этих сталей колеблется в очень широких пределах. Тайлор приводит, как одной из лучших современных быстрорежущих сталей, следующий состав:

Вольфма	18,91%	Марганца	0,11%
Хрома	5,47%	Ванадия	0,29%
Углерода	0,67%	Кремния	0,043
остальное желazo.			

О термической обработке быстрорежущей стали по способу Тайлор-Уайто см. часть IV Техн. Метал., стр. 19 и дальше.

85. Теория, объясняющая свойства быстрорежущей стали.

Если в железе присутствует марганец, хром, вольфрам, молибден, тогда температура для критических точек понижается и, до известного предела, понижается тем больше, чем больше содержания этих веществ, так что при обыкновенных температурах сталь состоит из мартенсита (очень твердого, но хрупкого), следовательно является очень твердой без всякого закала. *Сталь оказывается самозакаливающейся.* Если идти еще дальше, повышая содержание указанных элементов, то железо принимает видоизменения γ или аустенита (менее твердого и вязкого).

Но не все вышепоименованные элементы действуют одинаково: указанным образом действуют лишь хром и марганец. Хром понижает критические точки лишь в присутствии углерода; но если хрома будет прибавлено слишком много, то он не переводит железо в разновидность γ , а по заявлению Гиллье, образует хрупкий карбид железа и хрома.

Если сталь будет нагрета выше 1200° Ц., то при этом карбид распадается и свободные хром и углерод переводят железо в состояние γ , остающееся таковым и при низких температурах.

Вольфрам и молибден тоже образуют двойные карбидные соединения, не с той разницей, что такие соединения образуются при всяком содержании этих веществ, даже и при самых незначительных, сообщая мягкость и хрупкость. При высоких температурах тоже происходит распадаение карбидного соединения и железо обращается в разновидность γ и остается таковым и при низких температурах;— таким образом сталь превращается в самозакаливающуюся.

Если на ряду с вольфрамом и молибденом находятся марганец или хром, то эти примеси разрушают карбидное соединение вольфрама и молибдена и последние, освободившись, оказывают содействие другим примесям в понижении критических точек и без предварительного повышения температур. Указав на этот факт, д-р Гиллье тем самым указал, что явление закала в самозакаливающихся сталях, приписываемое раньше вольфраму было не верно, так как на самом деле главными факторами в этом явлении были марганец и хром.

Примесь ванадия тоже образует двойное карбидное соединение, но это соединение не может быть разрушено, и ванадий поэтому не обращает железа в самозакаливающуюся сталь.

Весьма важным обстоятельством является то, что твердость, приобретенная железом, при сплавлении его с некоторыми другими металлами, оказывается более прочной, в смысле температурных воздействий, и такая сталь не так легко отпускается, как сталь углеродистая. Нужно ли это затруднение в отпуске приписывать влиянию сплавленных металлов или чему-либо другому точно не установлено.

Таким образом при выборе примеси для приготовления самозакаливающейся стали нужно выбирать такую, которая не была бы дорога и не образовывала двойных карбидов, для разложения которых и то не вполне необходима очень высокая температура. Из таких примесей на первый план выступает марганец. Прибавлять его нужно столько, чтобы получить возможно большую твердость в горячем состоянии, т.е. перевести железо по крайней мере в состояние γ . Нужно заметить, что присутствие углерода значительно усиливает воздействие марганца, а потому нужно выбирать возможно углеродистую сталь, не опасаясь при этом получить сталь хрупкую, так как марганцем железо будет переведено в состояние γ , обладающее значительной вязкостью. Но при этом все-таки нужно быть осторожным, так как по исследованиям Гиллье, сильно углеродистая сталь переходит легче в состояние мартенсита, хотя очень твердого, но в тоже время и хрупкого.

Сравнивая две примеси хром и вольфрам, нужно признать более действительной в смысле получения прочно сохраняемой без отпуска твердости, хром, так как по испытаниям Гиллье (журнал Стали и Железа 125—2-ой том, 1906) вольфрам дает менее твердую быстрорежущую сталь при высоких температурах, чем хром. Это становится особенно заметным при больших содержаниях вольфрама;—повидимому, при этом не происходит полного разложения двойных карбидных соединений, которые и обуславливают большую хрупкость.

Для хрома дело обстоит иначе;—при хrome, согласно с исследованиями Гиллье, не образуется совсем карбидных двойных соединений, пока содержание хрома не превышает 10% в 0,80% углеродистой стали или 15% в 0,20 углеродистой стали в то время, когда при вольфраме образование двойных карбидов вполне наступает при содержании вольфрама 4,5%.

Такое преимущественное значение хрома перед вольфрамом для быстрорежущей стали, подтверждается и опытами Тайлора. Так он нашел, что резы состава: углерода 0,70%, хрома 3% и вольфрама 19% дали скорость резания 60; увеличение вольфрама в этой стали понижало скорость резания, тогда как повышение содержания хрома до 5,50% повысило скорость резания до 99, отсутствие же хрома делало сталь совершенно непригодной для большой скорости резания.

И тем не менее вольфрам всегда входит в состав таких сталей. Гиллье объясняет это тем, что один хром дает сталь слишком твердую и хрупкую, так что из нее трудно приготовить ковкие резцы; если же брать хрома слишком много, то железо переходит в γ , которое уже слишком мягко для быстрого резания.

Проф. Карпентер считает присутствие вольфрама необходимым, как элемента понижающего критическая точка, действие же хрома он сводит к тому, что последний разлагает образовавшиеся двойные карбиды вольфрама; и таким образом способствует получению самозакалка, сам же хром сообщить самозакалка не может.

Как бы ни было велико содержание вольфрама, он не делает сталь самозакаливающейся, но если на ряду с ним присутствует хром или марганец, то они совместно сообщают стали это свойство.

Таким образом существует известное противоречие и несогласие между авторитетами относительно влияния, оказываемого различными примесями. Повидимому, должен существовать какой-то иной фактор, действие которого столь энергично, что оно заслоняет собой воздействие других химических факторов. Таким фактором является термическая обработка. Если сталь надлежащего состава, дает хорошие результаты и наоборот, то происходит это оттого, что сталь была нагрета до столь высокой температуры, что все двойные карбидные соединения, которые связывали действие таких примесей, как углерод и вольфрам, были разрушены.

Относительно присутствия углерода мнения тоже расходятся. Тайлор большое содержание углерода в стали не считает необходимым условием, для получения большой скорости резания. Гиллье, наоборот, придает содержанию углерода большое значение.

На чем не сходятся и практика и теория, это на том, что быстрорежущая сталь должна представлять из себя разновидность γ , хотя при этом и жертвуется некоторая доля твердости, но зато приобретает большая вязкость. На этом сильно настаивает Тайлор и, вероятно, ему будут следовать и другие сталезаводчики, которые еще этого не признали.

Таким образом в практике мы встречаемся с составом быстрорежущей стали, который вообще противоречит теоретическим воззрениям на этот предмет. Вместо стали с высоким содержанием вольфрама и низким содержанием углерода, теоретик должен был бы ее приготовить с высоким содержанием углерода, вольфрама же совсем не допускать в ее состав, имея в виду его способность образовать двойные карбидные соединения. Что касается до хрома, то по отношению к нему существует два мнения. Хотя он не образует двойных карбидных соединений, при содержании меньше 10% в 0,80% углеродистой стали, но сразу понижая критическую точку, он переводит сталь в мартенсит, и делает ее столь твердой, что она не поддается обработке, в то время, как сталь с вольфрамом образует двойные карбидные соединения мягкие, и сталь легко куется. Если мы будем прибавлять хрома (до 18% в 0,80% углеродистой стали) железо тоже перейдет вполне в двойное карбидное соединение и будет коваться также легко, как и вольфрамовая сталь, но после того, как эти двойные карбиды будут разрушены при нагреве до 1200 гр. высокое содержание хрома переведет сталь в состояние γ , слишком мягкое для быстрорежущей стали. Последнее обстоятельство вполне отрицается Тайлором, который утверждает, что сталь γ вполне отвечает требованиям быстрорежущей стали. Если Тайлор на ряду с хромом требует в стали присутствия вольфрама, то только потому, что самозакалка он приписывает не вольфраму или хрому, а их взаимному действию.

Это мнение опровергается работами Гиллье, который, в свою очередь, присутствие вольфрама считает необходимым в виду того, что сталь γ , по его мнению, непригодна для быстрорежущей стали. Для некоторых целей, пожалуй, вольфрамовая сталь является наилучшей, но вообще она не может быть признана таковой, если доверять таблице Гиллье, приведенной на стр. 125 и 126 журнала *Сталь и Железо*, том 2-й, 1906.

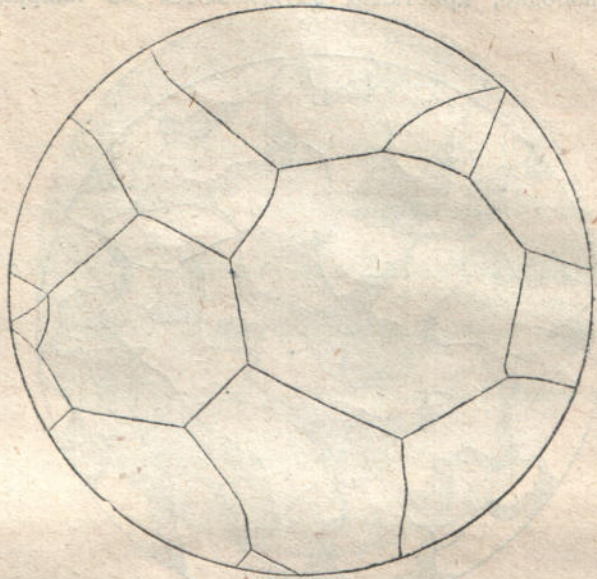
86. Микроструктура железа и стали. Чистое железо. Совершенно чистого железа на рынке не встречается, но в шведском и ланкаширском железе, анализы которых показывают содержание железа до 99,8%, можно наблюдать группы почти правильных кристаллов феррита. Они ясно выделяются своими хорошо очерченными ребрами и углами, и даже после продолжительного действия на них кислот, употребляемым при вытравке шлифов, грани кристаллов остаются блестящие и гладкие;—кислоты же проникают лишь между плоскостями сращения кристаллов. На фиг. 30 ¹⁾

¹⁾ Все рисунки исполнены проф. Арнольдом от руки карандашом, применяя, где это было нужно, микрометр для измерения, и вполне точно воспроизводят картину, представляющуюся глазу под микроскопом.

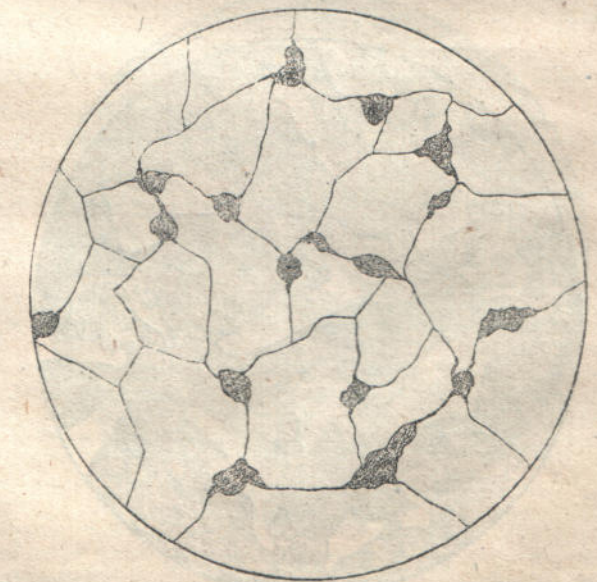
представлено кристаллическое сложение чистого железа, увеличенное в 600 лин. раз. Форма кристаллов получается несколько искаженная вследствие внешнего воздействия при остывании стали.

Слегка нечистое железо. В железе и мягкой стали свободные железные кристаллы иногда содержат остающийся углерод, который сообщает им желто-бурый цвет и неровную поверхность. Количество примешанного таким образом углерода очень незначительно, редко превышает 0,05%, и на механические свойства железа не производит заметного влияния. Эти карбидные соединения, образующиеся в окрашенных кристаллах, интересны, представляя нечто общее с точкой Ag_3 , указанной Осмондом. Если очень мягкая сталь подвергается продолжительному накаливанию; при температуре $1400^{\circ} C$. в вакууме, и затем охлаждается в воздухе, микроструктура стали заметно изменяется, при чем отдельные скопища нормального карбида исчезают, но зато увеличивается содержание карбидных соединений в окрашенных кристаллах. Этот переход термически совпадает с выделением теплоты, останавливающей процесс охлаждения в точке Ag .

Сварочное железо. Стоит, главным образом, из феррита, имеющего вид кристаллов или зерен, между которыми распределено небольшое количество карбида и в некоторых местах замечается присутствие шлаков. При прокатке строение самого железа претерпевает лишь небольшое изменение, но отдельные кусочки шлаков вытягиваются в нити по направлению прокатки. При краснокалильном жаре кристаллы железа, повидимому, способны изменять свое расположение, так, что каждый раз, когда железо нагревается до сварочного жара, оно принимает

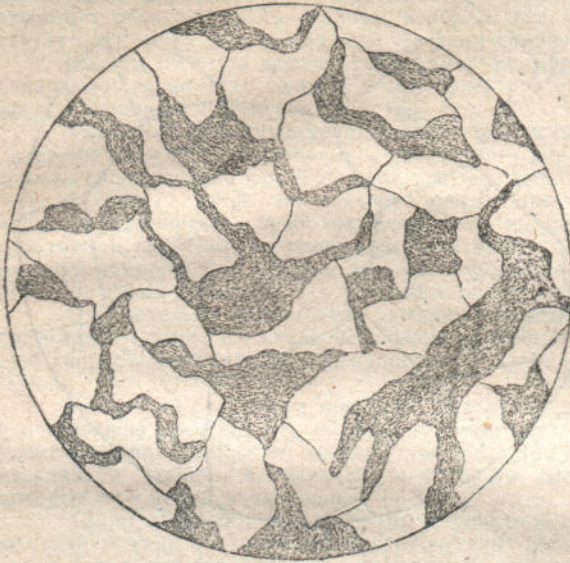


Фиг. 30. Лин. увелич. 600 раз.



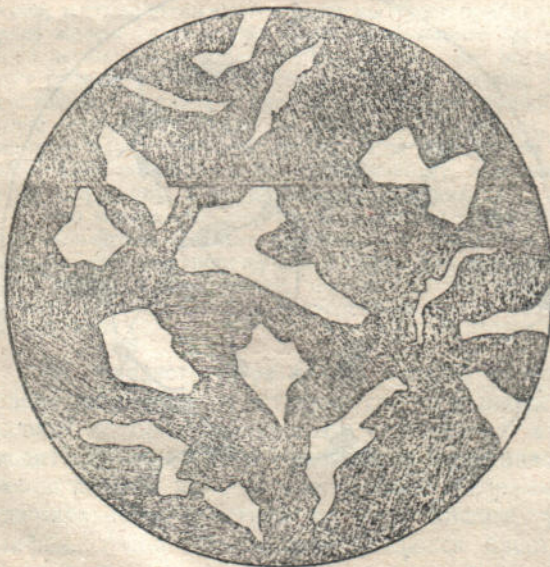
Фиг. 31. Лин. увелич. 600 раз.

свое нормальное строение, измененное при обработке. Когда железо прокатывается в холодном состоянии, так что кристаллизация не может идти свободно, кристаллы вытягиваются по направлению прокатки и первоначальное строение совершенно нарушается.



Фиг. 32. Увел. 600 л. раз.

Железо с содержанием углерода 0,59% (Фиг. 33), Здесь уже площадь, занимаемая карбидом, значительно превосходит



Фиг. 33. Увел. 600 л. раз.

Железо с содержанием углерода 0,08% (Фиг. 31). Строение состоит из неправильных кристаллов чистого железа, между которыми кое-где вкраплены небольшие, темные пятна аморфного карбида. Сравнивая вид этого шлифа со шлифом чистого железа, видно, что даже присутствие углерода в количестве 0,08% уже различается под микроскопом.

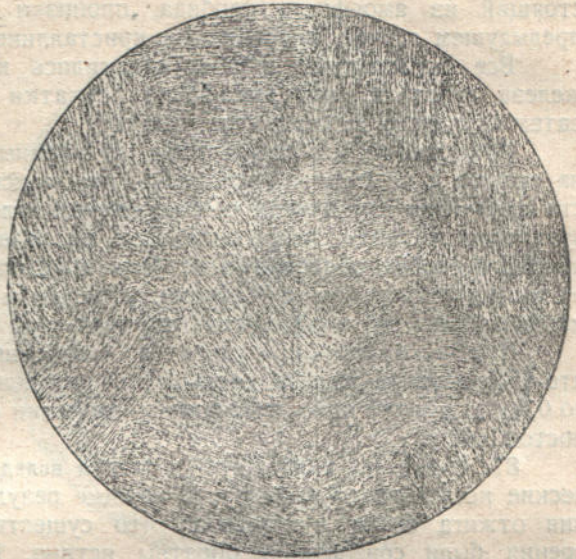
Железо с содержанием углерода 0,38% (Фиг. 32). Шлиф представляет смесь больших кристаллов чистого железа и темных пятен аморфного карбида, последний занимает почти половину всей площади.

Здесь уже площадь, занимаемая карбидом, значительно превосходит площадь кристаллов чистого железа, которые в то же время являются и разделенными друг от друга.

Железо с содержанием углерода 0,89% (Фиг. 34). Этот шлиф представляет большой интерес. Все сечение почти состоит из неясно определенных кристаллов, представляющих темную массу железа с распространенным в нем карбидом или то, что мы называли аморфный карбид (см. стр. 40). Кристаллы чистого железа совершенно исчезли. Профессор Арнольд считает ¹⁾, что железо при содержании углерода 0,89% представляется как бы критическим по своему составу и представляет «точку насыщения».

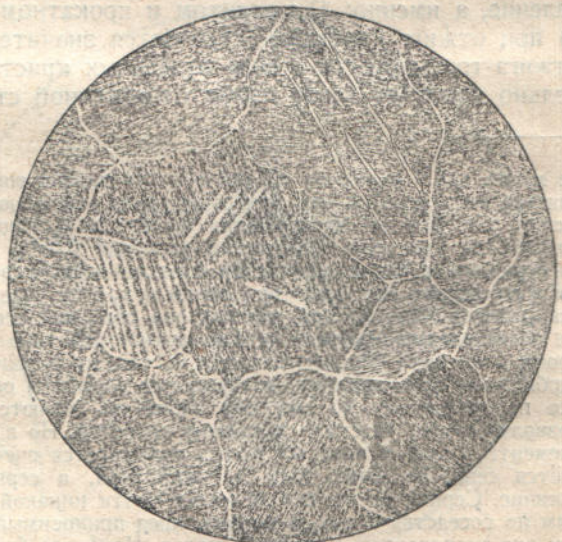
¹⁾ Arnold on the Influence of Carbon on Iron, Minutes of the Proc. Civil Engineers vol CXXIII, стр. 127.

При подобном насыщении железо приобретает все характерные свойства для стали, и потому железо такого состава может быть названо *нормальной сталью*. Дальнейшее насыщение углеродом дает уже пересыщенную сталь, медленно приближающуюся к чугуну. В большинстве же случаев техника имеет дело с насыщенной сталью, т.е. с содержанием углерода меньшим $0,9\%$. Для инженера является также очень интересной полукритическая точка с содержанием углерода $0,45\%$. При таком химическом составе материал представляет из себя очень тесную смесь отчетливых кристаллов чистого железа и в равном количестве нормальной стали, с содержанием $0,9\%$ углерода. Механические свойства материала являются средними между свойствами, присущими чистому железу и нормальной стали. Если в требованиях будет выставлено содержание углерода, большее $0,45\%$, свойства материала будут ближе подходить к свойствам нормальной стали. В материале, содержащем углерода меньше $0,45\%$, преобладающие свойства будут соответствовать чистому железу ¹⁾.



Фиг. 34. Увел. 600 л. раз.

Железо с содержанием углерода $1,2\%$ (фиг. 35). Основной фон этого шлифа подобен шлифу нормальной стали (фиг. 34), но отдельные массы кристаллов окружены оболочкой из кристаллического карбида. Кристаллический карбид замечается и в виде отдельных прослоек. Нужно обратить внимание на то, что в сечении карбид представляется в виде сетки, на самом же деле он в виде оболоч-



Фиг. 35. Увел. 600 л. раз.

¹⁾ Высказанные положения относятся к идеальному случаю, и это нужно иметь в виду. В практике мы всегда встречаемся с более сложным явлением, благодаря тому, что в железе наряду с углеродом всегда содержится от $0,5$ до 1% марганца. Хотя влияние этой примеси на физические свойства металла хорошо известно, тем

ки обволакивает отдельные массы кристаллов, и такую же сетку мы получим, в каком бы направлении мы ни провели сечение.

Железо с содержанием углерода 1,47% (фиг. 36). Основной фон, состоящий из аморфного карбида, пронизан еще более толстыми, чем в предыдущем случае, прослойками кристаллического карбида.

Все приведенные шлифы относились к различным сортам литого железа и стали, которые после прокатки были нагреты до 1000° Ц. и затем оставлены остывать в воздухе.

Из рассмотрения результатов, полученных при испытаниях образцов на разрыв и на сжатие, оказалось, что максимальный коэффициент крепости получился для железа с содержанием углерода 1,20%, т.е. соответствует тому моменту, когда отдельные массы аморфного карбида обволакиваются *тонкими* оболочками карбида кристаллического. При дальнейшем насыщении углеродом и большем утолщении оболочек кристаллического карбида (фиг. 36) коэффициент крепости стал понижаться.

При рассмотрении результатов, полученных при сжатии, оказывается, что податливость железа уменьшается при повышении содержания углерода до 0,89%, а затем при дальнейшем увеличении содержания углерода остается постоянной.

87. Изменение микроструктуры стали вследствие отжига. 1) Микроскопические исследования дали очень важные результаты при исследовании явления отжига стали и показали, что существующая до сего времени воззрения были совершенно обратны истине. Например, во многих курсах металлургии появление при отжиге стали большей вязкости приписывается трем причинам: 1) переходу углерода закала в карбид; 2) переходу больших кристаллов в малые; 3) распределению карбида равномерно по всей массе в виде мелких зерен, из прежде крупных скопищ в виде шариков. Микроскопические исследования показали, что все эти утверждения не только несправедливы, но в действительности замечается как раз обратное явление, а именно: 1) в отлитом и прокатном слитке нет углерода закала; 2) при отжиге кристаллы становятся значительно крупнее; 3) карбид после отжига группируется в виде отдельных кристаллических скопищ. Действительно простому глазу излом отожженной стали кажется более мелкозер-

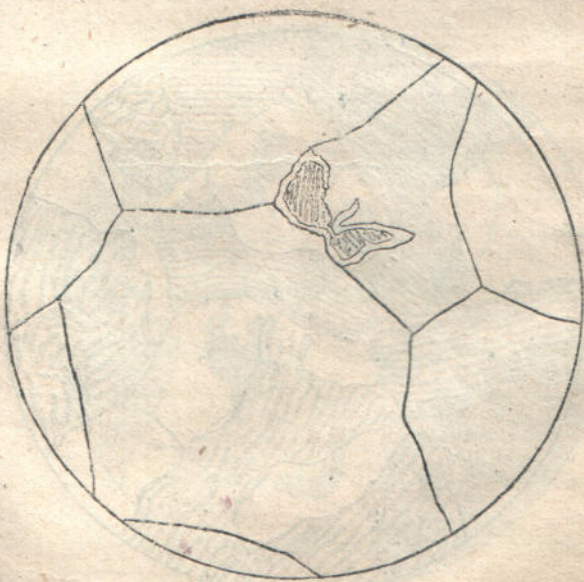
не менее, наши познания в этой области далеко еще не полны. Теперь уже представляется несомненным, что при содержании марганца в количестве 1% точка насыщения, т.е. момент превращения железа в однородную массу — *нормальную сталь*, получается уже при содержании углерода 0,65%. Этот факт дает нам объяснение того различия, какое замечается в механических свойствах шведского и английского бессемеровского металла; — при одном и том же содержании углерода шведская сталь оказывается более мягкой, так как она содержит всего лишь 0,25% марганца. Такие же исследования показали, что известное действие на сталь примесей никеля, титана, хрома и кремния обуславливаются не самими этими элементами, а теми двойными карбидными соединениями, которые эти элементы образуют с железом и углеродом. Все перечисленные до сих пор элементы являются во многих случаях полезными, позволяя сообщить стали желаемые свойства. Но в стали обыкновенно присутствуют элементы, примесь которых всегда оказывается очень вредной, таким элементом является сера. Но опять-таки не сама сера, а сернистое железо оказывает вредное влияние. Сернистое железо не имеет почти никакой связи с металлом, расположенным по соседству с ним, и потому, вред приносимый этой примесью, зависит от того, как она расположена в массе металла. Наиболее безвредной она оказывается тогда, когда является в виде небольших шариков; — в этом случае действие ее аналогично с присутствием в металле отдулин. Наиболее опасна эта примесь в том случае, когда она присутствует в виде тонких пленок, обволакивающих отдельные кристаллы, образуя прослойки ослабления, аналогичные трещинам. Распределение полужидкого сернистого железа внутри металла при его проковке и прокатке может оказаться очень опасным для прочности и в этом случае микроскопические исследования могут оказать большие услуги.

1) См. Heat Treatment of Steel. Eng. 184—2—04.

нистым. Но это происходит от того, что при изломе стальной полосы кристаллы вытягиваются, и то, что представляется глазу, суть концы вытянутых мягких кристаллов, а не самые грани твердых кристаллов, которые мы видим при изломе хрупкой неотожженной полосы. На самом же деле влияние отжига на мягкую сталь с содержанием углерода около 0,3%, сказывается следующим образом: кристаллы становятся более крупными и более правильной формы, так как внутренние напряжения уменьшаются; сцепление между поверхностями кристаллов увеличивается; карбидные соединения, которые в неотожженной стали присутствуют в виде прослоек неправильной формы, разъединяющих кристаллы железа, в отожженной стали группируются в скопища округлой формы, способствующие лучшему сцеплению кристаллов. Таким образом, вместо существовавших ранее отдельных перемешанных между собою прослоек чистого железа и карбидных соединений, устанавливается почти непрерывная связь между железом. Углерод оказывается сосредоточенным только в небольших пластинках, вкрапленных внутри железа, так что общая площадь, занимаемая такими углеродистыми соединениями, не превышает 0,5% площади сечения, тогда как до отжига они были распространены на большую площадь, простирающуюся до 40% площади сечения. Такая перемена строения, свойственная как ковальной стали, так и литой, но особенно резко сказывается в последнем металле, в котором междукристаллическая связь вообще довольно слаба: нельзя того же сказать относительно ковальной стали, где горячая обработка уже несколько видоизменила относительное расположение кристаллов, подобно тому, как это делает отжиг.



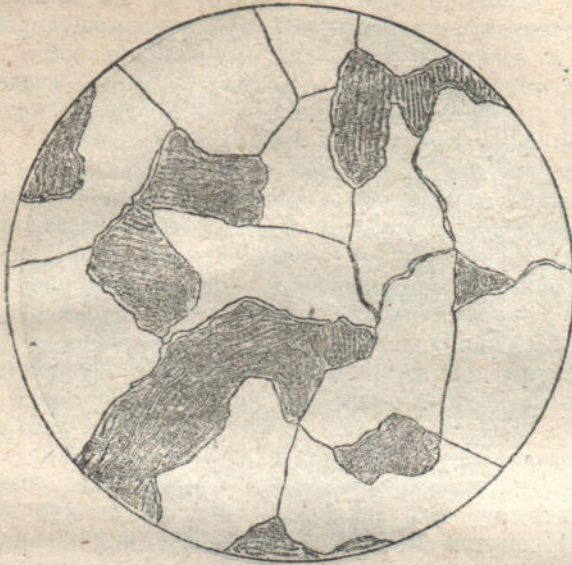
Фиг. 36. Увел. 600 л.



Фиг. 37. Увел. 600 л.

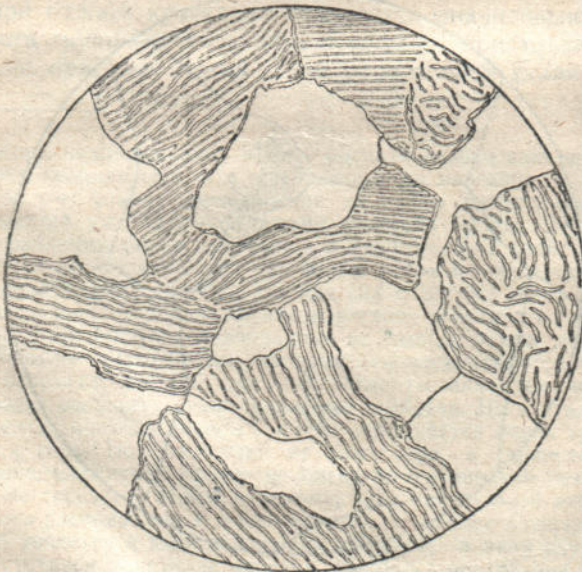
уже несколько видоизменила относительное расположение кристаллов, подобно тому, как это делает отжиг.

Сказанное будет более ясно из рассмотрения рисунков шлифов, относящихся к тем же сортам стали, как и шлифы, помещенные ранее.



Фиг. 38. Увел. 600 л.

прослойки кристаллического карбида замечаются в некоторых местах и между гранями отдельных кристаллов железа (сравн. фиг. 32).



Фиг. 39. Увел. 600 л.

микроскопом бросают тень. Все сечение имеет перламутровый оттенок. (сравн. фиг. 34).

Оттоженное железо с содержанием углерода 0,08% (фиг. 37). Отжиг отразился тем, что кристаллы приобрели более правильную форму, более крупные размеры и аморфный карбид превратился в перлит (чередующийся слой карбида и феррита), окруженный оболочкой кристаллического карбида (Fe_3C). (сравн. фиг. 31).

Оттоженное железо с содержанием углерода 0,38% (фиг. 38). При отжиге кристаллы стали более крупны и более определенной формы. Темные площади аморфного карбида сгруппировались в скопища большого размера, состоящие из чередующихся прослоек чистого железа и кристаллического карбида. Такие же

Оттоженное железо с содержанием углерода 0,59% (фиг. 39). Этот шлиф представляет еще в более резкой форме превращение темных площадей аморфного карбида (фиг. 33) в ясно выраженный перлит.

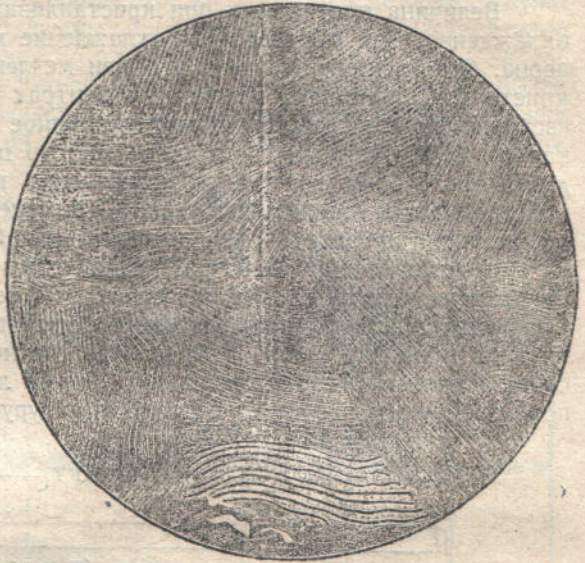
Оттоженное железо с содержанием углерода 0,89% (фиг. 40). Весь шлиф состоит исключительно из перлита. Слои кристаллического карбида (Fe_3C) идут почти параллельно, представляясь в некоторых местах в виде прямых линий, а в некоторых местах волнообразными линиями. Изредка заметны небольшие отдельные скопища кристаллического карбида. В одном месте шлифа слои карбида выступают в виде такого сильного рельефа, что под

Отожженная сталь (фиг. 41). (Содержание углерода, соединенного $0,33\%$, углерода отжига $1,14\%$). В этом сечении почти треть поверхности состоит из перлита; остальная площадь состоит из железных кристаллов, пронизанных темными круглыми и червеобразной формы пятнами, представляющими массы углерода отжига.

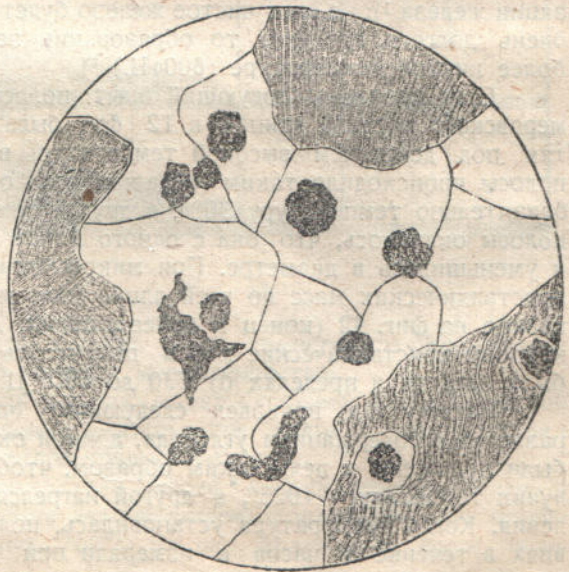
Таким образом отжиг увеличивает размер кристаллов и увеличивает поверхность соприкосновения между ними, этим, вероятно, и обуславливается большая прочность отожженного железа.

88. Кристаллизация стали. Полированные поверхности железа и почти всех остальных металлов, если на них действовать соответственными реагентами, разбиваются на отдельные многоугольники, и поверхность представляет как бы мозаику. Каждый такой многогранник есть сечения кристалла, который при своем образовании не мог получить правильных углов вследствие влияния, оказываемого смежными с ним кристаллами. Эти многогранники представляют, следовательно, действительные кристаллы или зерна, которые видны на всяком свежем изломе.

В практике различные изломы железа принято характеризовать соответствующими терминами: мелкозернистое строение, крупнозернистое, кристаллическое и др. Но каково бы ни было строение, нужно иметь в виду, что во всех случаях железо остается кристаллическим и вся разница только в том, что в одном случае эти кристаллы являются более мелкими, в другом более крупными. Отдельные кристаллические массы, из которых состоит тело металла, вследствие неправильной формы, более походят на зерна, чем на кристаллы, и потому более естественно называть такие массы *зернами*, или, еще лучше, *кристаллическими зернами*.



Фиг. 40. Увел. 600 л.



Фиг. 41. Увел. 600 л.

Итак в последующем под словом зерно мы будем подразумевать кристаллическую массу, отдельные кристаллы которой имеют одно и то же направление осей по всей массе зерна

Величина получаемых при кристаллизации зерен зависит от скорости охлаждения. Чем быстрее идет охлаждение металла, тем мельче получатся зерна. Объясняется это тем, что при медленном охлаждении образование кристаллов начинается в немногих центрах и нарастание кристаллов идет свободно во все стороны, образуя крупное зерно, пока оно не встретит такого же нарастания со стороны другого центра; при быстром же охлаждении число этих центров возникновения кристаллов очень значительно: кристаллизация начинается как бы по всей массе металла, и потому зерна могут нарастать лишь незначительной величины.

Кристаллизация железа и мягкой стали в большей степени зависит от времени, в продолжение которого эти металлы подвергаются нагреву. Профессор Арнольд указал, что зерна мягкого железа, вытянутые при прокатке и проковке, при температуре несколько ниже красного каления, снова принимают свою правильную форму лишь при температуре 750°C ., почему Арнольд и считает эту температуру критической для кристалли-



Фиг. 42.

зации железа ¹⁾; но если чистое железо будет подвергаться нагреву в течение очень долгого времени, то образование зерен может происходить и при более низкой температуре (600°C .) ²⁾.

Стед произвел следующий опыт: полоса из мягкого шведского бессемеровского металла длиной в 12 фут была вложена в печь и оставалась там под действием высокой температуры в течение 6 недель. Нагревание полосы происходило таким образом, что один конец полосы имел приблизительно температуру 300° , а другой температуру 900° . По охлаждении полоса оказалась, что она с одного конца сильно обгорела от окисления и уменьшилась в диаметре. При микроскопическом исследовании крупность кристаллических масс по всей длине полосы оказалось различной, как показано на фиг. 42 (конец В более горячий, А—более холодной). Наиболее крупные кристаллические массы получились в той части полосы, которая была нагрета в пределах от 730 до 600°C .

Затем Стед произвел следующий опыт: несколько полос железа с различным содержанием углерода, длиной около 200 мм. и диам. 15 мм. были положены в печь таким образом, чтобы при нагреве один конец получил температуру 1025° , а другой нагрелся лишь до темно-красного каления. Когда температура установилась, полосы оставляли при этих условиях в течение 6 часов и измеряли при помощи термоэлектрического пирометра Лешателье температуры в различных местах полосы. После охлаждения полосы подвергали микроскопическому исследованию, с целью

¹⁾ Journal of the Iron and Steel Institute 1894, № 1 p. 107—147.

²⁾ Stead The cristaline structure of Iron and Steel. Journal of the Iron and Steel Inst. 1898, 1 p. 156—158.

определить величину кристаллических зерен. Результаты, полученные при этом, представлены графически на фиг. 43. (Ординаты пропорциональны величине зерен).

В образце с содержанием углерода 0,11% один образец дал результаты, представляющиеся линией *a*, другой показал строение представленное линией *б*.

В образце с содержанием углерода 0,21% часть сечения была более насыщена углеродом и дала результаты, представленные сплошной линией, часть же сечения, состоящая из почти чистого железа дала результаты, представленные пунктирной линией.

Железо с содержанием углерода 0,47% имевшее в холодном состоянии мелкозернистое строение, после нагрева представляло строение, изображенное сплошной линией. Бринель же исследовал железо того же состава, но имеющее в холодном состоянии крупнозернистое строение, и после нагрева строение у него получилось, как представлено пунктирной линией.

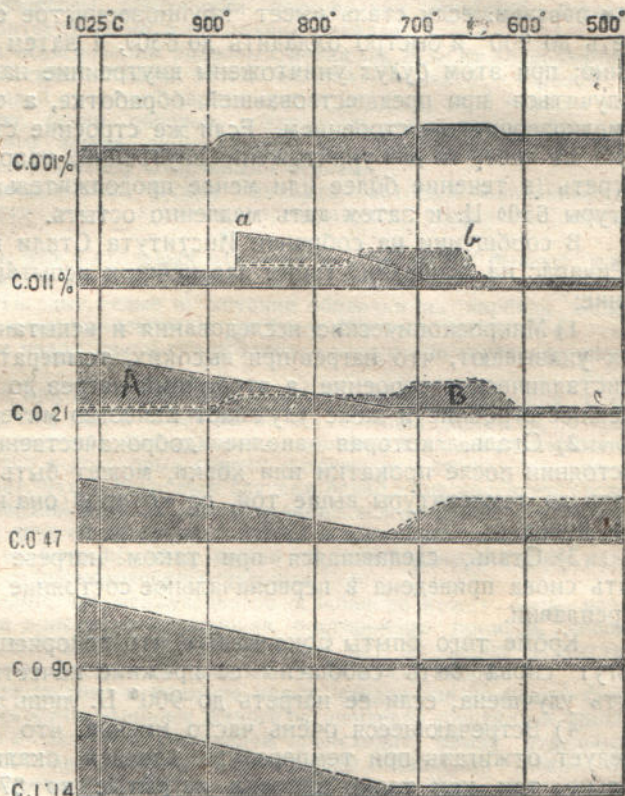
Рассматривая эти результаты, нужно прийти к заключению, что строение чистого железа изменяется при нагреве по другому закону, чем строение железа, более насыщенного углеродом. Бедное углеродом железо при низких температурах приобретает обыкновенно крупнозернистое строение; при температурах между 750° и 860°

строение это мало изменяется; но как скоро температура подымается выше 870°, строение железа становится мелкозернистым.

Сталь же при низких температурах имеет строение мелкозернистое и только после продолжительного нагрева при высоких температурах (выше 850°) строение ее становится крупнозернистым.

Но тут же надо сказать, что если сталь с содержанием углерода более 0,2%, получившую вследствие долгого нагрева крупнозернистое строение, вновь нагреть несколько выше 750°, то она принимает после этого мелкозернистое строение¹⁾.

Если сталь в течение долгого времени подвергать отжигу при температурах 700°—800°, то ее оболочка на небольшую глубину подвергается



Фиг. 43.

¹⁾ Journal of the Iron and Steel Inst. 1898, № 1 p. 184.

обезуглероживанию. Окисляющим агентом в данном случае является углекислота, проникающая во внутрь металла. Полученная таким образом оболочка чистого железа принимает призматическое строение и под микроскопом имеет вид волокон, направленных нормально к поверхности. Подобное кристаллическое строение обуславливает большую хрупкость материала. При нагреве до 900° и быстром охлаждении призматическое строение исчезает. Если же нагретую до 900° полосу стали охлаждать медленно, то в пределах температур между 800° и 600° исчезнувшее призматическое строение снова появляется.

На основании сказанного нужно обработку стали производить следующим образом: если сталь имеет крупнозернистое строение ее нужно нагреть до 900° и быстро охладить до 630° , а затем оставить остывать медленно; при этом будут уничтожены внутренние напряжения, которые могли получиться при предшествовавшей обработке, а также сталь получается с мелкозернистым строением. Если же строение стали уже мелкозернисто само по себе, то для уничтожения внутренних напряжений достаточно сталь нагреть (в течение более или менее продолжительного времени) до температуры 650° Ц. и затем дать медленно остыть.

В сообщении на собрании Института Стали и Железа 1903 г. Стед и Ричардс на основании своих дальнейших испытаний дали такое заключение:

1) Микроскопические исследования и испытания на разрывных машинах указывают, что нагрев при высоких температурах вызывает крупнокристаллическое строение, а вторичный нагрев до 850° Ц. восстанавливает прежнее строение и даже улучшает качество материала.

2) Сталь, которая вполне доброкачественна в своем естественном состоянии после прокатки иликовки, может быть испорчена, если ее нагреть до температуры выше той, до которой она нагревается при прокатке иликовке.

3) Сталь, сделавшаяся при таком нагреве очень хрупкой может быть снова приведена в первоначальное состояние при помощиковки или переплавки.

Кроме того опыты показывают, что испорченной таким образом стали могут снова быть сообщены ее прежние качества и сталь даже может быть улучшена, если ее нагреть до 900° Ц. лишь на короткое время.

4) Встречающееся очень часто мнение, что исполненные поковки не следует отжигать при температуре дающей окалину, совершенно неправильно, так как такие поковки нагрятые до 870° Ц. лишь приобретут лучшие качества.

5) Очень полезно нагревать поковки до 850° — 900° Ц. быстро охладить их в воде или в масле, так чтобы они потемнели, и затем отжечь их при темнокрасном галении в печи, чтобы уничтожить вредные напряжения; быстрое охлаждение заставит выделиться в большем количестве Сорбит (см. стр. 19), что благотворно отзовется на механических свойствах стали.

В виду важности, которую представляет знание температур при обработке стали, необходимо чтобы в каждой крупной кузнице имелся пирометр Лешателье, допускающий точное определение этих температур. (M. E. 361—9—03). Journ. of the Iron and Steel Institut. 1903.

89. **Описные формы кристаллизации** ¹⁾ Известно, что кубические кристаллы минералов обладают способностью более легко расщепляться по одним направлениям, чем по другим; эти направления перпендикулярны между собой и параллельны граням куба. Следовательно, кубический кристалл может быть легко расщеплен по трем взаимоперпендикулярным направлениям.

¹⁾ Stead. Journal of the Iron and Steel Inst. 1898. № 2 p. 137.

Железо кристаллизуется в кубическую систему, и потому железная полоса способна расщепляться более легко по некоторым трем направлениям, чем по всем остальным. Когда мы будем говорить о направлении кристаллов, то при этом будем подразумевать расположение плоскостей раскалывания и их взаимное положение в кристаллическом зерне, из которых состоит вся масса металла.

Применение микроскопа для микромеханических исследований металла дает нам возможность определять с большой точностью слабые места внутри металлической массы и определять характер такого ослабления.

В этом отношении можно различать два случая: иногда ослабление металла находится между отдельными зёрнами металла, т. е. в их стыке. При изломе такого металла, поверхность излома совпадает с поверхностью зёрен. Такое ослабление может быть названо „*междузёрным*“. Иногда отдельные зёрна не приходят в соприкосновение, а бывают разделены оболочками посторонних примесей, которые выделяются при медленном затвердевании и остывании металла.

При микроскопическом исследовании подобных металлов, если их полированную поверхность подвергнуть действию кислоты, затем положить лицевой стороной на свинцовую подкладку и с задней стороны ударить тупым конусом, чтоб немного надломить металл, и сломанную таким образом поверхность снова рассмотреть под микроскопом, то окажется, что всегда линия излома идет именно по таким посторонним примесям, расположенным между отдельными зёрнами.

Сплав меди с небольшим количеством висмута, которым обволакиваются отдельные зёрна меди будучи очень хрупким, представляет прекрасный пример междузёрного ослабления.

Проф. Арнольд указал, что в стальных отливках иногда зёрна бывают окружены легкоплавкими шлаками, и в таких случаях линия излома всегда следует по этим оболочкам из шлака. Твердые, белые и хрупкие оболочки из карбида железа окружающие зёрна стали, с содержанием углерода более 1% представляют из себя главные места ослабления, и излом такой стали всегда следует по середине упомянутых оболочек.

Но иногда бывает, что при существовании междузёрного ослабления около зёрен не замечается присутствия таких оболочек из посторонних примесей, по крайней мере, мы не можем их различить при помощи имеющихся в нашем распоряжении средств. Это особенно заметно в некоторых сортах отожженной стали, содержащей серу. Проф. Арнольд полагает, что в подобных случаях ослабление получается вследствие неравномерного сокращения металла при остывании, вследствие чего отдельные зёрна стремятся оторваться друг от друга и находятся в состоянии неестественного напряжения. Но какова бы ни была причина, важно то, что в данном случае излом происходит тоже по линии соприкосновения отдельных зёрен.

Таким образом, мы видим, что междузёрное ослабление может быть разделено на два класса: 1) когда присутствуют хрупкие посторонние примеси, обволакивающие отдельные зёрна и 2) когда хрупких оболочек нет, но зёрна вследствие невыясненных причин не имеют достаточно прочной связи между собой.

Второй род ослабления состоит в том, что излом следует не по месту соприкосновения зёрен, а по плоскостям наиболее легкого расщепления кристаллов, проходя через самые зёрна. Так как в данном случае излом происходит между отдельными кристаллами, из которых составлены зёрна, то этому роду ослабления можно присвоить название „*междукристаллического*“.

Если чистое железо расколеть таким образом, чтоб обломок имел форму куба и полученную форму излома, неполированную и проходящую через плоскости расщепления, протравить азотной кислотой, то при этом отделяются совершенно правильные квадратные частички железа оставляя небольшие углубления, расположенные на всех 6 сторонах куска. Это служит очень ёским подтверждением того, что железо составлено из кристаллов кубической формы, а не октаэдров.

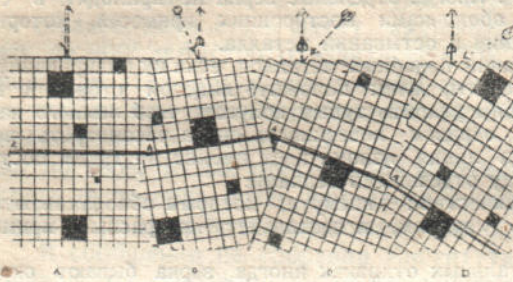
Точно также, если поверхность железа с крупнозёрнистым строением отполировать и протравить азотной кислотой, то различные зёрна отражают свет под различными углами. Если рассматривать такую поверхность, став спиной к источнику света, то можно видеть что некоторые зёрна блестят, другие же не отражают света; при поворачивании же поверхности отраженный свет будет переливаться от зёрна к зёрну. Оказывается, что зёрна, которые отражают свет, падающий на них вертикально, наиболее легко ломаются под действием ударов, направленных на тупой штифт, поставленный с задней стороны пластинки; при этом трещины обыкновенно пересекаются под углом в 90 гр. Эти же самые зёрна при более сильном действии кислоты дают наиболее правильные квадратные углубления, которые легко видят под микроскопом. Из всего этого мы можем заключить, что грани кристаллов, составляющих эти зёрна, расположены параллельно и нормально к поверхности излома.

Если поверхность излома отражает свет, как было только что сказано, то грани кристаллов, составляющих зёрна, расположены наклонно к этой поверхности. Это более ясно можно показать на простой диаграмме. На фиг. 44 представлено схематически расположение кристаллов в смежных зёрнах А, В, С, D. Каждый квад-

ратик представляет то направление, в котором могут быть расположены кристаллы чистого железа в вертикальной плоскости. В А грани кристаллов параллельны верхней поверхности.

в В они наклонены под углом в 10 градусов
 " С " " " " " " 20 "
 " D " " " " " " " 30 "

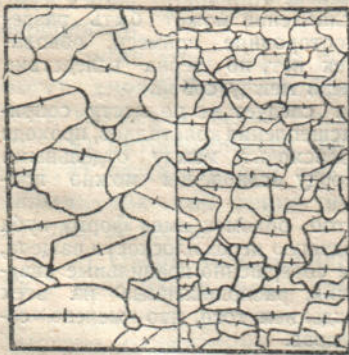
Верхний контур представляет сечение поверхности металла в том виде, как она получается после полировки и протравки кислотой;—в некоторых местах она совершенно гладка, в других местах отдельные кристаллики образуют небольшие выступы. Толстая линия показывает направление, по которому наиболее легко может произойти излом. Стрелки показывают, в каком направлении свет должен падать, чтобы отражаться вертикально.



Фиг. 44.

направлениями. Следовательно, если б вся масса железного куска представляла из себя одно зерно, то такой кусок мог бы быть легко расщеплен по двум главным взаимоперпендикулярным направлениям, зависящим от расположения кристаллов внутри.

Точно также понятно, чтоб если б масса железного куска была составлена из зерен различного размера у которых кристаллы были расположены почти в одном и том же направлении, то такой кусок опять можно было бы расщепить наиболее легко по тем же двум направлениям. Может быть, у двух кусков с зернами различной величины и будет некоторое различие в склонности к расщеплению, но это различие будет только в размере, а не в направлении; один кусок может быть, расщепится более легко, чем другой, но оба расщепятся в одном и том же направлении.



А Фиг. 45. В

Из сказанного ясно, что если на поверхности куска железа находятся несколько зерен, у которых кристаллы расположены по одному и тому же направлению, то в таком месте очень легко может начаться расщеп, который затем распространится и далее в массе металла. С другой стороны, если на поверхности находятся зерна, у которых кристаллы расположены по различным направлениям, то даже и при сравнительно большой величине зерен появиться трещине будет значительно труднее чем в том случае, когда зерна будут хотя и мельче, но с кристаллами, расположенными в одном направлении. Это станет еще более ясно из сравнения двух диаграмм А и В, фиг. 45. Линии отмеченные значком, представляют плоскости расщепления каждого зерна. В более крупнозернистом строении (фиг. А) кристаллы каждого зерна расположены по различным направлениям; на фиг. В строение более мелко-

зернистое, но все кристаллы расположены по одному направлению. Понятно, что сталь с строением фиг. В переломится легче, чем сталь с строением фиг. А.

Всем хорошо известно, что при всех прочих равных условиях всегда желательно получить сталь с возможно мелкозернистым строением. Приведенные диаграммы показывают, что известное расположение кристаллов может сделать такое желание не совсем справедливым, так как иногда крупнозернистая сталь может оказаться доброкачественнее мелкозернистой. Это заключение было вполне подтверждено исследованиями, произведенными Стедом в Мидсборо и в других местах.

Таким образом мы видим, что хрупкость стали может получиться вследствие расположения кристаллов у смежных зерен в одном и том же направлении.

К счастью, в громадном большинстве случаев, в стали и железе кристаллы не группируются таким образом, а в отдельных зернах располагаются по различным на-

правлениям. Но иногда случается, что кристаллы группируются иначе, и в таком случае самый чистый и мягкий материал может сделаться хрупким. Посмотрим же при каких условиях подобная перемена может произойти.

Уже было указано, что при нагревании чистого прокатного железа при температуре от 600° Ц. до 750° Ц. оно изменяет свое мелкозернистое строение на крупнозернистое, т. е. при этом у отдельных смежных зерен кристаллы поворачивают свои оси по одному направлению и в результате несколько зерен сливаются в одно зерно большого размера. Эта перемена происходит довольно медленно; время является очень важным фактором, и условия, при которых сталь с значительным содержанием углерода становится мягче и более мелкозерниста (продолжительное нагревание при красном калении), делают чистое железо крупнозернистым, при чем оно может получиться и хрупким и нехрупким. Если, например, грани кристаллов расположатся параллельно оси полосы, то такая полоса будет ломаться очень легко, если же кристаллы расположатся по различным направлениям, то полоса будет сравнительно хорошо сопротивляться.

Во всех случаях, когда имеются большие зерна, должны быть и большие поверхности, по которым расщепление будет происходить легко, а потому, как бы выгодно ни были расположены кристаллы отдельных зерен, железо мелкозернистого строения при таком же расположении зерен всегда получится более прочное, чем крупнозернистое.

При лабораторных испытаниях Студа крупнозернистое чистое железо после отжигания при темп 700° Ц. не ломалось под действием резких ударов. При микроскопическом исследовании было замечено, что зерна иногда большого размера были расположены под различными углами. Образцы такого железа могли быть согнуты на 180° без трещин.

Один ряд опытов был крайне интересен и поучителен. Несколько кусков мягкого железа отжигались в закрытом ящике в течение 48 часов, при температуре 700° Ц. Затем куски были разрезаны пополам, половина из них была оставлена для исследования, а другую половину подвергли вторичному отжигу в течение 48 часов. Когда последние охладились, их снова разрезали и подвергли отжигу в третий раз. Все образцы исследовались механически и под микроскопом.

Во всех кусках после отжига внутреннее строение оказалось более крупнозернистым, чем до отжига. Но после первого отжига все куски были покрыты снаружи слоем с крупнокристаллическим строением. После полировки поверхности и протравки кислотой, выступили зерна, величина которых достигла до 12 мм. При изгибе некоторые образцы гнулись довольно сильно, а некоторые легко трескались, но все образцы после изгиба на 60 гр. при выпрямлении трескались.

Образцы эти, после того как их нагрели до 900° Ц. и оставили охлаждаться, приобрели очень большую вязкость. Их можно было гнать туда и обратно, без появления трещин. Крупнозернистой оболочки более не существовало.

При втором отжиге перемена произошла очень значительная. Внешняя оболочка крупнозернистого строения приняла более мелкое строение и походила теперь по строению внутренней части, которая оставалась довольно мелкого строения по всему сечению еще после первого отжига. Но интересно, что слой на расстоянии 3 мм. от поверхности имел теперь крупное строение: зерна его были раз в 5—20 больше, чем зерна железа, лежащего по обе стороны. Полосы не ломались так легко, как после первого отжига, что и нужно было ожидать на основании строения внешней оболочки.

Третий отжиг, повидимому, не произвел большого изменения.

Было замечено, что ломкость полос после первого отжига была обязана присутствию оболочки крупнозернистого строения, так как по снятии этой оболочки на строгальной машине, внутренняя часть полосы оказалась мягкой и прочная.

Примесь углерода в этих полосах изменилась от $0,08\%$ до $0,12\%$. После первого отжига во внешней оболочке были заметны только следы углерода, это ясно указывало, что, несмотря на то, что отжиг производился в закрытых ящиках, в них все-таки проникло достаточно воздуха, чтобы окислить углерод, хотя само железо при этом совершенно не подвергалось окислительному действию. Лизат недавно повторил эти опыты, при чем он заметил, что оболочка крупнозернистого строения не всегда удаляется при следующих отжигках.

Исследование большого числа отожженных листов показало, что листы тоньше № 22 ($0,030''$) никогда не выказывают хрупкости после отжига, и что в листах толщиной от № 10 ($0,13''$) до № 20 ($0,03''$) хрупкость появляется только в исключительных случаях.

Большинство толстых листов, которые не ломаются при выгрузке из отжигаемых ящиков и которые вообще не могут быть отнесены к разряду хрупких, будучи нагреты до температуры от 400° до 500° Ц., подвергаясь ударам, выказывают хрупкость. Характер ослабления иногда оказывается междузернистый, но в большинстве междукристаллический. В первом случае линии излома не следуют каким-либо определенным направлениям и лист ломается подобно чугуну. Во втором слу-

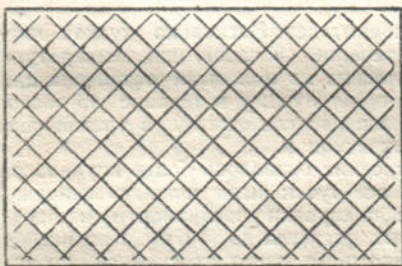
чае наиболее слабые плоскости всегда располагаются в известном направлении, а именно *приблизительно под углом в 45 град. к направлению, по которому производилась прокатка листов* и перпендикулярно к поверхности листа. Иначе,—слабые сечения соответствуют трем плоскостям, по которым наиболее легко расщепляются кубические кристаллы, у которых четыре грани наклонены к кромкам листа под углом 45 град., а две грани расположены параллельно поверхности листа.

Такие листы могут изгибаться довольно сильно, если линия перегиба будет лежать вдоль или поперек листа, и дадут сейчас же трещину, если перегиб будет составлять с кромкой, или направлением прокатки угол в 45 град.

Особая способность листов более легко ломаться по двум взаимоперпендикулярным направлениям была давно подмечена, но до сих пор не обращали внимания на то, в каком отношении линии излома находятся к направлению прокатки. Прокатка листов производится обыкновенно при низких температурах (около 600° Ц.) и как и нужно было ожидать, поверхность излома всегда представляет волокнистое строение; точно также если эта поверхность будет отполирована и протравлена кислотой, то она тоже представит волокнистое строение. Если же такой их лист отжечь, то его строение делается крупнозернистым.

Трудно с точностью определить характер изменения, которое происходит при прокатке; но из того вида, какой представляет протравленная поверхность металла под микроскопом, можно предположить, что при прокатке металл стремится расколоться на мелкие пластинки, и когда такие пластинки выделяются, то они стремятся скользить друг по другу. Прокатка происходит при таких температурах, что прокатанные и сплюснутые зерна не имеют возможности снова приобрести строение

правильных зерен, прежде чем металл охладится и, весьма вероятно, что прокатка составляет отдельные кристаллические пластинки скользить друг по другу, при чем углы их кристаллов при таком скольжении располагаются по направлению прокатки и по перпендикулярному направлению, так что общее расположение кристаллов после прокатки может быть схематически представлено фиг. 46. Когда такой лист подвергается отжигу, то начинают действовать кристаллические силы и во многих центрах начинается образование небольших кристалликов, затем образуются зерна, в которых мелкие кристаллы расположены по одному направлению, и потому плоскости их легчайшего расщепления будут совпадать с гранями этих мелких кристаллов.



Фиг. 46.

До сих пор нет еще достаточно данных, которые бы позволили составить окончательное мнение относительно того, что служит причиной междузернового ослабления. Но в двух или трех случаях такого ослабления было заметно присутствие большого количества фосфора. Один очень хрупкий образец имел следующий состав:

Углерод	0,040 ^{0/0}
Марганец	0,431
Кремний	следы
Сера	0,063
Фосфор	0,263

Вторичный отжиг в течение 48 часов не улучшил качеств металла, но при этом образец изменил несколько характер своей хрупкости, именно: он стал ломаться не только между зернами, но и через самые зерна, т.-е. проявилось и междукристаллическое ослабление.

90. Как предупредить появление хрупкости.—Все предыдущее исследование кристаллического строения металлов имело свою целью выяснить те условия, которые предупреждали бы появление хрупкости, и выяснить те обстоятельства, которых нужно избегать при обработке, наконец, найти те средства, которые позволили бы превращать хрупкий материал в вязкий и вполне надежный. При последних исследованиях хрупких листов были замечены следующие факты:

1. Случается, что с одного конца лист бывает вязок и доброкачествен, а в остальной части более или менее хрупок. В одном подобном случае химический состав той и другой части был совершенно одинаков. Нужно, следовательно, предположить, что условия отжига не были одинаковы для всего листа, т.-е. температура была неодинакова, так как трудно найти другие обстоятельства, которые бы могли изменить условия отжига.

2. Иногда случается, что одна кромка листа хрупка, а другая совершенно вязкая.

3. Иногда внешняя часть оказывается хрупкой, а внутренность вязкой.

4. Замечаются случаи, когда внешняя оболочка вязкая, а внутренность листа хрупкая.

В тех случаях, где такое различие материала замечается на небольшой толщине, не более 16 мм., нужно допустить, что главной причиной этому служит неоднородность химического состава металла.

Нагревание стали выше 900° Ц. и затем соответственное охлаждение, несомненно, даст всегда вязкий материал; но 900° Ц. уже столь высокая температура, что если бы ее применяли при отжиге, то ящики, в которых отжигаются листы, сильно страдали.

Многим покажется вполне естественно, что для уничтожения междукристаллического ослабления, производимого прокаткой, следовало бы катать листы по всем направлениям, так, чтобы всякий последовательный пропуск листа через станок уничтожал бы дурное влияние предыдущего пропуска. Но такая прокатка была бы возможна только для круглых листов, для остальных же размеров при наших наличных средствах этот способ совершенно неприменим. Но предвидается вполне вероятным, что если последние 2—3 пропуска листа делались, поворачивая лист на 15 град., то в ту, то в другую сторону, то уже этим склонность к развитию хрупкости была бы значительно ослаблена. При таком способе прокатки, конечно, листы будут получаться несколько неправильной формы и будет получаться больше обрезков, поэтому трудно ожидать, чтоб этим способом кто-нибудь воспользовался.

Уже было указано, что в листах тоньше 0,075 мм. появление хрупкости при прокатке никогда не замечается и что ломкость под углом в 45 град. к направлению прокатки замечается только на более толстых листах. Но какая этому причина?

На этот вопрос, при настоящем уровне наших знаний, мы не можем дать ответа. Разрешение вопроса о влиянии отжига сопряжено с большими практическими трудностями, и можно с уверенностью сказать что до тех пор, пока мы не будем иметь возможность проследить и точно определить все изменения температур, которые происходят при 48-часовом и более продолжительном отжиге, все другие исследования принесут мало пользы. Факт, что листы однородные по химическому составу выказывают в различных частях совершенно различные свойства по отношению к отжигу, и тот факт, что внутри калильного ящика температура получается различная в различных местах, заставляют думать, что главным фактором при этом процессе является температура и что надлежащая температура есть главное условие для получения листов надлежащего качества.

Как на очень важный факт, вполне установленный, можно указать на то, что содержание фосфора не должно превосходить 0,08%. Один образец, который оказался очень ломким по плоскостям наибольшего ослабления и который оставался таким же хрупким и при последующих отжигках, имел следующий химический состав:

Углерод	0,110%
Марганец	0,345
Кремний	следы
Фосфор	0,128
Сера	0,090

91. Отрицательный закал. Выше было указано, что для уничтожения в стали крупнокристаллического строения, необходимо сталь нагреть выше 900°, затем быстро охладить до 600° и после этого дать ей медленно остыть. Эта операция, которая в сущности представляет одновременный закал и отпуск называется *отрицательным закалом*. Операция сначала быстрого, а потом медленного охлаждения может быть произведена погружением раскаленного стального изделия в горячую воду ¹⁾, в масло растительное и в расплавленный свинец. Операция может вестись или таким образом, что изделие погружается в ванну, быстро охлаждается в ней до температуры 600° и затем вынимается и переносится в печь для медленного остывания, или же погруженное в ванну изделие может оставаться в ванне до конца операции. В последнем случае необходимо, чтоб объем жидкости был так согласован с объемом закаливающего предмета, чтобы

¹⁾ 70 градусов;—более низкая температура производит слишком быстрое охлаждение на поверхности и вызывает появление трещин; кроме того, очень холодная вода, вследствие слишком сильного образования паров, выплескивается и представляет опасность.

погруженный в жидкость предмет, охладившись до надлежащей температуры в тоже время нагрел жидкость настолько, чтобы дальнейшие охлаждение стали шло уже медленно.

Подобный способ отрицательного закала имеет большое применение при изготовлении пушек и броневых плит. Для этой цели на заводах имеются громадные резервуары, наполненные указанными выше жидкостями, в которые и погружаются раскаленные изделия. На заводе, например, Chaumont, на Луаре, резервуар для закаливания имеет глубину 72 фута и содержит 16500 ведер масла, для поддержания равномерной температуры масло перемешивается центробежными насосами.

На Обуховском и Колпинском заводах быстрое охлаждение при отрицательном закале достигают тем, что на обе поверхности лежащей горизонтально плиты направляются под большим давлением струйки воды из отверстий, проделанных в целой сети труб.

Из приведенной таблицы видно, какое влияние производит отрицательный закал в различных жидкостях на различные свойства стали ¹⁾,

	Предел упругости.				Коэффициент крепости.				Удлинение %.			
	0,20	0,50	1,00	1,30	0,20	0,50	1,00	1,30	0,20	0,50	1,00	1,30
Содержание углерода %	0,20	0,50	1,00	1,30	0,20	0,50	1,00	1,30	0,20	0,50	1,00	1,30
Прокован	18,0	30,8	39,0	49,0	30,5	54,8	75,0	90,0	34	21	17	10
Закален. в воде	34,0	50,8	75,0	88,0	45,3	74,1	108	127	28	15	11	6
Закален. в масле	29,4	49,5	57,0	82,0	34,0	69,4	91,0	115,0	30	20	11	9
Закален. в свинце	18,8	36,2	49,0	67,0	31,2	60,6	81,0	110,0	31	20	15	10

Из сравнения приведенных цифр видно, что при отрицательном закале, по сравнению с образцами прокованными, повышается коэффициент крепости, предел упругости, при чем наиболее сильно это увеличение замечается при закале в горячей воде, затем в масле и менее всего в свинце. Вязкость же хотя получается немного меньше, тем не менее остается вполне достаточной и наибольшая вязкость получится при закале в свинце, наименьшая при закале в воде. Свинцовые ванны вследствие большого угара свинца, обходятся очень дорого. Закал в масле дает наиболее благоприятные результаты: большую вязкость и значительное повышение предела упругости, почему в большинстве случаев отрицательный закал производится в масле и самый способ известен в практике под названием „закала в масле“.

Благотворное влияние отрицательного закала объясняется приведенными выше условиями кристаллизации стали, но кроме того, для больших стальных масс при указанном выше закале в масле, и живое упругое сопротивление получается больше.

¹⁾ Howe Metallurgie de l'Acier, 1894. v. I. p. 462. (Цитировано у Лабзина).

92. Условие правильной обработки литой стали. Самым выдающимся свойством литой стали является однородность ее вещества, т.е. однородность как в строении, так и в химическом составе. В хорошей ковальной или вальцованной литой стали эта однородность полная. Это свойство литой стали обнаруживается на практике тем, что орудия и инструменты, изготовленные из подобного материала, при правильно произведенной закалке не коробятся и одинаково тверды и вязки по всей поверхности. Таким образом, на ряду с крепостью, твердостью и вязкостью, однородность вещества является тем фактором, благодаря которому литая сталь занимает свое настоящее положение в современной фабрикации орудий и инструментов.

Если желательно вполне использовать это преимущество литой стали перед сварочной, даже если эта последняя находится в своем рафинированном виде, то литую сталь нужно обрабатывать таким образом, чтобы указанному свойству ее не вредила более сильная склонность литой стали к переутомлению. Вследствие этого и обработку этого материала нужно доверять лишь самым искусным кузнецам, способным данному куску материала придать желаемую форму посредством небольшого числа нагреваний. Чтобы по возможности защитить поверхность металла от окисления, рекомендуется при сложных кузнечных работах употребление легкоплавкой горшечной глины, легкоплавкость которой можно еще увеличить прибавлением соды. Для этой цели растворяют 100 граммов соды в одном литре воды и затем примешивают 1 килогр. глины; сталь погружается в холодном состоянии в полученную кашу, затем высушивается на огне и после этого накаливается как обыкновенно.

Вредное влияние на качества стали оказывает не только слишком сильное нагревание, но также и недостаточная температураковки, вследствие этого **новочный нагрев** не должен опускаться ниже известного предела (красное каление), так как при более низких температурах сталь оказывается недостаточно податливой для сильных деформаций и может при отковке дать трещины. При этом, особенно в стали с высоким содержанием углерода, может иметь место следующее явление: если твердую сталь подвергать обработке молотом в то время, когда она находится при температуре темно-красного каления и если удары молота настолько сильны, что сталь под их действием каждый раз вновь гаскаляется, то подобная сталь, будучи сломана в холодном состоянии, обнаруживает по краям излома черную кайму, различной ширины. Причиной этому служит выделение углерода отжига. Ледебур исследовал подобную сталь с черным изломом и обнаружил, что почти половина общего содержания углерода находилась в испытуемом материале в виде углерода отжига. Как известно, этот вид углерода нельзя при помощи закалки превести ни в углерод закала, ни в углерод карбида; и действительно, подобная сталь, будучи подвергнута процессу закалки, обладала после него таким же содержанием углерода отжига, как и раньше, и в закаленном состоянии поддавалась обработке напильком с такой же легкостью, как и в незакаленном.

Наиболее вредное влияние на сталь оказывает механическая обработка при температуре между 22° и 300° Ц. (Синий нагрев).

Отсюда следует важное практическое правило, по которому непременно нужно прекращать всякую механическую обработку стали, а также и железа, когда последнее перестает быть раскаленным и терит калильные цвета.

93. Классификация стали. Так как свойства стали весьма различны, то в каждом отдельном случае нужно выбирать известный сорт стали, наиболее соответствующий тем требованиям, которые ставятся по отношению к крепости, твердости способности закала и упругости.

Так как все эти свойства зависят главным образом от содержания в стали углерода, то на основании этого и можно разделить ее на несколько сортов, идущих для различных назначений.

Для *кораблестроения* употребляют сталь с содержанием углерода от 0,15% до 0,20%.

В *инженерном искусстве*, как напр., при постройке известного Фортского моста, для растягивающихся частей употреблялась сталь с содержанием 0,19%. Сталь для частей сжимающихся содержала 0,23% углерода и 0,69 марганца.

Сталь для *изготовления рельсов* содержит углерода около 0,3%.

Рельсы приготавливаются из стали с содержанием углерода от 0,3% до 0,4%

Артиллерийские орудия выделяются из стали с содержанием углерода от 0,3% до 0,5%.

Пружин из стали с содержанием углерода 0,5%.

Панцирные плиты для броненосных судов прокатываются из стали с содержанием углерода от 0,7% до 0,8%

Артиллерийские снаряды отливаются из стали с содержанием углерода от 0,8% до 0,94%, и иногда к этому добавляется от 0,94% до 2% хрома.

Смотри также таблицу § 71, стр. 78.

С наибольшим содержанием углерода готовится *инструментальная сталь*:

Бритвы	1,50%
Подпилки	1,40%
Резцы для обработки металла	1,25%
Резцы большого размера	1,12%
Зубила	1,00%
Резцы для дерева	0,85%
Плашки и метчики	0,75%

Нужно заметить, что, составляя сплавы из бедной углеродом стали с соответствующими количествами вольфрама, хрома, марганца или никеля, можно получить такие сорта, которые не поддаются действию резца, но которые сами однако не могут быть употребляемы для изготовления резцов или каких-либо других режущих инструментов, так как, несмотря на свою значительную твердость, они не обладают режущей способностью.

Эта последняя замечается только в тех сортах стали, в состав которых входит углерод в достаточных количествах; вследствие этого, с точки зрения пригодности данного сорта стали для изготовления инструментов, можно различать *два рода твердости*, именно, *активную*, или *режущую твердость*, и *пассивную*, или *твердость изнашивания*.

По виду излома можно до некоторой степени определить твердость стали, но нельзя с точностью распознать ее качества.

В мягкой стали зерно грубо и цвет излома серый; с увеличением твердости сталь получает более матовый, мелкозернистый излом и более темный цвет.

Мелкозернистость стали увеличивается с механической обработкой ее, так что, при прочих одинаковых условиях, зерно тем мельче, чем тоньше получается сталь при прокатке или ковке. Существенное влияние на вид излома оказывают также способ ломания и та температура, при которой прекращается механическая обработка стали. Так, напр., если перед ломанием сделать в куске стали надрез зубилом в *холодном состоянии*, то зерно будет грубее, чем в том случае, когда надрез зубилом делается в *раскаленном состоянии*, так как в последнем случае получается уплотнение поперечного сечения, имеющее влияние на вид излома.

При выборе инструментальной стали нужно помнить, что для *каждого инструмента должен употребляться известный сорт стали и каждому сорту стали, соответствует известная нормальная степень твердости*.

Многие весьма ошибочно полагают, что чем сталь тверже, тем она лучше и, раз уже сталь приобретена, стараются сообщить ей возможно сильный закал, нагревая ее до опасных высоких температур и быстро охлаждая. В таких случаях всегда в результате получается никуда годный инструмент, но виновата здесь не сталь, а неумелое обращение с нею. Твердую сталь можно употреблять только для мелких инструментов с тонкими частями; *чем инструмент крупнее, тем мягче должна быть сталь*.

При употреблении твердой стали для крупных инструментов тонкие, режущие ребра после закала получаются с трещинами и очень хрупкие.

Очень часто случается, что инструмент быстро тупится. Это приписывается излишней мягкости, и его стараются сильнее закалить. На самом деле, в большинстве случаев бывает совсем противоположное. Режущее ребро вследствие большой хрупкости крошится, отделяющиеся крупинки столь мелки, что кажется, как будто грань сминается. Конечно при этом старание сильнее закалить только ухудшает дело. Обыкновенно в таких случаях нужно или более отпустить закал, или же, если этого будет недостаточно, взять сталь несколько мягче.

Многие считают за достоинство стали ее блестящую поверхность. Это совершенно несправедливо, так как подобный вид поверхности достигается холодной обработкой, и потому материал получается с большими внутренними напряжениями; если такую сталь предварительно не отжечь, то приготовленный из нее инструмент будет очень хрупок.

Не следует также при выборе полагаться на вид излома, так как он для одного и того же сорта стали получается весьма различный, в зависимости от обработки.

Самое рациональное при покупке инструментальной стали указать заводу, изготовляющему ее, для чего сталь требуется, и предоставить ему самому выбрать наиболее подходящий сорт. Для избежания недоразумений от завода нужно потребовать и указания как обращаться с этой сталью.

Инструментальная сталь будет тем лучше, чем с большей легкостью она принимает закал, не давая при этом трещин, и чем большей вязкостью она обладает при данном закале.

Указанные свойства до некоторой степени исключают друг друга, потому что, как известно, у *твердой* закаленной стали пределы упругости и крепости весьма

близки друг к другу. Но именно в этом и существует различие в качестве стали. Если потребитель при изготовлении какого-нибудь инструмента выбирает более низкий сорт стали, то он должен при этом отказаться от некоторой доли твердости в пользу большей вязкости материала, потому что предмет, изготовленный из плохой стали, при всей своей твердости, получаемой при закалке, может быть совершенно негодным для работы, так как сталь, вследствие своего низкого качества, будет быстро выкрашиваться.

В тех случаях, когда изготовленному инструменту наряду с наибольшей твердостью требуется сообщить также и *возможно большую вязкость*, далее, когда предмет вследствие своей величины и формы представляет *особые трудности для закалки* и, наконец в тех случаях, когда *стоимость работы*, потребной для изготовления инструмента, *значительно превышает стоимость материала*, нужно всегда выбирать *высший сорт стали*, несмотря на его дороговизну сравнительно со сталью низших сортов. К тому же заключению можно прийти, если сообразить, что сталь лучшего качества всегда дает *более долговечные инструменты*, что, в свою очередь, влечет за собой *уменьшения расхода стали*. Наконец, в еще большей степени говорит в пользу употребления лучшего материала то обстоятельство, что при работе лучшими инструментами *производительность рабочего повышается*. Указанная зависимость весьма часто упускается из виду вследствие того, что она не бросается непосредственно в глаза и не выражается легко в цифрах.

Как мы видели, *трудности закалки растут с увеличением размеров закаливаемого предмета*; поэтому рекомендуется в наиболее затруднительных случаях для изготовления аналогичного инструмента, но меньших размеров, выбирать несколько более твердую сталь, а для подобного же инструмента, больших размеров, — более мягкую.

94. Действие на сталь и железо кислот. Если на твердую сталь капнуть хотя слабым раствором серной или соляной кислоты, то в этом месте она почернеет. Происходит это от растворения железа и отложения тонкого слоя углерода. Чем больше содержание углерода, тем сильнее будет действие кислоты.

Этим свойством стали пользуются для приготовления так называемых дамасских клинков, стволов и др., которые представляют полосатую поверхность. Это достигается тем, что свариваются вместе стальные и железные полоски, затем все протравляется кислотой, при чем сталь чернеет, а железо остается светлым.

Джонсоном ¹⁾ замечено, что железо, подверженное травлению в соляной или серной кислоте, становится более хрупким при изгибании и кручении. Эта хрупкость исчезает, если железо оставить в покое на некоторое время. Если железо нагреть до темно-вишневого жара, то хрупкость проходит сейчас же. Появление хрупкости замечается вообще в том случае, когда на поверхности железа выделяется водород, напр., помещая железо в подкисленную жидкость, пропуская через нее ток и заставляя железо быть катодом.

Ледебур ²⁾ объясняет это явление тем, что водород в момент своего выделения, выказывая большое сродство к железу, образует с ним сплав, отчего и увеличивает хрупкость металла. Чем крупнее сечение металла, тем хрупкость оказывается сравнительно меньше. Хрупкость будет тем больше, чем продолжительнее было действие кислот. Подобное явление хрупкости может замечаться в металлах, покрытых цинком для предохранения его от ржавчины; здесь образуется гальваническая пара, у которой железо катод, и под влиянием атмосферы на нем выделяется водород. Особенно заметным это явление может быть при производстве проволоки, которую травят в кислотах для удаления окалины. В данном случае сечение металла невелико, и потому хрупкость его может увеличиться очень значительно. Отжигание, как уже было сказано, уничтожает хрупкость.

¹⁾ Proceedings of the Royal Society vol XXIII, p. 168.

²⁾ Zeitschrift des Vereines deutscher Ingenieure 1895, стр. 1173.

95. Порча железа и стали от ржавчины ¹⁾. Ряд опытов, произведенных над железом и сталью, помещая их в различные окисляющие среды и держа их там в течение 4 месяцев, дал следующие результаты.

В сухом кислороде — окисления нет.

В сыром кислороде — из 3 образцов только один слегка окислился.

В сухой углекислоте — окисления нет.

В сырой углекислоте — появление легкого белого налета на железе.

В сухом кислороде и угольной кислоте — окисления нет.

В сыром кислороде и углекислоте — окисление очень быстрое.

В сыром и сухом кислороде и аммонии — окисления нет.

Из этого можно заключить, что главными условиями для энергичного окисления является совместное присутствие кислорода, углекислоты и сырости. Сталь окисляется значительно слабее железа.

Кроме того, железо может окисляться под действием сернистой и древесной кислот, очень часто находящихся в продуктах горения.

Если в дистиллированную воду поместить пластинку чистого железа, то она через несколько дней покроется в некоторых местах ржавчиной. В этих местах наверно находятся посторонние примеси в железе, которые действуют как гальваническая пара, возбуждая электрический ток

Скорость окисления весьма различна, и трудно дать указание, насколько может испортиться железо от ржавчины в известный срок. Некоторые части, как напр. листы морских судов, уменьшаются от ржавчины в среднем на 0,06 мм. в течение года, с другой стороны, дымовые трубы и крыши газовых заводов иногда совершенно уничтожаются в течение двух-трех лет.

Тувет (Twaite) дает следующую формулу, выражающую вероятную долговечность (в годах) железных сплавов, подвергающихся ржавчине. Железо предполагается одинаковой толщины, так как тонкие части подвергаются разрушению быстрее

$$T = \frac{W}{C}$$

Здесь W — вес одного квадр. фута металла в англ. фунтах, а C изменяется для различных случаев.

В е л и ч и н а C .

Материалы.	Морская вода.		Пресная вода.		Нечистый воздух.
	Грязная.	Чистая.	Грязная.	Чистая.	
Чугун	0,0656	0,0635	0,0381	0,0113	0,0176
Железо	0,1956	0,1255	0,1440	0,0123	0,1254
Сталь	0,1944	0,0970	0,1133	0,0125	0,1252

Если следить за тем, чтоб металл был хорошо окрашен, то долговечность может быть удвоена.

96. Предохранение железа и стали от ржавчины ²⁾. Самым простым средством от ржавчины может служить окраска, которую, конечно, нужно время от времени возобновлять.

¹⁾ См. Б. П. О. № 7—03, ст. Фадеева.

²⁾ См. также Preservation of Iron and Steel (I. and S. Institut. 1909). Eng. № 2264/5—09. стр. 711—742.

Хорошая краска должна прочно приставать к поверхности металла; не должна разъедать металла; быть достаточно твердой, чтобы сопротивляться истиранию, и в то же время быть настолько упругой, чтобы не давать трещин и не откалываться при деформациях металла. Краска должна быть непроницаема для сырости и не подвергаться сама действию сырости и других элементов, действующих на металл. Наиболее употребительными красками являются асфальт, естественный или искусственный, каменноугольная смола, а также краски, составленные из окислов железа (охра) или окислов свинца (сурик). Металлические окислы представляют собою пигмент, который удерживается на поверхности металла при помощи льняного масла. Краски из окиси цинка совершенно непригодны для окраски металла, так как они очень легко отстают от его поверхности.

Асфальт под действием теплоты размягчается и стекает с вертикальных поверхностей, что представляет большое неудобство. Кроме того, со временем он становится очень хрупким и, отскакивая от металлической поверхности, оставляет ее обнаженной. Вследствие этого окраску приходится довольно часто возобновлять.

Краски из окислов железа под совместным влиянием сырости и угольной кислоты, содержащихся в атмосфере, переносят кислород из воздуха на поверхность металла и таким образом порождают дальнейшее разъедание железа. Из этого ясно, что краска из окиси железа сама по себе не может предохранить железо от порчи, наоборот, она ей способствует. Точно так же льняное масло само по себе не образует при высыхании оболочки, непроницаемой для сырости, способной предохранить окраску от действия воздуха. Непроницаемость оболочки из льняного масла получается только в том случае, когда оно образует с примешанной к нему металлической окисью химическое соединение. Железная окись с льняным маслом в химическое соединение не вступает, и потому масло не может предупредить передачу сырости и кислорода воздуха на металлическую поверхность. Кроме того, как известно, окись железа в присутствии органических веществ передает им часть своего кислорода, вслед за тем сама снова поглощает кислород из воздуха и таким образом производит очень энергичное окисление или сжигание органических веществ. В данном случае таким веществом является льняное масло, которое скоро перегорает, теряет свою прочность и отлетает прочь от металлической поверхности.

Из сказанного ясно, что как асфальтовые краски, так и краски из окиси железа не пригодны для предохранения железа, хотя они часто и применяются.

Очень хорошей краской для железных металлических поверхностей является окись-перекись свинца — сурик. Он не оказывает окисляющего действия на железо, не может передавать поверхности металла кислорода воздуха, после того как краска затвердела, и не сообщает высохшему льняному маслу хрупкости. Сурик не слонится и не отстаёт от металлической поверхности подобно асфальту и железной окиси, поэтому при перекраске его не зачем совершенно очищать, как всегда делается с асфальтом и железной окисью; наоборот, старый слой сурика служит хорошим основанием для наложения дальнейших новых слоев и продолжает участвовать в предохранении металлической поверхности. Очень ценное для техники свойство сурика зависит от его способности вступать с льняным маслом в химическое соединение и образовать очень прочную, упругую оболочку, совершенно непроницаемую для сырости и газов. Нужно заметить, что сурик, подобно гипсу, будучи смешан с маслом, скоро сгущается, хотя после этого он еще настолько пластичен, что им можно красить; но уже наложенный слой такого сгустившегося сурика не будет прочен и упруг. Поэтому сурик необходимо употреблять сейчас же после смешивания, пока он

не сгустился. Нужно помнить, что для получения хороших результатов *весьма важно окраску производить надлежащим образом*, а именно: металлическая поверхность предварительно смачивается слабым раствором соляной кислоты, затем, прочищается вращающимися металлическими щетками, чтоб удалить с поверхности всю окалину и грязь; после этого поверхность промывается чистой водой, вытирается насухо и сейчас же покрывается суриком. Сурик может быть предварительно смешан с маслом до густоты теста и в таком состоянии может храниться несколько дней; перед самым употреблением его смешивают с маслом до надлежащей консистенции и красят как можно скорее, не давая сгуститься. Не следует также оставлять разведенный сурик в горшках на ночь, так как он может сгуститься и, смешанный с остальной массой, испортить ее.

Иногда рекомендуют *красить ржавое железо*, но этого ни в каком случае нельзя допускать, так как на ржавчине краска держится непрочно. Кроме того ржавчина может распространяться под слоем краски.

Иногда к сурику прибавляют около $\frac{1}{16}$ по весу сажи; она изменяет цвет сурика, делая его шоколадным и кроме того заменяет сгущение. Сурик с примесью сажи, замешанный с маслом до консистенции теста, может сохраниться, не портясь, в течение месяца.

Первоначальная краска окисью железа обходится дешевле, чем суриком, но зато она не предохраняет металла и, требуя частой перекраски, в конце-концов окажется более дорогой.

Замечательно хорошим предохранительным средством оказывается *оклейка железа бумагой*: после того, как ржавчина хорошо счищена, железо покрывают клеевой краской и плотно прижимают бумагу, пропитанную парафином. После чего вся поверхность подвергается окраске. Нужно заметить, что все эти операции следуют непосредственно одна за другой, чем сберегается время.—I. A. 150—7—20—05.

Способ Бауэр Барфа ¹⁾. В 1875 г. Bower Barff в Англии предложил покрывать железо слоем магнитной окиси. Способ состоит в том, что металл кладется в реторты и нагревается в них до температуры 550° Ц., после чего в реторту выпускается сильный перегретый пар (тоже до температуры 550° Ц.), под действием которого на железе сейчас же образуется слой магнитной окиси. Высокая температура, т. е. высокая температура реторты совместно с железом (так как вообще при 550° вода не разлагается), разлагает пар, и освободившийся водород снова может быть употреблен для дальнейшего нагрева реторты, а кислород соединяясь с железом, образует магнитную окись Fe₃O₄. Время экспозиции металла действию пара изменяется от 5 до 20 часов, в зависимости от размера обрабатываемых предметов и толщины слоя окисла; последний может изменяться от 0,25 до 2,5 мм. При продолжении процесса железо небольшой толщины может превратиться в окисел. Цвет полученного таким образом окисла темно-синий. Окисел прочно пристает к остальной массе металла, но если его каким-либо образом отломить, то окисление обнаженной поверхности идет гораздо быстрее, чем металлической поверхности, не подвергавшейся описанной обработке.

Неудобства этого процесса заключаются в его сравнительной дороговизне. Для образования килограмма магнитной окиси требуется около четырех кгр. пара. Чем толще слой окисла, тем сравнительно больше нужно пара. Реторты, подверженные попеременно сильному жару и охлаждению, служат недолго. Кроме того предметы при сильном нагреве несколько деформируются и увеличиваются в объеме. Вследствие превращения металла в окисел уменьшается прочность изделий. В строительном

¹⁾ Transactions American Society Mechanical Engineers 1884 стр. 351.

деле, если употреблять обработанное таким образом железо, заклепки окажутся незащищенными от ржавчины; у стальных изделий опускается закал.

Коэффициент упругости магнитной окиси почти одинаков с коэффициентом упругости железа, и потому окисел держится прочно на изделиях. Трубы и сосуды, подверженные действию разъедающих кислот, но покрытые магнитной окисью, служат довольно долго.

В 1888 г. Гезнер ¹⁾ предложил способ предохранения железа, представляющий некоторое видоизменение способа Bower Barff'a. Гезнер устраивает печь со вмазанными в нее ретортами, подобно газовым. Реторты нагреваются от 550° до 650° Ц., смотря по роду обрабатываемых предметов, и нагружаются изделиями, остающимися под действием жара в течение 20 минут, пока изделия приблизительно не нагреваются до температуры реторт. После этого в реторту впускается пар при низком давлении по трубке, лежащей на дне реторты. Проходя по трубке, пар разлагается, при чем водород подымается кверху и заполняет всю реторту. Чтобы давление внутри реторты не повышалось, из нее выходит трубка, которая опущена нижним концом в сосуд с водой, представляющий собою гидравлический запор, с высотой столба жидкости около 35 мм.

Впуск пара в реторту и действие его на обрабатываемые предметы продолжаются в течение 35 минут, после чего в реторту впускается нефть, которая течет под действием собственного веса в течение 10 минут. Затем приток нефти прекращают и пускают только один пар в течение еще 15 мин., следовательно, весь процесс занимает около 1 часа 20 минут.

При подобной обработке железа на его поверхности образуется соединение водорода, железа и углерода (двойной карбид водорода и железа). Химический анализ образовавшейся оболочки показывает присутствие водорода в количестве 0,2%.

Изделия остаются в реторте, пока они охладятся до 430° Ц.; затем реторта может быть открыта, и предметы вынуты без опасения, что они потрескаются от соприкосновения с воздухом. Если предметам желают сообщить особенно ровный цвет, то их пускают еще в парафин.

Как видно из описания, процесс Гезнера почти аналогичен со способом Барфа, с тою только разницею, что здесь в реторту пускают нефть, которая заставляет образоваться карбид, ускоряющий процесс.

Оболочка железа, полученная по способу Гезнера, очень прочно прилегает к металлу, ее трудно отделить даже ударами; изделие может быть изогнуто на 45°, без трещин на оболочке. Кроме большей быстроты, преимущество способа Гезнера по сравнению с Барфом в том, что предметы не изменяют своего объема и не уменьшают прочности. Как показали испытания, в некоторых случаях прочность даже увеличилась; чугуновые изделия, после обработки описанным способом становятся всегда прочнее, известны случаи, где прочность увеличивалась на 100%. Цвет оболочки черный с синим отливом. Конечно, при этом способе закаленные предметы теряют закал, но некоторые изделия могут быть закалены уже после того, как они обработаны по способу Гезнера.

Вся работа производится очень просто и не требует искусных рабочих, раз дело налажено. Этот способ может применяться во всех случаях, где применяется покрытие железа оловом или цинком, и обходится дешевле этих способов.

Весьма простым и дешевым оказывается следующий способ предохранения железа и чугуна от ржавчины. ²⁾

¹⁾ Iron Age, April 3, 1890.

²⁾ Transactions A. S. M. E., vol VI 1886, стр. 351.

Чугунный котел обкладывается кирпичной кладкой, в которой устраивается топка для нагревания котла. В котле расплавляется селитра с небольшой примесью перекиси марганца. Селитра нагревается приблизительно до температуры 350° Ц. Надлежащая степень нагрева определяется тем, что на поверхность расплавленной селитры бросают щепотку древесных опилок, которые должны воспламениться. Хорошо отшлифованные предметы погружаются в ванну и остаются там, пока не приобретут желаемого оттенка. Железо или чугун, обработанные таким образом, приобретают вид бронзированных изделий. Если цвет вынутого из ванны изделия не понравится, его опускают обратно в ванну. Когда надлежащая окраска будет достигнута, изделие охлаждается в воздухе до температуры 100° Ц., затем погружается в горячую воду, чтоб смыть селитру, и для окончательной отделки изделие из воды переносится в спермацетовое масло.

Употребляющаяся в этом процессе селитра должна быть очищенная, обыкновенная продажная будет давать неудовлетворительные результаты. При работе нужно заботиться о том, чтоб в ванну не попала вода, масло, дерево или другое горючее вещество, так как при этом может произойти разбрызгивание и горение селитры, сопровождаемое выделением удушливого дыма.

Описанный способ удобен тем, что не требует нагревания предметов до высокой температуры, поэтому они не деформируются, сталь не теряет закала и изделия получают очень красивую окраску. Применяется при изготовлении оружия, металлических украшений и т. п. изделий.

В некоторых случаях железо и чугун покрывают другими металлами, не столь подверженными раз'еданию. Покрытие производится при помощи гальванопластики или другими способами.

Гальванизирование ¹⁾ Под таким названием подразумевают в промышленности процесс, при котором металл погружается в расплавленный цинк и покрывается тонкой цинковой оболочкой. Предварительно металл должен быть очищен на поверхности от окислов, что делается или механическим путем, или при помощи травления кислотами.

Название „гальванизирование“ в данном случае не совсем правильно, так как оно заставляет предполагать участие электричества в этом процессе. Правильнее было бы назвать процесс просто *цинкованием*.

При цинковании расплавленный цинк находится в особых сосудах, величина которых зависит, как от размера гальванизирующихся предметов, так и от количества предметов, которое предполагается гальванизировать в сутки. При цинковании чугуна размер сосудов всегда больше, чем при цинковании железа, так как чугун должен находиться в цинке дольше, и для экономического производства сосуды должны содержать достаточное число предметов, чтоб рабочий постоянно находился в работе. Во всяком случае нельзя рекомендовать делать сосуды меньше 1000 мм. длиной, 600 мм. шириной и 450 мм. глубиной, иначе очень трудно поддерживать равномерную температуру цинка.

Сосуды с цинком должны нагреваться только по бокам. Для этого сосуд обыкновенно ставится на кирпичную кладку и по бокам его устраиваются из кирпича каналы, в которых может сжигаться кокс или газ; или же перед сосудом делают топку и по каналам, окружающим сосуд, пускают горячие газы. Если жар очень силен, то сосуд следует защитить тонкой кирпичной стенкой от непосредственного действия жара. При сильном нагреве железный сосуд сильно раз'едается цинком. Дымовых труб обыкновенно не делают; каналы же, окружающие сосуд, покрывают от'емными железными листами.

¹⁾ См. I. А. 1552—23—5—07 и 1646—30—5—07.

Перед погружением в расплавленный цинк предмет должен быть хорошо очищен от окислов, для этого его травят раствором серной кислоты. Наиболее подходящую крепость раствора нужно определить в каждом случае путем опыта. Если на железе окалина лежит очень неровным слоем, раствор нужно употреблять слабый, не крепче 10%, иначе кислота слишком сильно разест места, непокрытые, окалиной, прежде чем будет уничтожена окалина в других местах. Если окалина лежит ровным слоем, то для ускорения процесса можно брать раствор несколько крепче.

При цинковании чугунных изделий с их поверхности необходимо удалить весь пригоревший песок. Для этого самое удобное положить изделия на наклонную поверхность и поливать их 25%-ным раствором серной кислоты. Поливка раствором производится через каждые два-три часа и продолжается в течение 12—36 часов, смотря по состоянию поверхности чугунного литья, пока весь песок не будет растворен и смыт. После этого все вещи необходимо хорошо осмотреть, и если окажутся места, на которых песок не совсем удален, то их нужно очистить механически.

Если металлические изделия были предварительно очищены с поверхности механически, то вместо серной кислоты можно употреблять такой же раствор соляной кислоты.

После отмачивания в кислоте изделия должны быть сложены в сосуды, наполненные водой, и таким образом храниться до самого момента цинкования.

Чугунные изделия, которые подвергались слишком долго действию кислоты и затем их поверхность покрылась жирными веществами, не могут прямо подвергаться цинкованию, так как цинк к жирным поверхностям не пристаёт. Поэтому, если даже после очень долгого нахождения в ванне такие предметы и оцинкуются, то поверхность их получится негладкая и не будет иметь обычного блеска. Изделия с загрязненной поверхностью для устранения указанного неудобства нужно промывать в течение полчаса в кипящем растворе едкого натра или других щелочей. Раствор при этом должен быть очень крепок, затем изделия должны быть хорошо промыты водой и оставлены ржаветь в течение 24 часов, после чего ржавчина удаляется при помощи раствора соляной кислоты. Такого же рода операция должна проводиться в том случае, когда цинкуется изделие, состоящее из железных и чугунных частей, иначе чугуну придется оставаться в ванне слишком долго, а в это время железо получит слишком толстый слой цинка.

Очищенные, как было указано, изделия перед самым процессом цинкования вынимаются из чанов с водой, где они хранятся, и опускаются минуты на три в раствор соляной кислоты. Для этого берут одну часть соляной кислоты на 10 частей воды и к этой смеси прибавляют на 10 литров 1 кгр. нашатыря. Вынутое из этого раствора изделие, перед тем, как погружать его в цинковую ванну, должно быть хорошо просушено. Для просушки изделий при большом производстве устраиваются особые сушилки, при небольшом же числе предметов они могут быть просушены над разведенным огнем или положены на железные листы, покрывающие дымовые ходы, нагревающие цинковую ванну. При этом нужно следить, чтоб изделия только сохли, но не накаливались сильно.

Когда изделия совершенно просушены, их погружают в цинковую ванну. Сырых изделий погружать в расплавленный цинк нельзя, так как образующиеся пары могут разбрызгать цинк, и обжечь стоящих по близости рабочих.

На поверхность цинковой ванны насыпают нашатырь, который расплавляется и таким образом не позволяет окислам цинка приставать к изделиям при их погружении.

При погружении в цинк предметы поддерживаются клещами, крючками, подвешиваются на проволоке или просто кладутся в сетки и т. п., смотря по величине и форме предмета.

Чугунные изделия должны находиться в цинковой ванне от 3 до 30 мин., в зависимости от температуры ванны, размера изделий и от степени совершенства предварительной очистки предметов. Железные вещи должны выниматься из ванны сейчас же, как они примут температуру расплавленного цинка. Железо при цинковании должно быть хорошо смочено расплавленным нашатырем, плавающим на поверхности цинковой ванны, при чем весьма важно, чтоб нашатырь имел надлежащую консистенцию, которую рабочий должен определить путем опыта. Кроме того, расплавленный нашатырь должен все время поддерживаться чистым и свежим, чтоб лучше приставал к железу.

Когда предмет нагрелся до температуры расплавленного цинка и хорошо им покрылся, плавающий на поверхности ванны нашатырь счищают плоским гребком, сдвигая нашатырь в сторону, чтоб получить чистую поверхность цинка, и через это очищенное место вытаскивают изделие. При вынимании изделия поверхность его все время посыпается порошком нашатыря, что облегчает излишнему цинку стекать с поверхности оцинкованного предмета обратно в ванну. Выждавши несколько минут, пока стечет весь излишний цинк, вынутый из ванны предмет погружают в холодную воду и держат там достаточно долго, чтоб цинк мог надлежащим образом окрепнуть. Если предмет тонок и желают, чтоб его поверхность покрылась блестками, то его опускают не сразу в воду, а дают ему медленно охлаждаться на воздухе и ждут появления блесков и затем уже погружают в воду; или после появления блесков поверхность очищают соломённой щеткой, совершенно мокрой, чтоб удалить остатки нашатыря, а также уничтожить желтоватый оттенок, появляющийся вследствие окисляющего действия воздуха.

При цинковании мелких предметов последние кладутся в ковш с отверстиями и погружаются в ванну; когда они хорошо покрылись цинком, их из ковша выбрасывают на наклонную металлическую плиту, скатываясь по которой, они охлаждаются и падают прямо в сосуд с водой. При цинковании мелких предметов хорошо на поверхности ванны иметь толстый слой расплавленного нашатыря и глицерина, через этот слой предметы и вынимаются. Конечно, отверстия в ковше должны быть такого размера, чтобы свободно пропускать через себя, как расплавленный нашатырь, так и излишний металл, приставший к изделиям. Когда предметы хорошо охладились в холодной воде, их опускают на некоторое время в кипяток и затем просушивают в древесных опилках.

При процессе цинкования весьма важно, чтоб температура ванны поддерживалась постоянной и надлежащей величины. От этого условия зависит весь успех процесса. Кроме того, если температура значительно колеблется, то процесс получается и неэкономичным, так как при высокой температуре происходит большое окисление цинка и образование большого количества нагара; при низкой же температуре металл становится слишком густ и покрывает предметы слишком толстым, неровным слоем. Надлежащая температура ванны для каждого сорта предметов должна определяться опытом, для мелких предметов температура ванны должна быть несколько выше, чем для крупных.

При цинковании стоимость производства зависит главным образом от расхода цинка, при чем часть цинка идет на покрытие металлических поверхностей, а другая теряется в виде нагара, т.-е. образующегося сплава железа с цинком, из которого приготовлена ванна. Этого нагара, при неумелом обращении с ванной и при сильном нагревании, может получиться

очень много, до 50%. Образовавшийся нагар, как более тяжелый, опускается на дно сосуда. Когда нагара накопится слишком много, его удаляют при помощи ковшей с отверстиями, через которые стекает чистый цинк. Нагар необходимо вынимать из сосуда при остановке производства. Так как нагар при охлаждении дает меньшую усадку, чем железо или чугун, из которого сделан сосуд, то при скоплении нагара в большом количестве сосуд может треснуть ¹⁾.

По способу Шерарда предметы покрываются слоем цинка, не погружая предмет в раскаленный металл, и все совершается при температуре значительно ниже, чем температура плавления цинка. Прежде всего поверхность предмета очищается от ржавчины при помощи струи песка или кислотной ванны и затем помещается в герметически закрытую чугунную реторту или муфельную печь, заполненную продажной цинковой пылью. Оставаясь здесь в течение нескольких часов при температуре от 270° по 310° Ц. изделие покрывается слоем цинка, после чего оно должно медленно остынуть. Толщина слоя цинка зависит от времени, в течение которого изделие находилось в реторте. Выгоды этого процесса—более низкая температура (почти на 110 градус.), чем при обыкновенном гальванизировании и меньшая утеря цинка. При обыкновенном способе угар цинка получается очень значительный. Хотя цинк в палочках плавится при температуре 420° Ц., цинковая продажная пыль не плавится даже при температуре значительно более высокой, так что нет опасности, что пыль расплавится в реторте. См. Р. Е. 13—7—04; 795—11—06 I. A. 12—Oct. 20—04; Mach, 142—11—04; M. E. 637—5—05.

Американский завод ²⁾ „Jacony Iron and Metall C⁰⁰“ покрывает железо, предназначенное для строительных целей, сначала слоем меди, а потом, чтобы защитить медь слоем алюминия. Самый процесс ведется следующим образом: прежде всего изделие погружается в сосуд, содержащий раствор едкого натра, нагреваемый при помощи змеевика с паром. В этом растворе изделие кипятится в течение нескольких часов, чтобы удалить с его поверхности все жирные вещества, которые могли пристать при предварительной обработке. Затем изделие вынимается и хорошо промывается струей воды из пожарного рукава, после чего оно погружается во второй чан для отмачивания в слабой серной кислоте; здесь оно находится, пока не растворится вся окалина. Вынутое из этого чана, изделие тоже хорошо

¹⁾ На основании опытов, произведенных проф. Charles Burgess в университете Висконсина оказывается, что цинк, наложенный электрическим способом, сопротивляется раз'едающему действию кислот гораздо лучше, чем наложенный при помощи погружения изделия в металл.

Чтобы получилась равная сопротивляющаяся способность покрывки, достаточно отложить на квадратный фут поверхности 12 гр. для производства чего требуется 10 ампер час. Если же желают получить очень прочную покрывку, то нужно отложить 28 граммов цинка на квадрат. фут поверхности, для чего требуется 28 ампер часов. Для более скорой операции желательно употреблять большую силу тока, но при этом плотность тока не должна превосходить 18 ампер на кв. фут поверхности, наилучшие же результаты получаются при плотности тока в 14,4 ампера.

Неудобство электрического способа в том, что при таком процессе можно отложить лишь сравнительно тонкий слой, не превосходящий 30 грм. на кв. фут, при более толстом слое начинается кристаллизация и поверхность получается неправильная. Точно также недостаток этого способа в том, что слой отлагается неравной толщины, более толстый около краев. Операцию нужно вести по возможности с нейтральным раствором, так как прибавление даже незначительного количества кислоты требует уже большей силы тока и уменьшает сопротивляемость покрывки.

Сцепление покрывки с изделием часто приписывается сплаву, образуемому на границе; на самом деле этого сплава при опытах не замечалось, так как сцепление получалось значительно слабее, чем это должно было быть при наличности сплава. I. A. 387—2—2—05.

²⁾ Scientific American. Oct. 22; 1892; Sert. 9 1893.

очищается металлическими щетками, промывается водой и опускается в третий сосуд с раствором цианистой меди, где оно при помощи гальванопластики покрывается тонким слоем меди. Затем те части изделия, которые почему-либо желают покрыть более тонким слоем, обмазываются парафином, и изделие опускают в пятый сосуд, содержащий обыкновенную кислую ванну, где уже изделие покрывается толстым слоем меди. После этого парафин удаляется нагреванием, и изделие переносится в последнюю, алюминиевую ванну, где оно покрывается слоем алюминия.

В цианистой ванне требуется сила тока в 39 ампер на кв. метр при 6 вольт., в кислотной ванне—100 амп. при 4 вол. и алюминиевой—90 амп. при 2,5 вол. На каждый кв. метр обрабатываемой поверхности для железа требуется около 2,5 кгр. меди, для чугуновых или стальных отливок— около 4,5 кгр. и алюминия от 0,6 до 1 кгр. Эти цифры выведены на заводе из практики и дают вполне надежную покрывку металла, хотя и представляют несколько большими по сравнению с данными, встречающимися в руководствах по электротехнике.

Наложный таким образом слой меди и алюминия держится очень прочно и представляет очень хорошее предохранение для железа. Первоначальные затраты требуются большие по сравнению с окраской, но зато они делаются раз навсегда.

Во Франции чугунные изделия покрываются слоем меди несколько иначе, именно: медь накладывается не прямо на металл, а чугун предварительно покрывается лаком, смешанным с графитом или медным порошком, для того, чтоб увеличить его электропроводность. Покрывание лаком делается с целью избежать затруднений, связанных с очисткой поверхности и употреблением двух медных ванн. Покрытое лаком и высушенное изделие опускается прямо в кислотную медную ванну. Наложная, таким образом, медь держится уже не так прочно и может отскочить при механическом воздействии на нее. Подобным способом бронзированы фонарные столбы и статуи фонтанов на площади Согласия в Париже.

Было предположено таким же способом покрывать медью листы у кюзова корабля, прикладывая к нему переносные ванны. Насколько практичным окажется подобный способ, пока неизвестно. Главная трудность будет заключаться в хорошей очистке поверхности.

В некоторых случаях, как напр. в паровых котлах, погружение в окисляющую жидкость цинка замедляет окисление, вследствие проявления гальванического тока. В паровых котлах для предупреждения окисления железа полезно также оставлять тонкий слой накипи (0,5—1 мм.). На морских пароходах для предупреждения ржавчины в паровой котел кладут соду, так, чтобы на каждую тонну сожженного угля приходилось приблизительно 0,5 кгр. соды.

97. Сравнительные достоинства чугуна, стали, сварочного и литого железа. Чугун вследствие своей дешевизны имеет преимущество во всех тех случаях, где излишний вес не составляет неудобства, следовательно, где недостаточная его крепость и вязкость могут компенсироваться большой массой материала.

Сварочное и литое железо являются материалом более ценным. Из них литое железо вследствие самых условий его выработки представляет из себя продукт, во всех отношениях превосходящий сварочное железо.

К литому железу многие относятся с недоверием и считают его менее надежным металлом, чем сварочное железо, но подобное мнение несправедливо. Выработка литого железа, или, как его иногда называют, *мягкой литой стали*, началось сравнительно недавно, в 60-х годах прошлого столетия. Сначала оно действительно получалось не особенно хорошего качества, да кроме того с ним и не умели обращаться, не знали, что холод-

ная обработка и, еще более обработка при синем нагреве крайне вредно отзываются на качествах литого железа, делая его хрупким и понижая живое сопротивление. В таких, напр., работах, как котельные, после пробивки отверстий, гнутья плит и др. не принимали никаких мер для уничтожения вредных напряжений, которые неизбежно должны были проявиться при этом. Конечно, построенные при таких условиях котлы очень часто давали трещины, отчего и литое железо стали считать непригодным для этой цели.

В настоящее время все эти особенности при обработке литого железа хорошо известны, и его превосходство перед сварочным железом можно считать вполне установленным фактом. На международной конференции по вопросу об однообразном испытании строительных материалов, собравшейся в Цюрихе в 1895 г., была составлена особая комиссия для выяснения вопроса относительно качеств литого железа, которая должна была дать ответы по следующим трем пунктам:

1) Известны ли за последнее время случаи ненормального поведения литого железа, проявляющие себя в виде внезапного, совершенно неожиданного и, повидимому, необъяснимого разрыва последнего.

2) Сделаны ли за последнее время в технике железодельного производства усовершенствования, которые предупреждают или по крайней мере значительно уменьшают подобные ненормальные случаи разрушения литого железа?

3) Выработаны ли на основании предыдущего опыта такие средства, при посредстве которых подобные ненормальности в поведении железа можно было бы заранее предвидеть и предупредить?

По поводу этих вопросов комиссия после всестороннего обсуждения пришла к следующему заключению.

Случавшихся часто в прежнее время, повидимому, совершенно непредвиденных и необъяснимых, поломок литого железа в настоящее время совершенно не замечается; наоборот, всякая поломка может найти себе объяснение и могла бы быть заранее предвидена. Теперь известны те тела, которые, будучи примешаны к железу, сообщают ему ломкость. Известны также те пределы, внутри которых примешивание этих тел не представляет опасности, и всегда возможно при помощи химического анализа в каждом сорте железа определить количество находящихся в нем примесей. Известны также те пределы коэффициента крепости и удлинения, которые могут быть безопасно допущены. Наконец, теперь известны те ошибки и неправильные способы обработки, которые в дальнейшем могут совершенно испортить качества железа и которые поэтому не должны применяться¹⁾.

Конечно, существуют и теперь очень плохие сорта литого железа, но задача техники и состоит в том, чтоб не допускать к употреблению подобного материала и в каждом данном случае суметь выбрать наиболее подходящий сорт.

Хорошие сорта литого железа представляют материал, по сравнению со сварочным железом, более однородный, имеющий на 30%—50% больший коэффициент крепости, большую вязкость и большую способность сопротивляться ударному действию²⁾. Кроме того, листы, полосы и другие сорта литого железа могут готовиться гораздо больших размеров, чем из сварочного, что представляет большое удобство как в машиностроении, так и в инженерном искусстве, позволяя уменьшать число соединительных частей.

¹⁾Z. d. V. d. I. 1895, стр. 1168—Internationale Konferenz zur Vereinbarung einheitlicher Prüfungs-Methoden von Bau- und Konstruktionsmaterialien in Zürich 1895.

²⁾ См. статью В. А. Малышева. Об испытаниях стали, произведенных Адамсоном. Известия. Политехнического Общества. 1878/9 и 1880/81.

Применение литого железа для кораблестроения дало возможность настолько уменьшить вес судов, что они при том же объеме могут брать груза на 25% больше, чем сделанные из сварочного железа.

На столько же легче получаются и мостовые сооружения.

Сталь, которая вообще дороже железа, но вместе с тем имеет больший предел упругости, а следовательно, и большее упругое живое сопротивление, является материалом лучшим в тех случаях, когда выделяемая из него часть должна испытывать переменное или ударное действие нагрузок. Поэтому для всех движущихся частей машин сталь имеет большое преимущество перед железом.

В тех случаях, где главным условием является не крепость, а сохранение первоначальной формы, наилучшим материалом будет твердая сталь,

Сталь не пригодна там, где появление закала может быть опасно, напр., в паровых котлах. Для таких работ должно употребляться железо.

Так как с уменьшением содержания углерода повышается температура плавления стали, то в тиглях получить в расплавленном состоянии мягкий металл представляется крайне трудным, и потому в тиглях не плавят железа, с содержанием углерода меньше 0,4%, а для таких сортов прибегают к Мартеновскому или Бессемеровскому способу.

Сравнивая между собою литые сплавы железа: *тигельную сталь бессемеровский металл и мартеновский металл*, нужно сказать следующее:

В тиглях готовится почти исключительно твердая инструментальная сталь. Продукт получается самого высокого качества. По физическим свойствам с тигельной сталью не может соперничать ни бессемеровская, ни мартеновская сталь, почему способы Бессемера и Мартена применяются почти исключительно для получения сравнительно мягких сортов стали и почти безуглеродистого литого железа.

Из сплавов, полученных по способу Бессемера и Мартена, нужно отдать предпочтение последним. Вследствие большой быстроты, с которой происходит процесс в конвертере Бессемера, сплав получается не столь однородным, что и сказывается по особому виду излома, присущего бессемеровскому металлу. Мартеновский способ идет гораздо медленнее, вследствие чего все составные части сплава распределяются более равномерно по всей массе металла и сообщают ему более однородное строение. Особенно высокого качества сплавы получают приготовленные в печи Мартена на основном поде. Кроме того, при бессемеровском процессе, вследствие усиленного продувания воздуха, сплав в большем избытке насыщается азотом, а также всегда содержит в большем количестве окислы железа, вследствие этого, даже при совершенно одинаковом содержании углерода и других металлоидов, бессемеровский сплав оказывается более жестким, чем мартеновский.

В настоящее время мартеновской металл все более и более вытесняет металл бессемеровский. Во всех случаях, где нужно иметь вполне надежный по своим качествам материал, как, например, при построении паровых котлов, мостов, машинных частей, всегда предпочитается мартеновский металл. Бессемеровский же сплав, как более твердый, нашел себе больше применения при изготовлении рельсов и бандажей для колес.

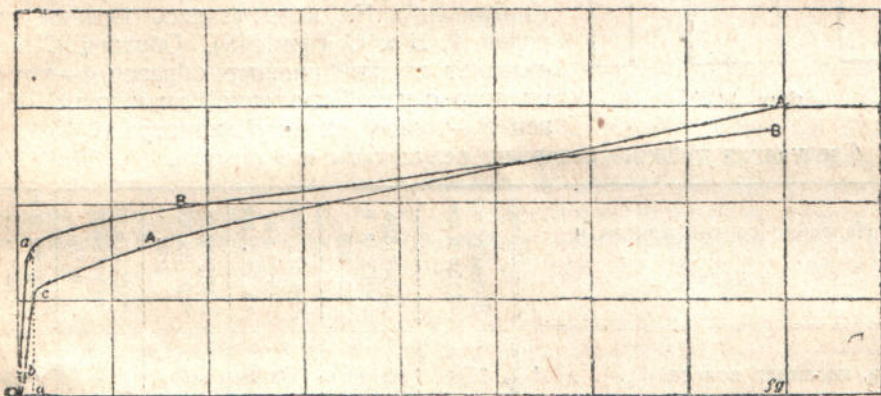
98. Способы определения доброкачественности железа и стали. При приемке материала необходимо убедиться, что он обладает теми качествами, которые от него требуются для данного назначения. Согласно с этим материал подвергается различным пробам.

Если материал должен испытывать удары, то при пробе он подвергается ударному действию. В таких случаях образец обыкновенно располагается на двух опорах и на него заставляют падать известный груз. Сообразуясь с весом падающей части, высотой падения и числом ударов, судят о прочности материала.

Желяя убедиться в вязкости металла, его изгибают на различные углы; вгоняют в отверстия конические пробойники, раздавая металл и наблюдая при этом, насколько металл трескается, судят о его вязкости. Крепость металла определяется, подвергая его растяжению на разрывных машинах. Наблюдая при этом удлинения, можно также определить и вязкость металла.

Если материал должен обладать известными качествами в нагретом состоянии, то его нужно испытать и в этом отношении, т. е. посмотреть, не краснеломок ли он, обладает ли он способностью свариваться, не принимает ли при быстром охлаждении закала и т. д.

В сварочном железе всегда полезно убедиться в том, что внутри его нет пленок, и что оно все хорошо проварено. Для этого железные листы постукивают молотком; при существовании пленок слышится дребезжащий звук. Или берут железные полоски, надрубают их до различной глубины и потом сгибают, тогда при дурной проварке железо будет расслоиваться.



Фиг. 47.

Для испытания заклепочного железа лучше всего заклепать несколько заклепок; потом разрубить их и посмотреть, какое строение приняло железо. В изломе оно должно быть шелковистое.

Производя подобные испытания, нужно помнить, что существуют некоторые обстоятельства, которые, если их не иметь в виду, могут повести к весьма ложным заключениям.

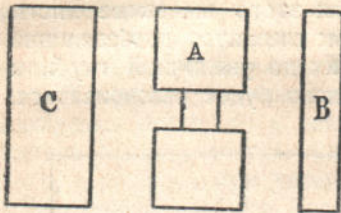
Так, напр., нужно непременно часть образцов отжигать и сравнивать результаты испытаний над отожженными и неотожженными образцами. Некоторые сорта железа, прокатные в холодном состоянии, могут показывать искусственно повышенный предел упругости и коэф. крепости, которые потом совершенно изменятся, в особенности, если металл при обработке будет подвергаться нагреванию.

Проба литого железа только на изгиб не дает надежных результатов, так как во многих случаях образцы, которые в холодном состоянии были изогнуты на 180° без трещин, при испытании на растяжение оказались хрупкими.

При испытании на разрывных машинах недостаточно для сравнения качеств двух материалов иметь только их коэффициенты крепости и удлинения; необходимо иметь также по крайней мере предел упругости, а еще лучше если имеются все величины для вычисления живого сопротивления или имеется диаграмма растяжения. Действительно, если будут даны два материала, у одного коэффициент крепости 42 и удлинения 25% , у другого

коэффициент крепости 38 и удлинения 24⁰/₁₀₀, то, конечно, всякий скажет, что первый материал лучше. Но если к этому прибавить, что предел упругости первого 15, а второго 2⁰, то уже явится сомнение, какой из этих двух материалов лучше. Рассмотрение же диаграммы (фиг. 47) разрыва этих образцов окончательно убеждает, что второй образец гораздо лучше, ибо хотя он и обладает коэффициентом крепости несколько меньшим, но зато как его упругое, так и полное живое сопротивление гораздо больше.

При испытании на разрывных машинах могут получиться различные результаты в зависимости от того, какой формы, каких размеров употребляются образцы и каким образом производится определение относительного удлинения.



Фиг. 48.

99. Влияние формы испытываемого образца на коэффициент крепости. Зависимость коэффициента крепости от формы образца впервые ясно подтвердил многочисленными опытами Киркальди¹⁾. Им испытывались образцы трех родов А, В и С (фиг. 48). Образец С представляет гладкий цилиндр, образец А—тот же цилиндр с узкой проточкой диаметра *d*, образец В—тонкий цилиндр диаметра *d*.

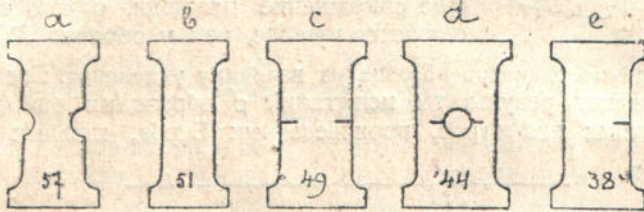
Следующая таблица содержит результаты его опытов.

Название сортов железа и заводов.	Диаметр образца в мм.	Площадь сечения в кв. мм.	Разрывающ. усилие в кг. на кв. мм.	Напряжен. кгр. на кв. мм.	Разность на пружения В ⁰ / ₁₀₀ .	Сжатие поперечн. сеч. В ⁰ / ₁₀₀ .
Govan, кованная полоса А	17,8	249	17249	69	} 38	13
" " " " " " В	17,8	249	12533	50		36
" " " " " " С	25,4	507	25601	50		40
Low-Moor, полоса сам. тверд. А	18,5	269	17427	64	} 30	8
" " " " " " В	18,5	269	13435	49		49
" " " " " " С	25,4	507	23236	45		51
Bowling, полоса самая мягкая А	18,5	269	12711	47	} 20	27
" " " " " " В	18,3	263	10359	39		55
" " " " " " С	25,4	507	20923	40		56
Bradley BB А	17,8	249	13753	54	} 25	19
" " " " " " В	17,8	249	10893	43		51
" " " " " " С	25,4	507	21240	41		52
Port-Dundas Ex. B. Best. А	18,0	254	10893	42	} 23	8
" " " " " " В	17,8	249	8579	34		11
" " " " " " С	27,7	602	18399	31		10

¹⁾ Kirkaldy Experiments on wrought iron and steel, стр. 172.

Из этой таблицы видно, что образцы с узким прорезом дают во всех случаях коэффициенты крепости гораздо большие для одного и того же материала. Разница достигает до 38%.

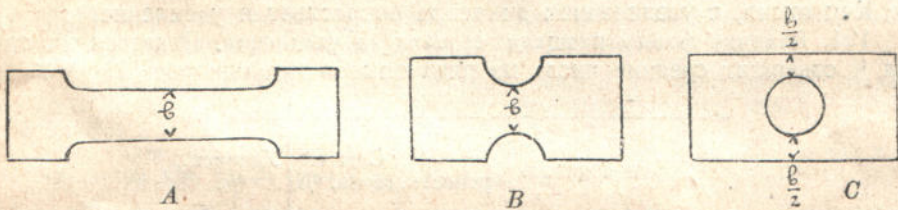
Это объясняется, во-первых, тем, что при разрыве цилиндрического образца он рвется в наиболее слабой части, так как крепость материала не бывает совершенно одинаковая по всей длине. Образец же с проточкой рвется именно в месте проточки, следовательно, вообще, не в самом слабом месте.



Фиг. 49.

Во-вторых, главным образом оттого, что форма образца не позволяет сжиматься поперечному сечению, как это ясно видно из последнего столбца, так что площадь разрыва у образца с проточкой гораздо больше, чем у цилиндрического, поэтому и крепость его больше. Если же определить коэффициент крепости, относя разрывающую силу к площади разрыва, то во всех трех случаях *A, B, C* он получается приблизительно одинаковым.

Бекер производил опыты с образцами, приготовленными из листовой стали и имеющими форму, показанную на фиг. 49. Образцы *c, d, e* были



Фиг. 50.

надпилены тонкой пилой, нагреты почти до сварочного жара и в таком состоянии прорезы закрыты, так что их не было заметно простым глазом. Выставленные на них цифры показывают соответственные коэффициенты крепости. Из сравнения этих цифр видно, насколько форма образца влияет при определении коэффициента крепости. То же самое нашел и Стромейер ¹⁾. Испытуемые образцы, вырезанные из одного и того же листа, имели форму, показанную на фиг. 50.

В приведенной таблице даны результаты его опытов.

Форма.	Ширина мм.	Толщина мм.	Удлинен. отверст.	Удлинен. на 50 мм.	Удлинен. на 200 мм.	Коэфф. крепости кгр. на кв. мм.
<i>A</i>	35,0	12	—	—	25,5	44,0
<i>B</i>	46,8	12	50,0	26	—	47,4
	31,8	12	40,0	18	—	48,0
	18,0	12	27,5	14	—	47,7
<i>C</i>	54,0	12	54,0	28	—	46,0
	44,0	12	50,0	26	—	47,0
	34,0	12	46,0	22	—	45,0
	28,4	12	41,2	22	—	45,0

¹⁾ Proc. Inst. of civil. Engineers, 1884.

Самым слабым оказался образец *A*, *C*—крепче, и самый крепкий—*B*. Казалось бы, что *B* и *C* находятся в одинаковых условиях, так как *B* можно получить из *C*, разрезав последний по длине и сложив вместе внешние стороны. Но при растяжении результаты получаются различные, вследствие того, что образец *C* примет форму, показанную на фиг. 51, и получит большее сокращение площади, отчего его крепость окажется меньше, чем у образца *B*.



Фиг. 51.

100. Влияние размеров образца на величину удлинения. Следующая таблица представляет результаты испытаний с образцами одной и той же длины, различных диаметров, произведенных Барба, главным инженером завода Крезю.

Диаметр.	Длина.	Кoeffиц. крепости.	Удлинен. %.
20 мм.	100 мм.	37,0	37
10 "	100 "	36,9	30
5 "	100 "	37,6	25

Как видно, с увеличением диаметра возрастает и удлинение.

101. Влияние формы площади сечения на удлинение. Приведенная таблица ¹⁾ содержит средние числа из ряда опытов над однород-

Форма сечения.	Кoeffиц. крепости.	Сжатие сечен. %.	Удлинен. %.
Круглое	41,5	58,3	32,7
Квадратное	41,7	57,3	33,7
Прямоугольное.	39,6	56,5	36,0

Отсюда видно, что образцы с прямоугольным сечением дают удлинение большее, чем круглые.

При опытах с полосой в 10 мм. толщины и при ширине в 10 20 30 40 50 60 70 80 мм. получились удлинения на 100 мм. 31 34 35 37 39 40 38 34%.

Следовательно, наибольшее удлинение получилось при отношении сторон 1:6.

102. Влияние на коэффициент крепости времени, употребленного на разрыв образца. Еще Киркальди ²⁾ при своих опытах нашел, что быстро разорван-

¹⁾ Bach, Elasticität und Festigkeit, ср. 29

²⁾ Kirkaldy, Experiments on wrought iron and steel, ср. 82.

ные железные и стальные образцы выказывают меньшую крепость, чем образцы, разорванные медленно.

Разница в коэффициенте крепости достигает до 180% ¹⁾.

Профессор Торстон ²⁾ на основании многочисленных произведенных им опытов разделяет все металлы на два класса.

К *первому классу* относятся металлы, коэффициент упругости которых может быть повышен. *Коэффициент крепости* оказывается у них *тем больше, чем медленнее происходит разрыв*. Типичным представителем этого класса является обыкновенное железо.

К *второму классу* относятся металлы, предел упругости которых вообще не повышается. *Коэффициент крепости их тем больше, чем быстрее происходит разрыв*. Типичным представителем этого класса может служить олово, по Лешателье — цинк. К этому же классу относятся большинство литых металлов, а также и сильно отожженное железо.

При разрыве чугуна и твердой стали время, повидимому, не оказывает большого влияния.

К счастью, наиболее распространенные сплавы в машиностроении и в инженерном искусстве — сталь, железо и чугун относятся к первому классу и потому является возможным определять для них вполне надежный коэффициент крепости.

103. Ударные испытания надрезных образцов. В последнее время предложены ударные пробы надрезных образцов (см. Бюлл. П. О. 1903), дающие якобы более характерные признаки доброкачественности металла. Pierre Brinel в докладе своем Iron and Steel Institute (1904) указывает на то, что подобного рода испытания, представляя большую сложность, являются ненадежными в смысле однообразия и вообще не представляют никаких преимуществ по сравнению с правильно производимыми испытаниями ненадрезанных образцов Eng. 727—5—04.

Статья Шаргу об исп. надрез. образцов, доклад на Международн. Конгрессе по испыт. матер. в Будапеште, помещена в „Baumaterialienkunde“ Oct. 1 и 15, Nov. 1 и 15, Dec. 1 и 15, 1903.

Описание опытов Фремона с надрезан. образцами.—А. М. 415—4—06 и I. А. 830—9—3—05. См. также Impact test. М. Е. и Eng. 04 и 05.

104. Способы определения относительных удлинений. Если испытуемый образец разделить на равные части, отметить их черточками и подвергнуть растяжению, то будет заметно, что сначала расстояния между черточками изменяются равномерно по всей длине, а следовательно и удлинения распределяются равномерно вдоль образца. Затем равномерность нарушается. У краев удлинения становятся меньше, а по середине больше. Наконец, появляется сильное местное удлинение и вместе с этим сжатие поперечного сечения. В этом месте начерченные линии искривляются за исключением средней, которая остается совершенно прямой, и по ней образец разрывается. Иногда появляется два местных удлинения и только в очень редких случаях три.

Нижеследующая таблица представляет результаты опытов Тауна и Онвина над распределением удлинений в различных частях образца после разрыва. Образцы были разделены на 10 равных частей, и затем после разрыва определялось удлинение каждой части в ‰. Удлинения, написанные курсивом соответствуют части, в которой произошел разрыв.

¹⁾ Большое различие получается при опытах с тонкими проволоками, а при опыте с нормальными брусками этого различия обыкновенно не замечается, и потому при практических испытаниях, можно влиянием времени пренебрегать, лишь бы испытание велось медленно 5—10 мин. Явление это известно также под названием *Самопроизвольного отжига*. См. статью Лешателье в „Инженере“—№ 3, стр. 90—04.

²⁾ Thorston, Steel and Iron.

Материалы.	ДЕЛЕНИЕ ОБРАЗЦА.									
	1	2	2	4	5	6	7	8	9	10
Железо.										
Угловое	0,05	06	06	06	06	065	07	08	135	08
Швелер	0,09	11	08	10	23	14	11	10	10	09
Заклепочное . . .	0,17	195	23	57	26	23	25	23	23	18
Квадратное	0,24	22	22	22	21	27	50	50	26	18
Полосовое	0,11	16	14	10	10	10	10	10	10	—
Сталь.										
Листовая	0,70	30	22	19	19	15	15	16	—	—
Оси	0,16	17	21	21	18	17	21	65	46	17
Бандажи	0,02	06	08	21	67	22	05	02	03	06

Из приведенной таблицы видно, как неравномерно распределяются удлинения по длине образца, а потому при определении относительного удлинения весьма важно, на какой длине образца производить измерение его. Так, напр., если взять образец заклепочного железа и произвести измерение удлинения только в делении 4-м, то относительное удлинение будет 0,51
 если измерять в делениях 3-м, 4-м и 5-м 0,33
 если брать удлинение по всей длине 0,24

Германские испытательные лаборатории предлагают следующий прием для определения относительного удлинения. Образец делят на известное число частей n и определяют удлинение каждой части. Затем, если разрыв произошел не по середине, то сумму удлинений n частей составляют так, как-будто эти части были расположены симметрично относительно места разрыва, и, деля полученную таким образом сумму удлинений на n , получают относительное удлинение.

Так, напр., для случая заклепочного железа нужно взять сумму

удлинения 4-й части	0,51
удлинений 1-й, 2-й, 3-й, 5-й, 6-й, 7-й частей	1,335
2 удлинения 8-й части	0,46
удлинение 9-й части	0,23

Сумма удлинений 10 частей = 2,535

Относительное удлинение $i = 2,535 : 10 = 0,2535$.

105. Однообразное испытание материалов. В виду большой важности определения качества материала, для этой цели устраиваются *механические лаборатории*, снабженные всеми необходимыми приборами для производства испытаний.

Первая механическая лаборатория для испытания строительных материалов была устроена в 1888 г. Давидом Киркальди, в Глазго.

Полезность подобного учреждения стала очевидной для всех, и вскоре, по примеру Киркальди, стали образовываться лаборатории и в других местах. В настоящее время механические лаборатории имеются при большинстве технических школ и почти на всех хороших железоделательных и механических заводах.

Отдельные лаборатории, употребляя для испытания образцы различной формы и размеров, необходимо получали результаты, непригодные для сравнения друг с другом. Для устранения этого недостатка, по предложению проф. *Баушнера*, директора механической лаборатории при Мюнхенском политехникуме, в 1884 г. была созвана в Мюнхене конференция для установления однообразных методов испытания. Затем такие конференции стали собираться периодически в различных городах Европы. Результатом этих конференций явились некоторые постановления по однообразному исследованию материалов, которые приняты большинством механических лабораторий. Главные из них состоят в следующем ¹⁾,

Всякая *машина*, предназначенная для технических испытаний материалов, должна быть так устроена, чтобы можно было верно и легко поверять ее точность.

Устройство машины должно быть таково, чтобы при правильном управлении ею нагрузка действовала совершенно без удара.

Приспособления для *закладки* в машину испытываемых образцов должны быть таковы, чтобы растяжение или сжатие передавалось на сечение пробного образца *как можно равномернее* (не эксцентрично).

Ударные пробы производятся на нормальном приборе особого устройства, так называемом *нормальном копре*.

Не принимая на себя проектирования полного устройства нормального копра, конференция дает точные указания только относительно тех частей прибора, от устройства которых может зависеть результат опыта.

В виду существующих устройств, а также и потому, что результат в широких пределах зависит только от *величины работы*, исполненной копром, вес бабы допускается в 500 и 600 крг., преимущественно же предлагается для бабы вес в 500 кгр.

Форма бабы должна быть такова, чтобы центр тяжести всей массы ее лежал как можно ниже. Помощью лапы и чеки прикрепляется к бабе особая передняя часть, — *бок*, из кованной стали, точно центрированный относительно линии центра тяжести бабы, что должно быть указано особыми метками. Линии центра тяжести бабы должны совпадать с *среднею линиею направляющих бабы* — *проводков*.

Отношение длины направляющей части бабы к расстоянию между направляющими должно быть больше 2:1. Направляющие делаются из металла, напр., из железнодорожных рельсов и должны быть так устроены, чтобы при падении бабы не было никакой игры. Смазка направляющих рекомендуется графитом.

Приспособление для расцепки бабы должно быть так устроено, чтобы бабу не заседало в направляющих, для чего часть, ведущая расцепной прибор, должна обладать особенно правильным движением. Подвеска расцепного прибора должна находиться на линии центра тяжести бабы. Между расцепным прибором и бабою вводится короткая подвижная часть, напр.

¹⁾ Mittheilungen aus dem mechan. Laboratorium in München Heft XIV.

Н. Белелюбский. Однообразное испытание строительных материалов Мюнхен 1884, Дрезден 1887.

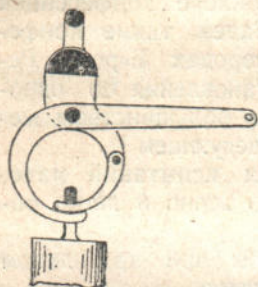
цепь или канат. Особенно рекомендуется расцепной прибор представленный на фиг. 52, официально употребляемый в России.

Опорные части для пробных тел должны быть прочно укреплены в опоре копра, напр., посредством клиньев.

Вес опоры (стула) должен быть по крайней мере в 10 раз больше веса бабы.

Фундамент копра должен быть не упругий, из прочного каменного массива, величина которого обуславливается местными условиями грунта.

Передняя часть бабы — *бок* делается всегда плоскою; в различных же случаях, при испытании рельсов, осей бандажей, рессор и пр., употребляются соответственной формы накладки на испытываемые тела с верхней плоской гранью. Накладки эти должны быть по возможности легки.



Фиг. 52.

Копры с *высотой падения не более 6 метр.* заслуживают больше доверия, чем с большей высотой, и потому советуется при устройстве копров вновь — не превосходит высоту в 6 метр. При больших ударных работах лучше пользоваться бабою весом в 1000 кгр.

Ударная работа определяется по *действующему весу бабы и высоте падения.* — Полный вес бабы должен быть такой, чтобы действующий вес ее составлял круглое число, напр., 500 кгр.

Для определения *действующего веса бабы* можно поступать следующим образом:

Между бабою и рабочим канатом вводят достаточно сильный динамометр и отмечают действующий вес бабы во время медленного спуска ее. Таким образом получается вес бабы, за вычетом трения, при поднятии же бабы определится вес ее, включая и трение.

Копры, в которых работа трения — более 2% полной ударной работы, признаются негодными.

Относительно самого *производства опытов* следует еще иметь в виду нижеследующие положения:

Нормальный копер предназначается главнейшим образом для испытания цельных предметов, как-то: рельсов, осей бандажей, рессор и т. п.

Так как рабочая емкость (величина работы) какого-либо копра в широких пределах зависит от величины произведения из высоты падения и действующего веса бабы, а не в отдельности от каждого из этих факторов, то советуется принимать в основание опытов за единицу *метротонну* и для величины работы выбирать всегда только такие числа, которые делятся на 500, скалу же высот на копре необходимо делить не на метротонны, а на полуметротонны.

Советуется пользоваться *подвижною скалою*, так, чтобы нуль ее мог быть всегда переставлен соответственно высоте испытываемого тела.

Признается достаточною производимую ударом стрелу прогиба, при расстоянии между опорными точками от 1,0 до 1,5 метр., определять с точностью до 1 мм.

В виду сравнения результатов опытов, предлагается записывать в „журнале испытания“ и опубликовывать все особенности, относящиеся до употребленного метода испытания (как-то: последовательность ударов, производилось ли испытание с перерывом, было ли пробное тело переворачиваемо или нет), а также все явления, сопровождавшие опыт.

106. Нормальная форма образцов при испытании на разрыв. *Круглые образцы* приготавливаются четырех типов, а именно: при одной и той же расчетной длине в 200 мм., диаметром в 10, 15, 20 и 25 мм., смотря по надобности и возможности приготовления.

Цилиндрическая часть образца сверх расчетной длины 200 мм. имеет еще с обоих концов по 10 мм., всего 220 мм.; удлинение же измеряется только на длину в 200 мм.

Расчетная длина *плоских* образцов, подобно круглым, назначается также в 200 мм., при полной длине, как и в первом случае, 220 мм.

В тех случаях, когда ширина и толщина плоских образцов может быть выбрана произвольно, ширина должна быть 30, а толщина 10 мм., *сечение 30 на 10 мм.*, считается вообще *нормальным*.

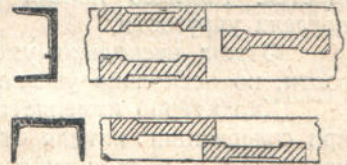
Если толщина материала дана, как напр. в листах, то при толщине до 24 мм. (включительно) ширину плоских образцов брать в 30 мм., а при толщине с 25 мм.—последнюю принимать за ширину образца, а толщину образца брать в 10 мм. Чтобы в последнем случае не терять поверхности прокатки, образцы несколько утолщаются по концам, и тем образуются головки для закладки образца в машину.

Из полосового углового, одно-и двугаврового, фасонного в виде [] железа, стали и т. п. вырезаются плоские образцы с расчетною длиною в 200 мм. и шириною никак не больше 30 мм. При большей ширине полосового железа или полок углового железа, а также фланцев и стенки фасонного железа (Т, I, U и т. п.) образцы распределяются по длине штуки так, чтобы в испытание вошло все сечение ее, при чем берется два и более образцов или рядом один возле другого, или в шахматном порядке, запуская один за другой (фиг. 53).

Поверхность прокатки в образцах *должна быть сохранена* во всяком случае.

На этих же конференциях были установлены и общие положения, которыми нужно руководиться при заказах и приемке материалов. Некоторые из этих положений оказались в применении на практике не совсем удобными, вследствие чего в 1892 г. соединенными обществами германских архитекторов, германских инженеров и германских заводчиков эти постановления были вновь пересмотрены и исправлены.

Результатами их совместной работы явились новые нормальные условия¹⁾, которым должны удовлетворять железо, сталь и чугун, как строительные материалы.



Фиг. 53.

Сплавы железа с металлами.

Специальные стали²⁾.

107. Сплав железа с никелем. Никелевая сталь. Сплав может быть получен присадкой к расплавленному железу в мартеновской печи металлического никеля или, как это делают в Америке, железа-никеля. Так как никель почти совершенно не соединяется с кислородом, то для очистки металлической ванны в конце операции прибавляют еще немного ферромангана (железомарганца), и потому небольшое количество марганца всегда присутствует в сплаве. В расплавленном состоянии этот сплав гораздо жиже, чем обыкновенная сталь, и дает более чистые отливки.

¹⁾ Normalbedingungen für die Lieferung von Eisenkonstruktionen, aufgestellt von dem Verbands deutscher Architekten- und Ingenieur-Vereine, dem Vereine deutscher Ingenieure und dem Vereine deutscher Eisenhüttenleute.

См. также прежнее издание Техн; Металлов, или „Технический Сборник“ 1893 г. № 6 и 7.

²⁾ См. М. Е. 607—10—03; 428—II том. 03; I. А. Ang.—20—03.

В виду большого распространения, которое этот сплав получил как строительный материал для панцырных плит, паровых валов и винтов, динамо-машин и паровых котлов, в последнее время он получает применение и в машиностроении; немецким обществом „*Vein zur Beförderung des Gewerbflusses in Preussen*“¹⁾ были предприняты специальные испытания этого сплава для выяснения его физических свойств. Сплав составляется из чистого никеля и почти чистого железа. Из этих опытов выяснилось, что коэффициент упругости сплава уменьшается по мере того, как содержание никеля возрастает до 16%. С другой стороны, сплав никеля (98%) с железом (2%) выказывал больший коэффициент упругости, чем чистое железо. Коэффициент крепости возрастает с увеличением примеси никеля (от 49 кгр. до 150 кгр на кв. мм.), пока его содержание в сплаве не достигает 10%. После этого по мере возрастания примеси никеля до 0%, коэффициент крепости сильно уменьшается, затем немного увеличивается, при увеличении примеси никеля до 60%, после чего вторично понижается. Предел упругости и начало видимых удлинений по мере возрастания содержания никеля до 10% повышается (от 30 до 100), а затем все время, хотя очень незначительно понижается.

Вязкость сплава сначала с увеличением примеси никеля уменьшается, при содержании никеля в 16% почти равна нулю, затем увеличивается и достигает при 60% наибольшей величины, после чего вторично уменьшается. Примесь никеля оказывает наибольшее влияние на повышение предела упругости.

Отжиг несколько уменьшает коэффициент крепости и предел упругости, но несколько увеличивает вязкость.

Характерно изменяется излом. Когда никеля 0,5%, сплав пузыристый; при содержании никеля от 1 до 3% — плотен; затем излом постепенно переходит в мелкозернистый, зернисто-кристаллический и игольчато-кристаллический.

Сплавы с содержанием никеля до 5% могут легко обрабатываться. С большим содержанием никеля сплав становится слишком твердым.

При содержании никеля до 1% сплав хорошо сваривается, затем эта способность утрачивается.

Благодаря высокому пределу упругости никеля сталь оказывается особо пригодным материалом для изготовления таких деталей, которые подвергаются повторительным нагрузкам и ударному действию: пальцы кривошипов, шатуны, штоки, валы и т. п. Справедливость этого ясно подтверждается опытами, произведенными в Уотертаунском арсенале Американских Соединен. Штатов. При этих опытах оказалось, что при напряжении в 25 кгр. на кв. мил. мм.

— Сварочное железо выдержало	59000	повторительн. нагрузок
— Сталь с содержанием углерода 0,35%	317700	” ”
— Сталь с содержанием углерода 0,30% и никеля 3,5% . . .	1850000	” ”
— Сталь с тем же содержанием углерода и никеля 4,5% . .	3360000	” ”
— Сталь с тем же содержанием углерода и никеля 5,5% . .	4370000	” ”

Сплав железа с 5% никеля выказывает предел упругости в 44 кгр., коэф. крепости в 80 кгр., дает удлинение в 16%. Таким образом этот

¹⁾ Verh. des Vereins z. B. d. G. 1896, стр. 65.

сплав, выказывая достаточно большую вязкость и в то же время очень высокий коэффициент крепости и предел упругости, является очень пригодным материалом для деталей, подвергающихся ударному действию: автомобильных рам, каленчат. валов и т. п.

Этот же сплав с содержанием 5% никеля нашел громадное применение для изготовления броневых плит. Благодаря большей крепости и вязкости эти плиты прекрасно сопротивляются, ударному действию снарядов. Для повышения еще более указанных качеств плиты закаливаются и затем отжигаются.

Магнитные свойства никелевой стали увеличиваются с увеличением содержания никеля до 5%, а затем при дальнейшем увеличении магнитные свойства начинают уменьшаться, так что сталь с содержанием никеля в 25% совсем не проявляет магнитных свойств. Если такой сплав охладить до -20° Ц., то сталь снова приобретает магнитные свойства и сохраняет их при нагревании в пределах до 580° Ц. По достижению же этой температуры магнитные свойства вновь утрачиваются и могут быть приобретены опять лишь по охлаждению до -20° .

Электропроводимость никелевой стали очень слаба.

С небольшим содержанием никеля сплав не блестящий, более же богатые никелем сплавы имеют блестящую поверхность. Сплав с содержанием 18% никеля почти совсем не окисляется. При меньшем содержании никеля ржавчина появляется, но значительно слабее, чем на обыкновенной стали.

108. Митис (по-латыни значит—мягкий, вязкий). Под этим названием известен сплав железа с ничтожным количеством алюминия. Получен он был впервые шведскими инженерами Винтенстромом и Остбергом ¹⁾. Для получения *митиса* железные опилки нагреваются в тигле до тестообразного состояния и к ним прибавляют алюминия около 0,1%. Алюминий, соединяясь с железом, выделяет теплоту, и сплав получается в жидком виде. Митис имеет коэф. крепости около 45 кгр. на 1 кв. мм. дает удлинение до 20% и, сравнительно легко плавясь, хорошо отливаются в формы.

109. Марганцовая сталь. Этот сплав получается, прибавляя к расплавленному железу расплавленного же или сильно подогретого ферромангана; при этом в сплав всегда попадает несколько углерода, который оказывает вредное влияние; а потому нужно стараться по возможности уменьшить его содержание.

Для этого нужно брать по возможности богатый ферроманган. Потому же марганцовая сталь не может быть приготовлена в тиглях, так как при этом происходит большое поглощение углерода из материала тигля.

Примесь марганца в незначительном количестве, до 2%, увеличивает твердость и крепость сплава, но железо с содержанием марганца от 2,5% до 7% представляет сплав крайне хрупкий и непрочный. В литом состоянии его коэф. крепости не превышает 5,6 кгр. на кв. мм. Ковка может повысить его до 39 кгр., но удлинение все-таки остается очень малым, не более 3%.

С увеличением содержания марганца увеличивается *крепость и вязкость сплава и достигает наибольшей величины при содержании марганца от 14% до 16%*. При дальнейшем увеличении хотя крепость и остается некоторое время постоянной, но вязкость начинает уменьшаться. Когда содержание марганца перейдет за 20%, то как крепость, так и вязкость быстро уменьшаются. Происходит это вероятно от того, что вместе с ферроманганом в железо поступает много углерода, который и вредит прочности сплава, хотя в то же время благодаря большему содержанию марганца влияние его значительно умеряется; так напр., простая сталь

¹⁾ American Machinist, June 6, 1885 стр. 2; American Machinist 1895, стр. 585.

из них прокован и оставлен медленно охлаждаться, а остальные охлаждались с различной скоростью—в воздухе, в масле и холодной воде. Из диаграммы видно, что наиболее крепкой и вязкой сталь получилась от охлаждения в воде. Нижняя часть диаграммы дает удлинение в %.

Насколько твердой и вместе с тем вязкой получается после закала марганцовая сталь, можно судить по тому, что один образец с содержанием марганца в 14% показал удлинение 44%, а вместе с тем, чтобы просверлить в этой стали на сильном сверлильном станке и хорошим сверлом отверстие диам. $\frac{1}{2}$ " на глубину $\frac{3}{4}$ ", потребовался целый час времени ¹⁾.

Марганцовая сталь, обладая большим живым сопротивлением, представляет прекрасный материал для частей, подверженных ударам. Так, напр., производились следующие сравнительные опыты над марганцовой сталью с содержанием 12,55% марг. и с обыкновенной сталью. Стальные оси из того и другого материала подвергались ударам падающего груза; после каждого удара замечался прогиб и ось поворачивалась на 180°. Оказалось, что оси из обыкновенной стали выдержали до излома работу удара в 48 футов-тонн и дали общую сумму прогиба в 105", тогда как из марганцовой стали выдержали работу удара в 498 футов-тонн и общий прогиб равнялся только 30". (Высота и вес падающей части в обоих случаях были одинаковы).

Как оказывается из опытов, качества марганцовой стали, при нагревании ее до 200° Ц. почти не изменяются.

Обработка ее при синем нагреве вредит значительно меньше, чем в случае обыкновенной стали. По опытам Стромейера, марганцовая сталь при синем нагреве выдерживала от 21 до 35 изгибов, тогда как хорошее железо Low-Moog выдерживало только 3—5 изгибов.

Несмотря на такие прекрасные качества материала, марганцовая сталь вследствие ее большой твердости находит пока очень небольшое применение. Невозможность обрабатывать сталь резанием ограничивает употребление ее только в виде отливок.

Вообще марганцовая сталь не обладает магнитными свойствами, но Гадфильд нашел, что, отжигая сплав при высокой температуре в течение 12 дней, ему можно сообщить эти свойства. Лешателье произвел несколько испытаний над различными разновидностями марганцовой стали, обладающими и необладающими магнитными свойствами. Он нашел, что для сообщения сплаву магнитных свойств температура отжига должна быть между 500° и 600° Ц.; наилучшие результаты получались при 500° Ц. При этой температуре достаточно двух часов, чтоб произошла перемена. Нагревая сплав до 800° Ц. и охлаждая быстро погружением в воду, магнитные свойства снова уничтожаются. При обыкновенных температурах электропроводимость сплава с магнитными свойствами гораздо больше, чем у другой разновидности, но при нагреве, до 780° Ц. электропроводимость обеих разновидностей становится одинаковой. При этой же температуре обыкновенно железо теряет свои магнитные свойства, из чего Лешателье заключает, что марганцовая сталь скорее механическая смесь железа с марганцем ²⁾.

110. Хромовая сталь готовится, расплавляя в тиглях мягкую сталь с богатым хромистым железом. Сталь обыкновенно содержит хрома до 2%, но хром может сплавляться с железом в произвольных пропорциях, образуя в одном сплаве разнородные соединения. В сплавах он легко

¹⁾ On manganese steel, by Hadfield. Paper read before Iron and Steel Institute 1888.

²⁾ Engineering 1894, part II, стр. 306.

окисляется. Присутствие хрома увеличивает способность железа насыщаться углеродом; увеличивает твердость, в особенности закаленной стали, также немного повышает коэффициент крепости и предел упругости; но уменьшает вязкость и способность свариваться. Присутствуя в железе несодержащем углерода, хром не сообщает железу способности принимать закал. Но в присутствии углерода он увеличивает эту способность, и поэтому нужно предположить, что действие хрома в стали посредствующее, т.-е. он влияет на углерод и заставляет его принимать ту форму, которая обуславливает особую твердость стали.

Окислы хрома могут образовать пленки в хромовой стали, вследствие чего эта сталь более легко может быть сожжена, чем обыкновенная сталь.

Хромовая сталь довольно тверда в отожженном состоянии, но особая твердость проявляется при закале. Она довольно хорошо куется, не особенно хрупка; не сваривается в полном смысле этого слова, но может соединяться при нагреве даже с обыкновенной сталью и выказывать при этом прочность, достаточную во многих случаях практики.

При закале и отжиге хромовую сталь нужно нагревать значительно ниже, чем обыкновенную сталь.

Присутствие хрома повышает температуру плавления железа.

111. **Вольфрамовая сталь.** На рынке такая сталь встречается под различными названиями: „Mushet-Special“. „Imperial“. „Crescent Hardened“ и др.

Вольфрамовая сталь готовится плавкой в тиглях обыкновенной углеродистой стали и прибавлением к ней желаемой пропорции вольфрамового железа.

Вольфрам сообщает стали громадную твердость: например сталь «Мушет» с содержанием вольфрама до 7,81% является наиболее твердой из всех известных на рынке, и равняется по твердости в незакаленном виде твердости закаленной хромовой стали. Такая сталь легко царапает стекло. Если сравнивать примеси по весу, то вольфрам при равных условиях не сообщает стали такой твердости, как углерод. Например, *Меткаф* указывает, что плашки, приготовленные из стали содержащей 1,37% углерода и 0,8% вольфрама, срабатывались быстрее, чем плашки из стали с содержанием 2,37% углерода. Но зато вольфрам может быть примешан к железу в количестве до 10%, и при этом может быть получена громадная твердость.

Вольфрамовая сталь очень хрупка: при содержании вольфрама около 7% уже не заметно каких-либо удлинений при разрыве, и часто такая сталь при ударах резлетается на куски. Поэтому вольфрамовая сталь не только не годится для строительных целей, но не годится также и для приготовления таких инструментов, которые подвергаются ударному действию, например, сверл для горных работ, холодных зубил и т. п. Главным образом вольфрамовая сталь пригодна для приготовления резцов для самоточек строгальных машин и др. при обработке металлов.

Вольфрамовая сталь может подвергаться ковке только между вишнево-красным нагревом и темно-желтым, и вследствие таких узких пределов из нее возможно готовить предметы лишь самой простой формы.

Сваривается вольфрамовая сталь с очень большим трудом. При применении электрического нагрева эта операция производится значительно легче и совершеннее.

Сталь даже с очень незначительным содержанием вольфрама при закале трескается. Но вольфрамовую сталь и нет надобности закалять, так как при закале она не увеличивает своей твердости и не теряет ее при отжиге.

Вследствие того, что вольфрамовая сталь остается твердой и при нагревании до высокой температуры приготовленным из нее резцам можно придавать значительно большие скорости резания, и таким образом увеличивать производительность работы машин-орудий. См. § 80, стр. 150.

После нескольких последовательных нагревов вольфрамовая сталь, повидимому, окисляется, и теряет свои специфические свойства.

Будучи намагничена, вольфрамовая сталь замечательно хорошо удерживает магнетизм.

112. Кремнистая сталь. Свойства этого сплава еще не вполне изучены и вследствие этого кремнистая сталь получила лишь небольшое распространение. В железе с содержанием углерода не более 0,25% при возрастании кремния до 2% увеличивается коэффициент крепости и сохраняется достаточная вязкость; при большем же содержании кремния коэффициент крепости продолжает возрастать, но вязкость быстро падает и сплав приобретает крупно-кристаллическое строение.

Кремнистая сталь с содержанием кремния 1,5% и углерода 0,5%, или кремния 0,8% и углерода 1% оказывается довольно хорошим материалом для приготовления инструментов, и в таком виде кремнистая инструментальная сталь получила довольно большое распространение.

113. Сложные специальные стали;

В последнее время сталелитейные заводы сделали значительные усовершенствования в приготовлении различных специальных сортов сталей. При этом стремление было направлено к тому, чтобы *повысить коэффициент крепости стали и упростить ее термическую обработку.*

Для повышения коэффициента крепости и сохранения притом достаточной вязкости пришлось прибегнуть к изготовлению все более и более сложных сплавов. При этом различаются два рода сталей: 1) стали, обладающие вышесказанными свойствами после отжига:—такие стали обладают обыкновенно большим недостатком—громадной твердостью, страшно затрудняющей их обработку—2) стали, приобретающие большую крепость лишь после закалки. Как на примеры таких сталей можно указать на следующие:

Сталь первой категории.

Никель-кремнистая.

Состав С—0,221, Ni—12, Si—1,78, Mn—0,112, S—0,011, P—0,005. Отожженная при температуре в 900° Ц. она выказала коэф. креп.—170 кгр., пред. упруг. 141, удлинение 9%. После закала при темп. нагреве до 850° Ц. в воде 20° Ц. коэф. креп. 203 кгр. кв. мм., пред. упруг. 138. удл. 4%.

В виду трудности обработки этой стали едва ли она получит практическое применение.

Из сталей второй категории укажем на

Никель-Ванадиевая сталь. Ее состав: С—0,2, Ni—7, V—0,2, Mn—0,30. Свойства после отжига: КК. 65, пр. упр. 45, удлин. 20%. После закала при 850° Ц. в воде: КК. 140, пр. упр. 120, удлин. 10%.

Никель-Хром-Ванадиевая. Состав: С—0,45, Ni—2,25, Cr—0,6, V—0,07, Mn—0,28. Свойства после отжига: КК.—70, пр. упр.—50, удлин.—20%. После закала при 800° и отпуске до 400° — КК.—150, пр. упр.—130, удлин.—6%. Сопrotивляется ударному действию после закала лучше, чем до закала (соответственно 11 и 6 кгр. кв. мм.).

Никель-Хромовая сталь. Состав С—0,173, Ni—5,47, Cr—0,18, Mn—0,55, Si—0,16. Свойства: КК.—61, пр. упр.—36, удлин. 21%. После закала в масле при нагреве до 850° Ц. КК.—130, пр. упр.—122, удлин. 5%.

Вообще в последнее время замечается стремление вводить в состав сталей ванадий ¹⁾. Он обладает свойством значительно повышать коэф. крепости при закале, не изменяя почти свойства сплава в отожженном состоянии. Хром и кремний точно так же повышают КК, при закале, но они сообщают сплаву хрупкость и изменяют несколько свойства сплава в отожженном состоянии. Ванадий получил большее применение в Англии и Америке, чем в Европе;—его применяют при изготовлении броней, пружин, штампов и друг.

Что касается до *упрощения термической обработки*, то здесь усилия сталелитейщиков были направлены к тому, чтобы получить такую сталь, которая бы не приобретала хрупкости при закалке, часто требующейся при различных производствах, и тем устранялась бы необходимость отпуска стали, всегда требующей очень внимательного отношения к соблюдению необходимой температуры, так как отпуск обыкновенно производится в пределах от 200° до 400 гр., и потому здесь разница даже в 25 град. уже может оказать сильное влияние на свойства полученной стали. *Никель-Ванадиевая сталь*, состав которой уже был приведен, удовлетворяет этому требованию. С этой же целью готовятся стали, содержащие небольшие количества никеля, марганца, кремния, но обыкновенно богатые содержанием углерода. Эти стали могут быть закаливаемы в масле при температурах 800°—900° Ц. Они имеют, напр., такой состав: С—0,46, Ni—1,25, Mn—1,14, Si—1,28.

Еще более простая термическая обработка является в том случае, когда закал получается при охлаждении воздухом. Таким свойством обладают некоторые из никелевых сталей. Таким же свойством обладают марганцовые и хромовые стали, но они неудобны в том отношении, что небольшое изменение в содержании этих примесей может привести их к стали, по строению состоящие из мартенсита, т.-е. сохраняющие твердость и после отжига. Желательно же, чтобы сталь имела строение перлита и переходила в мартенситы лишь после закала.

Вот некоторые стали, закаливающиеся в воздухе.

1) С—0,75, Ni—3,82, Cr—1,28, Mn—0,52, Si—0,17, после отжига: КК—97; пр. упр.—77, удлин. 12%. Сопр. ударн.—30. Нагрета до 850° Ц. и закалена в воздухе: КК—135, пр. упр.—132, удлин. 10%. Сопр. ударн.—8.

2) С—0,252, Ni—5,43, Cr—0,52, Mn—0,33, Si—0,22, Отожж.: КК—76, пр. упр.—63,3, удл. 18%, ударн.—20. Нагрета до 850° Ц. и закалена в возд. КК—123, пр. упр.—105, удлин.—10%, ударн.—12.

Тоже закаленная в воде: КК—143, пр. упр.—128, удлин.—8%, ударн.—10.

3) С—0,366, Ni—4,76, Cr—0,92, Mn—0,41.

Отожженная: КК—95—100, пр. упр.—80—85, удл.—12—15%.

Закален. в воде: — 159° — 125°, — 8%.

¹⁾ Примесь *ванадия* в количестве 3—5 промилль сильно изменяет физические свойства стали: почти удваивает его коэффициент крепости (при изломе, разрыве, раздроблении, ударах) и в то же время сообщает стали такую твердость, что толщина брони на судах может быть уменьшена в два раза. Такие свойства ванадия объясняются его сильным сродством к кислороду, вследствие чего самого незначительного количества этой примеси достаточно, чтобы совершенно уничтожить в стали даже малейшие признаки окиси железа, которая, как известно, сильно понижает прочность металла. Особое свойство стали с ванадием заключается в том, что наибольшая твердость ее соответствует высокой температуре 700—800 град.;— это является очень благоприятным свойством для резцов, которые могут работать при очень больших скоростях, нагреваться и не тупиться при этом. Такое же свойство весьма важно для артиллерийских снарядов, которые, как известно, сильно нагреваются при полете и ударе и не должны при этом терять своей твердости. L' Echo des Mines et de la Metallurgie приведено в Mach.—309—2—04; 704—5—11; А. М. 632—07.

См. также Materials used in Motor Cars. Спецификации америк. автомоб. заводов А. М. 736—13—11 и А. М. 82—7—09.

Г Л А В А Ш.

Медь, олово, цинк, никель, свинец, алюминий, антимоний, висмут и их сплавы.

М Е Д Ь.

114. После железа медь—наиболее важный для техники металл. Он имеет темно-красный цвет, вследствие чего чистая медь в продаже известна под названием *красной*. Этот металл очень ковкий, вязок, более чем железо, и достаточно крепок. Его удельный вес от 8,6 до 8,93. Температура плавления, согласно Пулье, около 1120° Ц. (более точно 1065. М. Е. 897—6—05). При белокалильном жаре испаряется, при чем пары сгорают зеленым пламенем. Замечательно хороший проводник теплоты и электричества. Медь почти не окисляется при низких температурах и в сухом воздухе, но это окисление идет очень быстро в сырой, насыщенной кислотами атмосфере и при краснокалильном жаре.

В чистом виде медь употребляется сравнительно в небольшом количестве, главным же образом она встречается в виде сплавов с другими металлами.

Хорошая медь должна иметь коэф. крепости не менее 20 кгр. на кв. мм. Холодная обработка, как напр. волочение проволоки, может удвоить этот коэф., но при этом медь становится твердой и утрачивает свою вязкость. *Это качество может быть снова восстановлено, нагревая медь и быстро охлаждая, т.-е. поступая как раз обратно тому, что делается при отжигании железа.* При нагревании крепость меди уменьшается, как это видно из диаграммы (фиг. 55).

Для коэф. крепости электролитической меди, которая употребляется на паропроводные трубы, Лешателье дает такую формулу, справедливую до $T=200^{\circ}$ Ц.

$$Z=21 \text{ кгр.} - 0,025 T.$$

Литая медь почти не меняет своего сопротивления до $T=500^{\circ}$ Ц. после чего сопротивление ее быстро падает.—

Коэф. крепости сильно понижается при нагревании в присутствии окислительного пламени (пайка); окисление, повидимому, проникает от поверхности к центру. Испорченная таким образом медь при малейшем изгибе дает трещины;—этим объясняются поломки паяных труб.—По исследованиям Parker'a вдали от места спайки $Z=23,8$ кгр. и удл. 33% , а около спайки $Z=17,5$ кгр. и удл. $=4,6\%$.—(Статья Лешателье. „Инженер“, стр. 94—№ 3—04).

Окислы меди очень ядовиты, и потому ее поверхность обыкновенно покрывается оловом (*лудится*) во всех тех случаях, где можно ожидать опасности от отравления.

Медь в расплавленном состоянии жадно поглощает кислород, который уменьшает ее крепость и производит отдулины, так что чистая медь отливается очень плохо, поэтому ее обыкновенно употребляют для отливок в виде сплавов. Чтобы предупредить окисление меди в расплавленном виде, на ее поверхность набрасывают истолченного угля. Кроме того употребляют тигли особой конструкции, у которых имеется отверстие в дне. Но если даже выпускать расплавленную медь из такого тигля, то, проходя по воздуху, струя уже успевает насытиться кислородом, и потому необходимо также тигель подносить при отливке близко к самому литнику.

Чтобы раскислить медь, к ней прибавляют кремния в виде сплава (3—5 частей кремния и 90—95 частей меди). Кремний, обладая большим



Фиг. 55¹).

сродством к кислороду, раскисляет медь и в виде силикатов всплывает на поверхность. При этой операции нужно следить за тем, чтобы кремния было прибавлено лишь в количестве, необходимом для раскисления, так чтобы кремния в меди не осталось, иначе он сам вредно действует на качества меди. При введении сплава необходимо медь хорошо перемешивать палкой из сырого твердого дерева, толщиной в 40—50 мм. и держать поверхность покрытой углем. По временам нужно брать пробы;—пока такие пробы показывают образование утяжин с коричневатым оттенком в середине—медь еще не очищена; чистая медь будет застывать с плоской поверхностью и ее тогда можно пускать в отливку. Дальше этого перемешивать не следует, иначе опять медь может поглотить кислород. Следуя этому способу, можно получить плотные прочные отливки из чистой меди.

Того же можно достичь, если к расплавленной меди прибавить немного фосфора. Фосфор подобно кремнию не допускает образования окислов, отчего плотность и крепость меди значительно повышаются. По испытаниям Абея, прибавляя фосфора от 1% до 4%, коэффициент крепости увеличивается от 20 до 35 кгр. на кв. мм.

¹) А—удлинения, В—коэф. крепости (опыты Лешателье), С—коэф. крепости (опыты Франклиновского института).

Для примешивания фосфора его кладут в чашку с отверстиями на конце железной полосы и таким образом погружают в расплавленный металл.

Все продажные сорта меди содержат обыкновенно примеси серы, мышьяка, кислорода и легко сплавляются со свинцом, оловом, железом, никелем, висмутом, серебром и антимонием.

Из примесей наиболее вредны сера и кислород. Даже такое количество примесей, как 0,1%, уже значительно изменяет качества меди: по свидетельству Эгельсона, ее электропроводимость уменьшается при этом на 10%.

Обыкновенно медь употребляется в форме листов или проволоки. Тяжелые листы идут на приготовление топочных коробок в паровозах; также листы употребляются для приготовления различных сосудов для химических производств и для изготовления труб. Тонкие листы обладают часто странной особенностью терять свою крепость со временем. Причина этого хорошо не выяснена.

Размеры находящихся в продаже листов обыкновенно 1 аршин \times 2 арш. По заказу можно достать листы до 3500 мм. длины.

Круглая медь в прутьях находится в продаже от $\frac{3}{8}$ " до 2".

Квадратная—от $\frac{1}{4}$ " до 2".

Сорта тоньше этого называются *проволокой* и измеряются *бирмингемским калибром*.

Медь сравнительно мало подвергается обработке при помощи резания: она слишком мягка и вязка, так что резцы легко заедают, в особенности если угол резания мал. Большая ковкость меди допускает легкую обработку ее при помощи молотка, иногда в горячем, но чаще в холодном состоянии. Чаще вещи отливаются и затем отковываются до желаемой формы. Если при такой обработке металл делается тверд и хрупок, то ему *возвращается мягкость, нагревая его и быстро охлаждая*.

Отдельные медные части соединяются между собою при помощи *спайки*. Для этого употребляются так называемые *припой* ¹⁾, т.-е. вещества более легкоплавкие, чем медь. Если сложенные вместе два куска меди нагреть до температуры плавления припоя и затем налить его между ними, то два куска соединятся в одно целое. Припой бывают двух родов: тугоплавкие *твердые припой* (сплав меди с большим содержанием цинка) и более легкоплавкие *мягкие припой* (сплав олова и свинца). Спаиваемые поверхности должны быть предварительно очищены от окислов. Для этого обыкновенно употребляется раствор цинка в соляной кислоте (хлористый цинк). Эта жидкость очищает поверхность и кроме того отлагает тонким слоем цинк, к которому лучше пристает припой. Кроме того скрепление может быть произведено *склейкой*.

Медная кухонная посуда для предупреждения окисления обыкновенно покрывается *полудой*. Для этого поверхность прежде всего хорошо чистится скребком или песочной бумагой, затем промывается раствором нашатыря или раствором цинка в соляной кислоте. Когда получена чистая металлическая поверхность, свободная от окислов и жирных веществ, поверхность подлежащую полуде, нагревают, затем плавят олово и растирают его по медной поверхности. Олово соединяется с медью и предохраняет ее от окисления.

Чистая медь, обладая прекрасной электропроводностью, употребляется в громадном количестве для электрических проводов.

Хорошая чистая медь должна иметь следующие коэф. крепости:

в отливках	17	кгр. на кв. мм.
„ полосах	20	„ „ „ „
„ проволоке	40	„ „ „ „

В большинстве случаев медь употребляется в виде сплавов с оловом, цинком и др.

¹⁾ Опыты относит. сопровитвл. припоев, см. Енг. 575—10—04, для стали.

О Л О В О.

115. Продажное олово никогда не бывает чисто. Его удельный вес 7,2—7,4. Цвет серебристый с желтоватым оттенком. Оно обладает особым специфическим запахом; окисляется довольно трудно. При сгибании издает характерный треск. *Крепость его незначительна* (от 1,5 до 4 кг. на кв. мм.), *вязкость очень большая*, также *большая и ковкость*. Плавится олово около 230° Ц. Кипит при белом калении.

При обыкновенных температурах олово окисляется очень мало, но при белокалильном жаре легко сгорает белым пламенем. Под действием сильного холода становится кристаллическим и легко крошится.

Главным образом олово употребляется в виде сплавов с медью, цинком, свинцом и для производства *жести* (железо, покрытое тонким слоем олова 0,025 мм.).

Желтый окисел олова применяется для полировки металлов и стекла.

Олово легко прокатывается в тонкие листы, идущие под названием фольги для обертывания различных товаров, а также протягивается в трубки и проволоку.

В продаже находится в виде *чушек* и в виде *прутков*.

Ц И Н К.

116. Металл серебристого цвета. Удельный вес 6,8—7,2. Температура плавления 420° Ц. Кипит при 1040° Ц.; пары сгорают бледно-голубым пламенем и образуют белый окисел. Вообще цинк очень хрупок, но *нагретый немного выше точки кипения воды (120 Ц.) приобретает довольно большую ковкость* и в этом состоянии может прокатываться в листы; *нагретый несколько больше снова делается хрупким*, и при 200° Ц. его можно растереть в порошок. Коэф. крепости цинка около 3 кг. на кв. мм. ¹⁾.

Цинк употребляется в большом количестве в виде листов для покрытия крыш, обшивки судов, посуды и т. п. Цинк употребляется также для приготовления гальванизированного или цинкованного железа; для этого железо погружается в расплавленный цинк и покрывается тонким слоем металла. Будучи наиболее электроположительным элементом, цинк предохраняет железо от ржавчины.

Окисел цинка нерастворим в воде, но если в воде присутствует серная кислота, то тогда образуется сернокислое соединение цинка, растворимое, и при таких условиях цинковая крышка на железе мало-помалу уничтожается.

Цинк также употребляется в большом количестве для приготовления архитектурных украшений, которые или отливаются, или тянутся.

Если цинк отливать при очень сильном нагреве, то он получается хрупким и кристаллическим, если же отливки производить при температуре, близкой к точке плавления, то они выходят более мягкими.

Цинк в большом количестве употребляется для приготовления сплавов с медью.

С В И Н Е Ц.

117. Свинец представляет из себя серый, блестящий металл; почти неупругий; настолько мягкий, что легко царапается ногтем. Коэф. крепости свинца около 1,5 кг. на кв. мм. Удельный вес 11,4. Легко плавится при

¹⁾ Зависит сильно от скорости разрыва: при разрыве в 30"—28 кг.; в 60"—11 кг. См. статью Лешателье. Инженер, стр. 91, № 3—04.—См. также стр. 197.

330° Ц. При плавлении поглощает 5,4 единицы теплоты. Очень плохой проводник теплоты и электричества.

В сухом воздухе окисляется очень мало; образующийся окисел служит предохранительной крышкой от дальнейшего окисления. В сыром воздухе, в присутствии угольной и уксусной кислот окисление идет довольно быстро. Свинец легко растворяется в воде, содержащей угольную кислоту и соли азотной кислоты. Окислы свинца—сурик и свинцовые белила употребляются как краски и как цементирующее вещество для прокладки между францами, при свинчивании труб и вообще в тех случаях, где желают достичь непроницаемого соединения. Разведенные в масле сурик или свинцовые белила со временем затвердевают, отчего и получается непроницаемость.

В продаже свинец имеется в виде *чушек* около 3 футов длиной, весом около 4 пудов. Чушки прокатываются в листы шириною до 7 футов и длиною до 35 футов, в таком виде металл в продаже называется *рольным свинцом*. Рольный свинец употребляется для обшивки деревянных резервуаров и других мест, чтобы сделать их непроницаемыми для воды.

Свинец в больших количествах идет для приготовления труб.

Свинец употребляется также в виде сплавов с медью и оловом.

Н И К Е Л Ь.

118. Это—*беловатый*: блестящий металл, имеющий довольно большую вязкость и ковкость. Его твердость почти такая же, как и железа, но плотность несколько больше: удельный вес от 8,3 до 8,9. Температура плавления около 1600° Ц.

Окисляется никель довольно трудно, при этом образующийся окисел не портит полированной поверхности и легко счищается с нее.

Никель может отливаться и коваться, но обыкновенно он употребляется в виде сплавов, или же для покрытия тонким слоем других, легко окисляющихся металлов.

Накладывание никеля на другие металлы производится наиболее удобно при помощи гальванопластики. Ванна составляется из растворов хлористого никеля или серно-никелевой соли. Также готовятся особые никелевые пластинки, которые при гальванопластинке служат анодами.

А Л Ю М И Н И Й.

119 *Чистый, алюминий*, похож на серебро, но имеет несколько сероватый оттенок ¹⁾.

Алюминий очень легкий,—его удельный вес изменяется от 2,5 (литой) до 2,7 (кованный). Алюминий очень ковок, наибольшую ковкость он получает при нагревании от 100° до 150° Ц. Нагретый выше 200° Ц. алюминий становится красномолким. При температуре 540° Ц. он начинает размягчаться и при дальнейшем нагревании размягчается все больше и больше и, наконец, при 650° Ц. становится совсем жидким. Переходит в твердое состояние алюминий так же медленно, как и плавится, так что тигель, содержащий 40 кгр. расплавленного металла, может простоять около 45 мин., прежде чем металл затвердеет.

Козф. литейного расширения алюминия на 1° Ц. 0,0000206—0,0000231. При остывании отлитый алюминий дает усадку 2,6%.

¹⁾ См. М. Е. 710—12—08.

Коэф. крепости алюминия изменяется в зависимости от обработки. Следующая таблица представляет крепость алюминия в различных его состояниях ¹⁾.

Химический состав металла.	Алюминия.	Кремния.	Железа.	
	От 97 ⁰ / ₀ до 99 ⁰ / ₀ .	От 1 ⁰ / ₀ до 2,8 ⁰ / ₀ .	От 0,04 ⁰ / ₀ до 0,2 ⁰ / ₀	
	Литой.	Листы.	Полосы.	Провол.
Предел упругости при растяжении	4,5	8,4	9,8	1,2
Коэф. крепости „ „	10,5	15,8	12,2	21,0
Сжатие поперечного сечения	15 ⁰ / ₀	35 ⁰ / ₀	40 ⁰ / ₀	60 ⁰ / ₀
Коэффициент упругости	84300	91300	13300	—
Предел упругости сжатия (длина образца 2 раза больше диам.)		2,5		
Разрушающее усилие при сжатии		9,1		

Из этой таблицы видно, что крепость алюминия не превосходить крепости чугуна, а потому мнение о возможности замены железа алюминием совершенно несправедливо; даже если сравнивать их по весу, то и тогда *железо окажется крепче алюминия.*

Алюминий хорошо отливается. Формы для отливок могут готовиться из песка или из металла ²⁾. При плавке алюминия не следует его нагревать много выше точки плавления, так как при этом металл поглощает газы и, выделяя их при остывании, дает пузыристые отливки. При устройстве форм нужно принимать во внимание большую усадку алюминия и сообразно с этим конструировать их.

Алюминий отлично куется даже в холодном состоянии; он может быть расплюсчен в листы толщиной до 0,01 мм. При холодной обработке он становится очень твердым, и потому его приходится отжигать. Наилучшая температура для отжига—это немного ниже красного каления. Очень тонкие изделия из алюминия могут быть отжигаемы в кипящей воде.

Алюминий не подвергается действию магнетизма, и потому очень удобен для изготовления футляров у компасов и др. физических инструментов. Он хорошо проводит тепло и электричество; его теплопроводность по сравнению с серебром 0,31, электропроводность по сравнению с ртутью 31.

Повидимому, алюминий, обладает очень большим сродством к кислороду, и если он не горит на воздухе, то только потому, что образующийся тонкий слой окисла очень прочно пристает к остальной массе металла и таким образом предохраняет от дальнейшего окисления. Этот окисел чрезвычайно тонок и вместе с тем настолько прозрачен, что алюминий

¹⁾ Paper read by Hunt before the American Institute of Mining Engineers, Engineering 1890, March, стр. 373.

²⁾ О приготовлении стержней для отливок из Al см. Practical Engineer стр. 425—Oct.—03. также А. М. 1651—12—04. Making casting in Aluminum Mach. 35—9—04.

сохраняет свой блеск, хотя в то же время на самом деле покрыт оболочкой окисла (глинозема). Присутствие такой оболочки подтверждается тем фактом, что алюминий крайне трудно сваривается и сплавляется. Эта же самая оболочка окисла препятствует замыканию тока проводниками из алюминия, прежде чем они будут достаточно сильно нажаты друг на друга и этим поверхность металла очистится от окисла. Присутствие оболочки глинозема подтверждается еще следующим интересным опытом Фармера: он плавил алюминиевую проволоку, пропуская через нее электрический ток. При этом наступал такой момент, когда проволока сохраняла свою форму, отклонялась магнитом и в то же время, будучи проколота иглой, выпускала из себя расплавленный металл. Этот опыт показывает, что даже расплавленный металл, который кажется совершенно блестящим, все-таки покрыт тонким слоем окисла.

Алюминий подвергается действию серной и азотной кислоты. Также на него действует раствор обыкновенной поваренной соли. Он растворяется в соляной кислоте и особенно поддается действию едких щелочей. Алюминий не подвергается действию органических выделений и кислот, а потому очень удобен для приготовления хирургических инструментов.

Продажный алюминий теряет много в своих свойствах, вследствие присутствия в нем посторонних примесей. Он содержит обыкновенно следы кремния, углерода, натрия и других металлов, не исключая железа. Кремний несколько улучшает свойства алюминия, сообщая ему крепость и твердость, примесь же железа действует обыкновенно вредно. Натрий почти всегда содержится в алюминии в количестве до 0,25% и может причинить большой вред в том случае, когда он не располагается равномерно по всей массе, а собирается в некоторых местах. В таком случае, он образует целый ряд сплавов, постепенно переходящих от чистого алюминия до чистого натрия, и некоторые из этих сплавов, будучи по природе хрупкими, значительно нарушают прочность металла. Кроме того, присутствие натрия увеличивает также способность алюминия окисляться, так как образующийся гидрат натрия растворяет в себе глинозем и таким образом выставляет чистую поверхность алюминия окислительному действию воздуха.

Алюминий очень трудно сваривается ¹⁾ и сплавляется, вследствие чего до сих пор большинство предметов, выделываемых из алюминия, готовятся из целых кусков металла. Трудность эта обуславливается невозможностью получить поверхность алюминия чистую от окисла. Употребление при сваривании и паянии таких веществ, как хлористый цинк, канифоль, бура, объясняется тем, что эти вещества растворяют в себе окислы металла и припой и таким образом позволяют соприкоснуться чистым поверхностям соединяемых тел. Таких же веществ, которые растворяли бы глинозем и в то же время не действовали на алюминий, очень мало. При этом действуют они при столь высокой температуре, что сам металл расплавляется. Заставить припой пристать к алюминию можно, очищая поверхность металла под расплавленным припоем. Но этого мало, не достаточно заставить припой пристать к поверхности металла, надо заставить его взойти во все промежутки между соприкасающимися поверхностями, как это имеет место при спайвании меди и олова. Полученные спайки обыкновенно очень непрочны. Сначала может оказаться, что при разрыве вновь спаянного образца разрушение произойдет по целому месту. Через некоторое же время, если мы исследуем пайку, то заметим, что припой или совершенно отошел от алюминия, или, по крайней мере, будет очень легко отставать от металла.

¹⁾ Autogene Schweissung von Aluminium Gies Z.—112—2—09.

Это, вероятно, зависит от присутствия натра в алюминии или от того сплава, который образует припой с металлом, и способности их разлагать воду и производить ржавчину. Очень часто места спаяк после излома издают тот же запах, который замечается при действии на железо слабыми кислотами. В железе это объясняется образованием небольшого количества углеводов, вследствие соединения водорода с углеродом железа. В алюминии же углерода очень мало, и присутствие запаха указывает на очень энергичное разложение воды, происходящее на поверхности спайки.

Кроме того, прочность спайки может быть нарушена еще вследствие следующей причины. Из сплавов алюминия обладают значительной прочностью только те, в которых или алюминий соединяется с небольшим количеством другого металла, или же какой-нибудь металл соединяется с небольшим количеством алюминия. Если же сплавляются алюминий и другой металл, входя в сплав в больших пропорциях, то сплав получается очень непрочный и иногда с течением времени рассыпается в порошок. Если мы для припоя употребляем металл или сплав, то мы необходимо получим непрочную пайку, потому что, переходя от чистого припоя к чистому алюминию, мы необходимо перейдем через слой хрупкого сплава, который рано или поздно в этом месте отделится от металла. Очевидно, что средство против этого состоит в том, что для припоя нужно брать сплав алюминия, который содержит алюминий в большей пропорции, чем хрупкий сплав из тех же составных частей ¹⁾.

При своих опытах Спринг ²⁾ нашел, что если два куска алюминия, нажатые друг на друга, подвергать нагреванию до 420° Ц., то они свариваются между собой. Принимая во внимание ту трудность, с которой алюминий спаивается, это обстоятельство представляет большой интерес, давая возможность отдельные куски алюминия соединять вместе.

Вообще, алюминий, как металл трудно разрушающийся окислением, может с выгодой быть употреблен там, где требуется присутствие тонких и вместе с тем довольно крепких частей и где другие, более легко окисляющиеся металлы могут скоро разрушиться.

Наибольшее распространение алюминий получил в виде сплавов, которые отличаются замечательно хорошими качествами. Его сплавы разделяются на две группы: одна группа (*легкие сплавы*) состоит в соединении алюминия с другими металлами, содержание которых не превышает 15%, а другую группу (*тяжелые сплавы*) составляют различные металлы с содержанием алюминия, не превышающим 15%. В иных пропорциях сплавы получаются никуда не годные.

Сплав „маналий“ (magnalium). Алюминий—90—98%.+магний. Уд. В.—2,40—2,57 в зависимости от примеси магния (легче алюминия). Крепость, при малом поперечном сечении равна латуни и некот. бронзам, в толстых изделиях значительно уменьшается. Плохо сопротивляется повторным нагрузкам (подобно алюминию). Для тонких проволок и листов коэф. крепости около 32 кгр.; при увеличении толщины падает до 10 кгр. Хорошо обработ. острыми инструментами.

Подробности относительно отливки и др. А. М. 521—10—08.

¹⁾ James Swinburn, Society of arts, 1896, стр. 358.

²⁾ Engineering, Dec. 1894, стр. 767.

АНТИМОНИЙ (Сурьма).

120. Серовато-белый, кристаллический металл; довольно тверд; очень хрупок; не крепок. Плавится около 450° Ц. Удельный вес 6, 7. Дурной проводник теплоты и электричества.

В древние времена из него отливались орнаментные украшения, теперь же он употребляется исключительно для приготовления сплавов, как, напр., британского металла, типографского металла и др.

ВИСМУТ.

121. Желтовато-белый хрупкий, тяжелый металл. Удельный вес 9, 8—9,9. Плавится при 260° Ц.

Главное его употребление, подобно антимонию, для составления сплавов. Сильно понижает точку плавления.

Продажный висмут содержит всегда посторонние примеси, которые могут быть удалены при плавке его с селитрой.

СПЛАВЫ МЕДИ.

122. Бронзы. Под таким названием известны сплавы, в которых главными составными частями являются медь и олово. ¹⁾ Олово является раскислителем.

По мере того, как примесь олова увеличивается, красный цвет меди переходит в желтый. При содержании олова 10% цвет сплава совершенно желтый и затем начинает сереть.

По исследованиям Торстона ²⁾, бронзы могут содержать олова до 20% , с большим содержанием олова сплав получается слишком хрупким и непригодным для технических целей.

При содержании олова до 17% предел упругости составляет $50—60\%$ коэффициента крепости; с увеличением примеси олова предел упругости повышается, и когда содержание олова достигает 25% предел упругости и коэффициент крепости совпадают.

Удельный вес бронз колеблется около 8,95.

Желая сообщить бронзе мягкость, ее нужно нагреть и быстро охладить, при этом, кроме мягкости, бронзе сообщается и большая плотность.

Все бронзы обладают в большей или меньшей степени свойством ликвации, а потому там, где это явление нужно устранить, отливку следует производить в быстроохлаждающие металлические формы.

Бронзы окисляются меньше, чем медь, и всегда более тверды, а некоторые и более крепки и плотны, чем медь. Как изменяются различные свойства бронз в зависимости от пропорции меди и олова, ясно видно из диаграммы (фиг. 56).

Наиболее распространенные сорта бронз суть следующие:

Пушечный металл. Состав его изменяется от 89% до 91% меди и от 11% до 9% олова: желтоватого цвета. Коэф. крепости 20—27 кгр. на кв. мм. Температура плавления средняя между точкой плавления меди и олова. Этот сплав более тверд, менее вязок и менее подвергается окислению, чем его составные части. В горячем состоянии несколько ковков.

¹⁾ После прибавления олова к расплавленной меди смесь должна быть хорошо перемешана графитовой палкой или железной полосой, покрытой слоем графита.

²⁾ Thurston. Materials of engineering, Alloys.

Этот же сплав употребляется и для очень тяжелых подшипников.

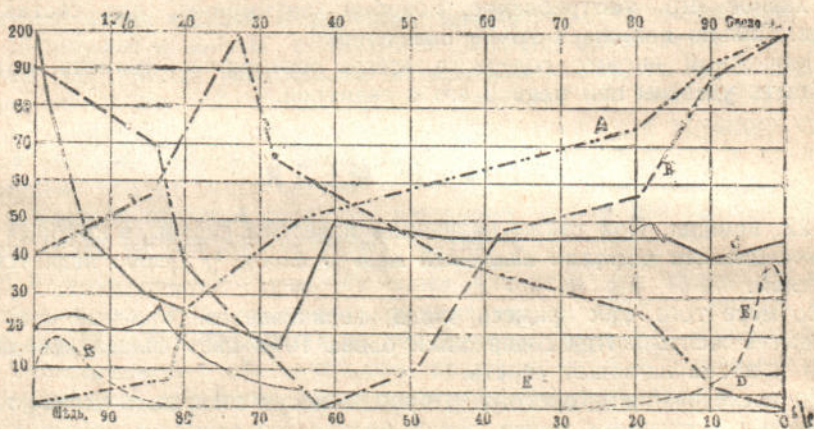
Бронза для подшипников обыкновенно содержит 88—96% меди и 12—4% олова.

Бронза для поршневых колец содержит 92—94% меди, 7—5% олова и для мягкости 1% цинка.

Колокольный металл содержит 70—82% меди, 30—18% олова. Чем больше колокол, тем меньше олова.

Бронза для зеркал—70% меди, 30 олова и следы железа и никеля. Цвет белый, прекрасно полируется.

Фосфористая бронза¹⁾ предложенная Кюнцелем в 1871 г., представляет из себя любой из сплавов меди и олова иногда меди с другими металлами, с небольшим содержанием фосфора, до 4%. Присутствие фосфора не позволяет образованию окислов меди и других входящих в сплав



Фиг. 56.

A—плавкость, B—ковкость, C—теплопроводность, D—твердость, E—вязкость.

О влиянии температ. на прочность бронзы см. наследования Баха Z. d. V. d. I. 1900, стр. 1745.

металлов, отчего сплав получается замечательно чистый, однородного строения, с большой крепостью и вязкостью. Большая часть фосфора идет на восстановление окислов, и в бронзе фосфора остается обыкновенно не более 1%.

Фосфор может быть прямо примешан к жидкому сплаву, или же лучше его примешивать к какому-нибудь из составных металлов.

Для насыщения бронзы фосфором последний погружается в расплавленный металл. Для этого употребляют чашку из графита или железную, привернутую к концу железной полосы. В чашке имеются отверстия, чтобы металл лучше соприкасался с фосфором.

В продаже существует фосфористое олово (Sn_3P) и фосфористая медь с большим содержанием фосфора, по 15%; их и можно употреблять для получения фосфористой бронзы.

Этот сплав обладает большой вязкостью и в то же время большой твердостью и крепостью. Коэффициент крепости для различных сортов отожженной фосфористой бронзы меняется от 25 до 45 кгр на кв. мм. Удлинение доходит до 45%.

1) См. М. Е. 54—08.

Фосфористая бронза очень применима для приготовления различных машинных частей, зубчатых колес, гребных винтов, гидравлических прессов, насосных цилиндров, штоков, тяжелых подшипников и др.

Для тяжелых подшипников можно брать 85% меди и 15% фосфористого олова, для более легких подшипников 90% меди и 10% фосфористого олова.

В фосфористую бронзу, идущую для подшипников, очень полезно прибавлять немного свинца; тогда, вследствие ликвации, свинец отделяется и затвердевает отдельно от бронзы, таким образом получается как бы твердый остов, заполненный мягким свинцом. Подшипник отлично прирабатывается и в то же время мало изнашивается. На Пенсильванской железной дороге принят следующий состав фосфористой бронзы для подшипников: 79,7% меди, 10% олова, 9,5% свинца, 0,8% фосфора (остающегося в сплаве).

По данным Кюнцеля ¹⁾ оказывается, что при подшипниках из фосфористой бронзы со свинцом один килограмм металла срабатывается при пробеге 429-200 километров; то же количество пушечного металла срабатывается при пробеге 99900, а белого металла (5% меди, 85% олова и 10% антимония) — при пробеге 88145 километров.

123. Марганцовистая бронза представляет сплав меди и марганца. По своим качествам она очень походит на фосфористую бронзу, но, в отличие от последней, имеет вместо желтого — белый цвет.

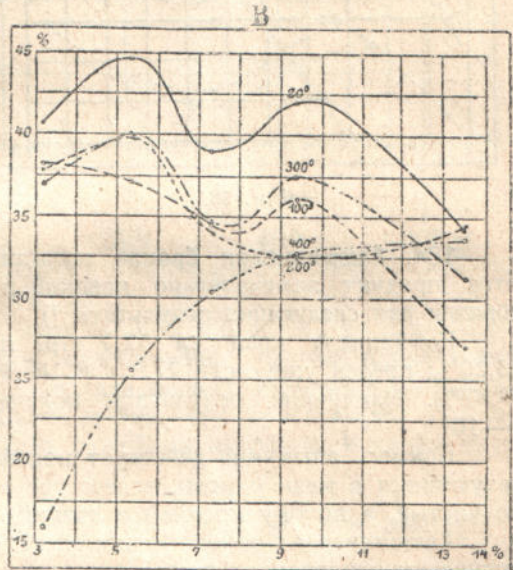
Марганец, подобно фосфору, выказывает большое сродство к кислороду и потому, восстанавливая все окислы, образующиеся в меди, очищает ее, вследствие чего сплав получается очень чистый, плотный, крепкий и вязкий.

Различные сплавы марганцовистой бронзы были испытаны профессором Rudeloff ²⁾ на берлинской испытательной станции, и результаты его испытаний представлены графически на фиг. 57. и 58. ³⁾

Абсциссы указывают, в каком количестве примешивался марганец; ординаты указывают, как изменялись для различных сплавов коэффициент крепости и удлинение при разрыве. Различные кривые на одном и том же чертеже соответствуют различным температурам, при которых производились наблюдения.

Из рассмотрения кривых можно заметить, что наибольший коэффициент крепости (фиг. 58) соответствуют сплаву, содержащему около 6,5% марганца.

Из этих же диаграмм видно, что как коэффициент крепости, так и вязкость сплава уменьшаются при нагревании. Поэтому, при обработке



Фиг. 57.

¹⁾ См. также А. М. 135—2—06.

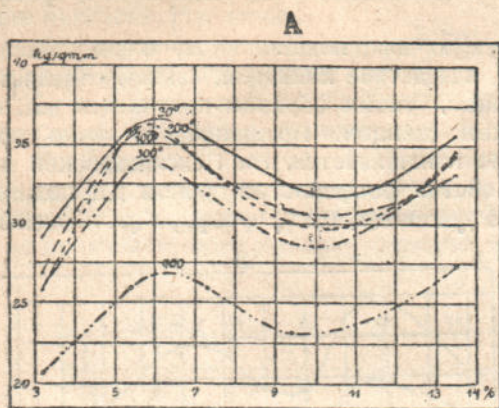
²⁾ Polytech Centralblatt, jan. 1874.

³⁾ Stahl und Eisen 1895, стр. 632.

сплава, его не следует нагревать выше темновышневого каляния. Сплав хорошо куется и в холодном состоянии, но при этом он твердеет и его приходится отжигать.

Для приготовления этого сплава берется особо приготовленный *кунферманган* или *ферро-манган* и плавится вместе с медью. При употреблении ферро-мангана в бронзу всегда попадает несколько железа, отчего сплав приобретает еще большую прочность.

Марганцовистая бронза, подобно фосфористой, может употребляться для изготовления различных машинных частей: зубчатых колес, гребных винтов, штоков, насосных цилиндров и т. п. Из такого сплава приготовлены, напр., гребные винты самых больших океанских пароходов, два винта для такого парохода весят около 8 тонн и стоят около 30.000 руб.



Фиг. 58.

124. Алюминиевая бронза представляет сплав меди с алюминием. Этот продукт замечательно крепкий и вязкий. Исследованный Онвином образец дал следующие результаты ¹⁾.

Коэффициент крепости 57,7 кгр. на кв. мм.; удлинение на 250 мм 33,26%; предел упругости 27,3 кгр. на кв. мм.; сжатие поперечн. сечения 39,87%. Наилучшие результаты получаются при содержании алюминия 9—10%.

Примесь алюминия действует подобно фосфору, восстанавливая все образующиеся в меди окислы, вследствие чего сплав получается замечательно чистый, а потому крепкий и вязкий.

Алюминиевая бронза выказывает большую степень ликвации, и для получения однородного сплава его нужно несколько раз переплавить.

Алюминиевая бронза хорошо отливается, но дает большую усадку (2%), что нужно иметь в виду, приготовляя модели.

Сплав этот может хорошо коваться и прокатываться в листы, при чем качества его еще более улучшаются. Представляя ту особенность, что крепость его очень мало изменяется при нагревании до 350 Ц., он является прекрасным материалом для больших паропроводных труб в морском деле и, вообще, во всех тех случаях, где при высоких температурах должен употребляться крепкий и вязкий материал.

Диаграмма фиг. 59 представляет изменение коэффициента крепости (А) и вязкости (В) при различных температурах, согласно опытам Лешателье.

125. Белая, или зеленая медь, также латунь ²⁾. Так называются сплавы, состоящие главным образом из *меди и цинка*.

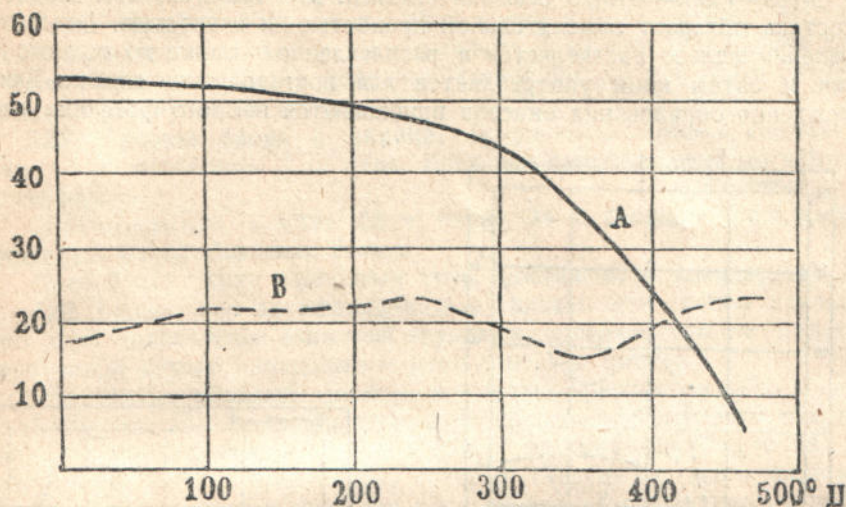
Цинк раскисляет окислы меди и сообщает сплаву особую жидкость.

От прибавления цинка красный цвет меди начинает белеть, и в конце концов сплав приобретает цвет цинка. Каким образом изменяются физические свойства сплава, по мере прибавления цинка, ясно видно из диаграммы фиг. 60. Диаграммы поставлены так, что свойства сплава постепенно переходят от свойств меди до свойств цинка.

¹⁾ Unwin, Testing of materials, стр. 348.

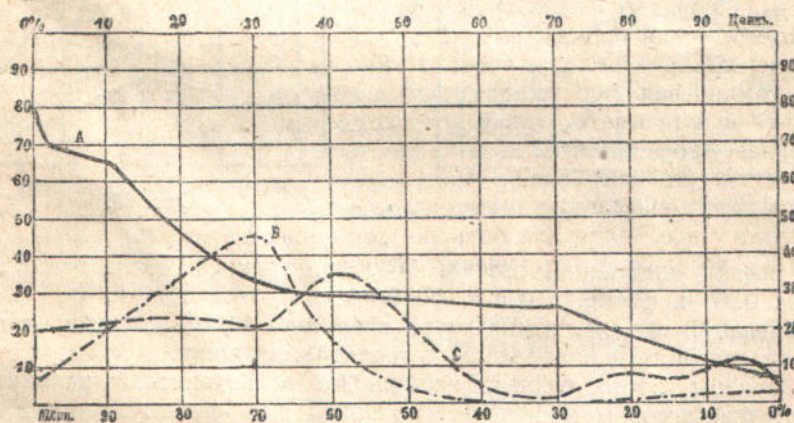
²⁾ См. также Курдюмов, А. П. Приготовление латуни.

Этот сплав прекрасно отливается, может прокатываться в листы и проволочиться в проволоку. Большинство сплавов содержат 67—70% меди и 22—30% цинка. Иногда для большей мягкости прибавляется немного свинцу.



Фиг. 59.

Белая медь употребляется для всевозможных домовых принадлежностей: замков, петель, ключей и т. п., для мелких машинных частей, для физических инструментов; из этого сплава, как обладающего большой вязкостью, вытягиваются гильзы для ружейных патронов, а также трубы



Фиг. 60.

А—ковкость, В—вязкость, С—крепость.

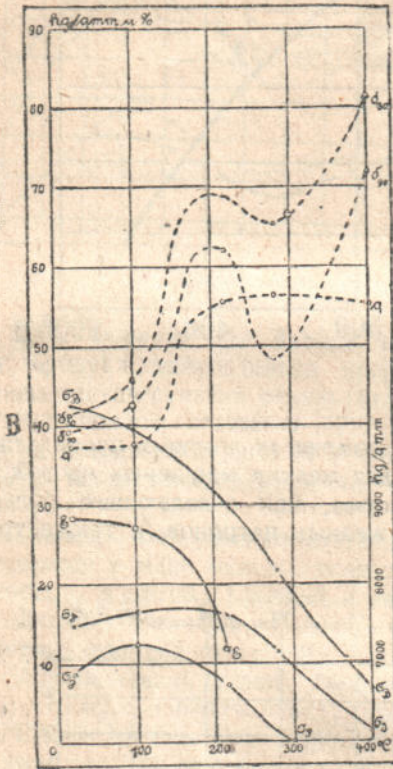
для паровых котлов, кроме того, штампуются и вытягиваются различные украшения.

Белая медь относится к тому классу металлов, коэф. крепости которых уменьшается при продолжительном действии нагрузки; поэтому этим сплавом не следует пользоваться для подвешивания тяжелых вещей.

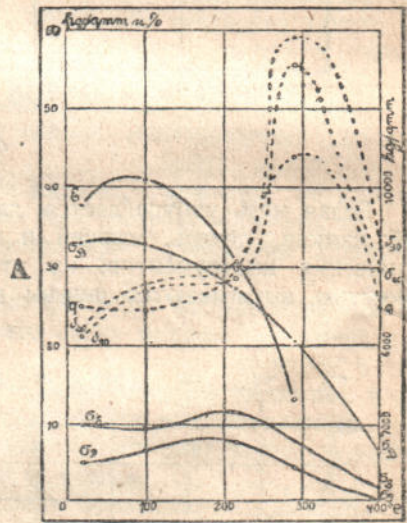
126. Тройные сплавы. Медь—олово—цинк.

Сплав из 82% меди 10% цинка 8% олова идет для приготовления ситценабивных валиков; сплав 92 ч. меди, 6 ч. цинка и 6 ч. олова очень похож на золото.

Медь—цинк—железо (металл дельта). Дик заметил, что сплав такого состава обладает замечательной крепостью и вязкостью. Для его приготовления железо растворяется в расплавленном цинке до полного насыщения, и затем цинк употребляется для приготовления сплава. Для предупреждения образования окислов прибавляется немного фосфора, так что



Фиг. 61.



Фиг. 62.

сплав имеет следующий состав: 554,1 ч. меди, 43,47 ч. цинка, 1,08 ч. железа, 0,37 ч. свинца и 0,1 ч. фосфора.

Удельный вес 8,4, температура плавления 1100° Ц. Сплав дельта может обрабатываться в холодном и горячем состоянии.

Образцы этого сплава, испытанные в Берлинской испытательной станции профессором Rudeloff ¹⁾, показали коэффициент крепости для литого металла 33 кгр. на кв. мм. и удлинение 22%; для прокатного металла коэффициент крепости 43 кгр. и удлинение 41%.

На фиг. 61 и 62 кривые показывают, каким образом изменяются различные механические свойства металла дельта, при нагревании его от обыкновенной температуры до 400° Ц. Как видно, для литого металла наибольшая вязкость получается при температуре около 300°; поэтому эта температура и должна быть признана наиболее подходящей для меха-

¹⁾ Stahl und Eisen 1895 стр. 632.

нической обработки металла. Для прокатного металла удлинение возрастает при нагреве до 200°; затем снова убывает и повышается очень заметно только после 300°; отсюда нужно заключить, что для дальнейшей переработки прокатного металла нужно нагреть его гораздо сильнее.

Новое серебро. 60% меди, 20% цинку и 20% никеля. Этот сплав хорошо отливается, если к нему прибавить буру или стекло, как плавни. Он может прокатываться в холодном состоянии, но при этом становится твердым и его нужно отжигать.

127. Сплавы олова и свинца. *Британский металл.* Состав: 90 ч. олова, 15 ч. антимония, 7 ч. меди. Идет для приготовления посуды; имеет вид серебра.

Мякий припой. Состав: 66 ч. олова, 34 ч. свинца. Точка плавления повышается от прибавления свинца.

Припой для пайки свинцовых труб. Состав: 67 ч. свинца, 33 ч. олова.

128. Белые, или антифрикционные сплавы. Эти сплавы служат хорошо, если направление движения трущихся поверхностей не изменяется. В противном случае изнашивание идет довольно быстро.

Эти сплавы обладают свойством хорошо прирабатываться к вращающимся валам. По своей природе они должны представлять пластичную массу, с вкрапленными в нее твердыми частицами. Пластичная масса представляет податливую опору, которая следует за всеми мелкими неправильностями в исполнении или в установке опирающегося на нее вала, и таким образом не позволяет в отдельных местах вкладыша проявиться слишком большому напряжению изнашивания, вследствие чего работа трения распределяется равномерно по всей поверхности вкладыша и развивающаяся при этом теплота легко отводится прочь. Такую пластичную массу в антифрикционных сплавах обыкновенно составляют евтектические сплавы свинца, олова, меди. Иногда довольствуются только двумя элементами, но из нескольких элементов представляется легче получить более подходящий евтектический сплав, обладающий в надлежащей степени пластичностью и прочностью. Твердыми же вкрапленными металлами, уменьшающими истирание поверхности вкладыша и увеличивающими его долговечность, обыкновенно служат сурьма, висмут, медь, цинк и др. 1).

A. Сплавы свинца и сурьмы (антимоний). Эти сплавы являются наиболее простыми. Они оказываются пригодными в качестве антифрикционных в том случае, когда содержание сурьмы колеблется от 15% до 25%. При меньшем содержании сурьмы, сплав оказывается слишком мягким и быстро изнашивается; при большем—сплав получается слишком хрупким и вкладыши легко могут ломаться.

Sn	Cu	Sb
96	4	8

В. Сплавы олова, меди и сурьмы.

Оригинальный „Металл Баббита“ очень хорош для вкладышей у быстро вращающихся валов.

Для получения надлежащего качества важно, чтобы он приготовлялся следующим образом: отдельно сплавляются 12 ч. олова и 8 ч. сурьмы; в расплавленную массу прибавляют 12 ч. олова; затем котелок снимается с очага, к сплаву прибавляется 4 ч. меди и все выливается в форму. Полученный таким образом твердый материал сплавляется с двойным количеством олова.

1) Об исследовании антифрикционных сплавов см. Бюллетени Политехнического О-ва. 1899 г. стр. 129. Статья Шарпи.

Sn	Cu	Sb
82	6	12
80	4	16
90	2	8
83	6	11
82	8	10
80	10	10
33,3	22,2	44,5
67	11	22

Серый металл. Для вкладышей более тяжелых валов.
 Для вкладышей очень тяжелых валов.
 Сильно нагруженные подшипники русских ж. д.
 Берлинские ж. д.
 Головки шатунов и эксцентриковые хомуты ж. д.
 Швейцарские ж. д.
 Металл „ДЮРАНС“ для паровозов.
 Вкладыши ползуна франц. ж. д.

Pb	Su	Sb
78	6	16
70	20	10
60	20	20
42	42	16
80	12	8
76	14	10
73	12	15

С. Сплавы свинца, олова и сурьмы.

Сплав „МАГНОЛИЯ“ очень хорош для приводных валов небольшого диаметра (до 75 мм.); для валов большого диаметра для твердости можно прибавить $\frac{1}{4}\%$ алюминия.
 Эксцентриковые хомуты казен. франц. ж. д.
 Железнодорожные подшипники
 Железнодорожные подшипники франц. ж. д.
 Металлическая набивка для сальников Вост. франц. ж. д.
 „ „ „ „ Орлеанск. франц. ж. д.
 „ „ „ „ Сев. ж. д. франц.

Cu	Sn	Zn
89	8	3
86	12	2
83	15	3
82	15	3
57	14	29
5,5	17,5	77

D. Сплавы меди, олова и цинка.

Паровозные подшипники.
 Обыкновенные подшипники.
 Сплав Лафонда для тяжелых грузов.
 Головки шатунов Орлеанск. франц. ж. д.
 Подш. для валов винтовых пароходов.
 Для быстро вращающихся валов.

Легкоплавкие сплавы висмута.

	Bi	Pb	Sn	Cd	Температура плавления.
Сплав Ньютона	50	31,25	18,75	—	95° Ц.
„ Розе	50	28,10	24,64	—	100° „
„ Дарсе	50	25,00	25,00	—	93° „
„ Вуда	50	24,00	14,00	12	66—71° „
„ Липовиц	50	27,00	12,00	10,00	60° „

Сплавы с висмутом расширяются при затвердевании и это свойство оказывается очень полезным при изготовлении типографских шрифтов, способствуя получению более резких и отчетливых очертаний.

Сплавы висмута нужно охлаждать возможно быстро, иначе вследствие ликвации висмут выделяется и сплав изменяет свои свойства.

Кроме указанных сплавов существует еще очень много, и подробные сведения об этом предмете можно найти в сочинениях: A. Ledebur, Metallverarbeitung; A. Guettier, Guide pratique des alliages metalliques; Rob. Thurston. A treatise on brasses, bronzes and other alloys. Practical Alloying G Buchanau, Foundry—aug, sept. oct. nov. dec. 1905. Gies Zeit. № 7—209—1—4—06. Martens—Heyn. Materialienkunde für den Maschinenbau.

ОГЛАВЛЕНИЕ.

Введение	Стр. 5
Механическая обработка металлов	23

ЧАСТЬ I.

Металлы и их сплавы.

ГЛАВА I.

§§ Общие физические свойства металлов.

1. Название „металл“	25
2. Крепость	26
3. Твердость	—
4. Плотность металлов	27
5. Вязкость	—
6. Ковкость	28
7. Плавкость	—
8. Теплопроводность	—
9. Упругость	—
10. Пластичность	29
11. Истечение металлов	—
12. Хрупкость	30
13. Способность свариваться	—
14. Излом	—
15. Способность светиться при нагревании	—
16. Расширение при нагревании	—
17. Сплавы	31
18. Получение сплавов	—
19. Ликвация	32
20. Действие электрического тока на сплавы	—
21. Электропроводимость сплавов	—
22. Переход в сплавах металлов из одного аллотропического состояния в другое	33
23. Механические свойства сплавов	34
24. Плотность сплавов	35
25. Плавкость сплавов	—
26. Коэффициент расширения сплавов	—
27. Теплопроводность сплавов	36
28. Цвет сплавов	—
29. Окисление сплавов	37

ГЛАВА II.

Железо и его сплавы.

§§	Стр.
30. Железо	38
31. Микроструктура	39
I) Феррит	40
II) Цементит, или нормальный карбид	—
III) Аморфный карбид Арнольда	—
IV) Перлит	—
V) Сорбит	—
VI) Субкарбид	41
VII) Мартенсит	—
VIII) Трустит	—
IX) Графит	42
X) Шлак	—

Чугун.

32. Классификация чугуна	42
33. Химический состав чугуна	43
34. Состояние углерода в чугуне	44
35. Микроструктура чугуна	46
36. Плотность чугуна	47
37. Излом и блеск чугуна	—
38. Твердость чугуна	—
39. Хрупкость чугуна	—
40. Крепость чугуна	—
41. Упругость чугуна	53
42. Сопротивление чугуна ударному действию	—
43. Плавкость чугуна	54
44. Усадка чугуна	57
45. Увеличение объема при затвердевании чугуна	58
46. Внутренние напряжения	—
47. Увеличение объема чугуна при последовательных нагреваниях и охлаждени- ях	60
48. Пустоты или отдулины, получающиеся внутри чугуна	—
49. Влияние посторонних примесей на качество чугуна	61
a) Сера	—
b) Фосфор	62
c) Кремний	—
d) Марганец	63
e) Металлы	64
50. Способность чугуна увеличивать свою крепость под влиянием легких ударов	65
51. Изменение структуры чугуна	66
52. Порча чугуна	—
53. Горелый чугун	67
54. Отжиг белого чугуна	68
55. Ковкий чугун	—
56. Испытание чугуна	69

Сталь и железо (продажное).

57. Сварочное железо и сталь	76
58. Литое железо и сталь	79
59. Сорты железа и стали, встречающиеся в продаже	80
60. Химический состав железа и стали	82
61. Плотность	—
62. Магнитные свойства	—
63. Температура плавления	—
64. Усадка стали	—

§§		
65.	Газовые пузыри	83
66.	Цветоизменяемость	—
67.	Способность свариваться	—
68.	Ковкость	87
69.	Твердость	—
70.	Излом	—
71.	Крепость и вязкость	—
72.	Условия, влияющие на изменение прочности железа и стали	91
	А) Температура	—
	В) Перемена температуры	96
	С) Обработка железа и стали при температуре от 270 до 350 град. Ц, при так называемом синем нагреве	98
	D) Обработка в холодном состоянии	100
	E) Обработка в горячем состоянии	102
	F) Размеры изделий	103
	G) Время и сотрясения	104
	H) Влияние повторительных нагрузок	105
73.	Влияние примесей на свойства железа и стали	110
	А) Углерод	—
	В) Фосфор	114
	С) Сера	115
	D) Кремний	—
	E) Марганец	—
	F) Медь	—
	G) Алюминий	—
	H) Мышьяк	—
	I) Азот	116
	K) Окислы железа	—
	L) Водород	—
74.	Закал как отличительное свойство стали	—
75.	Объяснение явления закала	117
76.	Некоторые замечания по поводу закаливания и отпуска стали	125
77.	Операции перед закалкой и во время нее	127
	А) Отжигание и накаливание стали	—
	В) Охлаждение стали	130
78.	Операции, производимые после закалки	133
	А) Отпускание стали	—
	В) Выправка покоробленной стали	138
79.	Охлаждающие, или закаливающие жидкости	139
80.	Исследование причин неудач при закалке	142
81.	Восстановление стали, испорченной в огне	144
82.	Самозакаливающаяся сталь	144
83.	Сталь Мошет	146
84.	Быстрорежущая сталь	—
85.	Теория, объясняющая свойства быстрорежущей стали	147
86.	Микроструктура железа и стали	148
87.	Изменения микроструктуры стали вследствие отжига	152
88.	Кристаллизация стали	155
89.	Опасные формы кристаллизации	158
90.	Как предупредить появления хрупкости	162
91.	Отрицательный закал	163
92.	Условия правильной обработки литой стали	165
93.	Классификация стали	—
94.	Действие на сталь и железо кислот	167
95.	Порча железа и стали от ржавчины	168
96.	Предохранение железа и стали от ржавчины	—
97.	Сравнительные достоинства чугуна, стали, сварочного и литого железа	176
98.	Способы определения доброкачественности железа и стали	178
99.	Влияние формы испытуемого образца на коэффициент крепости	180
100.	Влияние размеров образца на величину удлинения	182
101.	Влияние формы площади сечения на удлинение	—
102.	Влияние на коэффициент крепости времени, употребленного на разрыв образца	—
103.	Ударные испытания надрезанных образцов	183
104.	Способы определения относительных удлинений	—
105.	Однообразное испытание материалов	184
106.	Нормальная форма образцов при испытании на разрыв	186

Сплавы железа с металлами.

Специальные стали.

§§	Стр.
107. Сплав железа с никелем	187
108. Митис	189
109. Марганцовая сталь	—
110. Хромовая сталь	191
111. Вольфрамовая сталь	192
112. Кремнистая сталь	193
113. Сложные специальные стали	—

ГЛАВА III.

Медь, олово, цинк, свинец, никель, алюминий, антимоний, висмут и их сплавы.

114. Медь	195
115. Олово	198
116. Цинк	—
117. Свинец	—
118. Никель	199
119. Алюминий	—
120. Антимоний	203
121. Висмут	—

Сплавы меди.

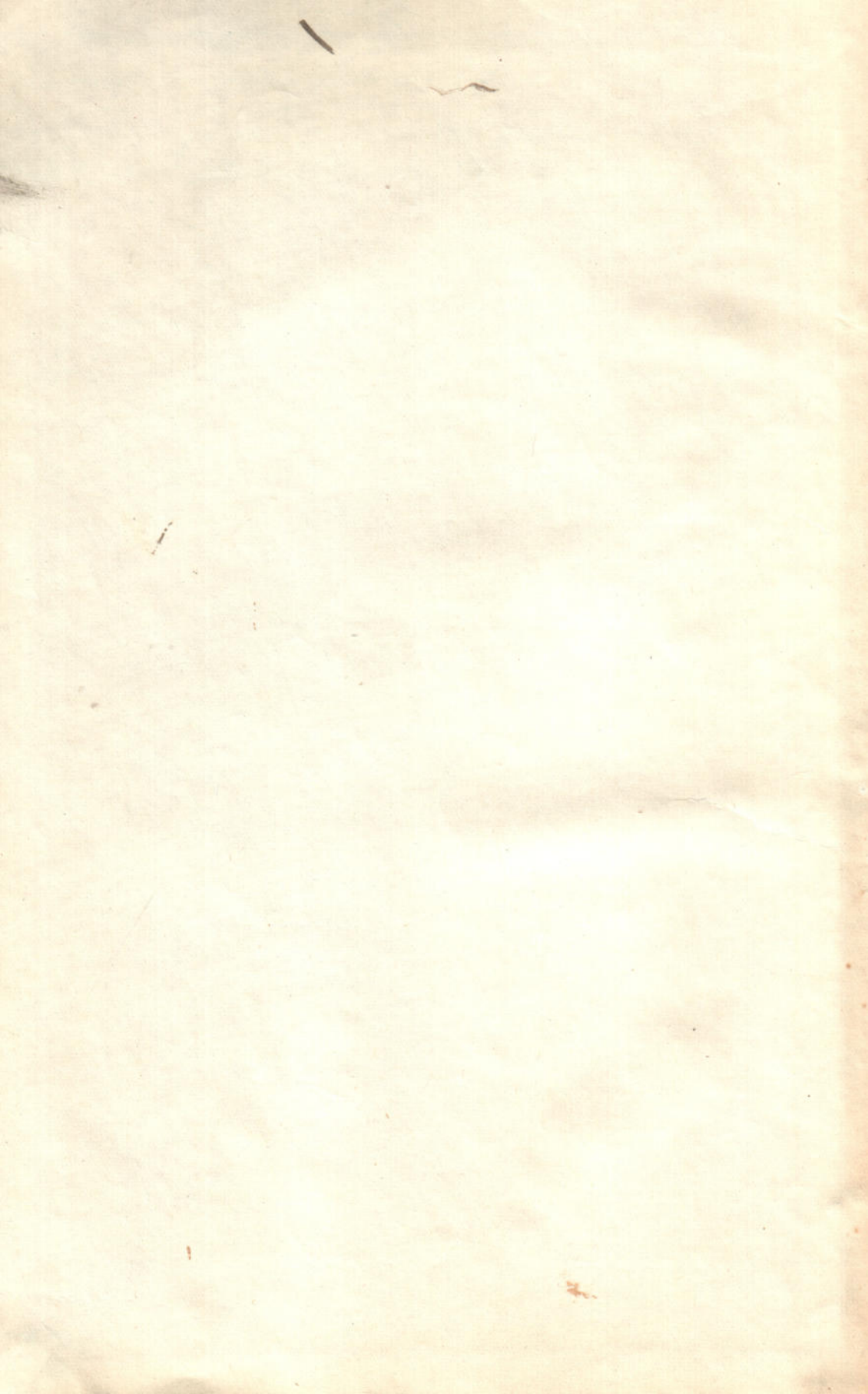
122. Бронзы	—
123. Марганцовистая бронза	205
124. Алюминиевая бронза	206
125. Белая или зеленая мед. также латунь	—
126. Тройные сплавы	208
127. Сплавы олова и свинца	209
128. Белые, или антифрикционные сплавы	—
A) Сплавы свинца и сурьмы (антимоний)	—
B) Сплавы олова, меди и сурьмы	—
C) Сплавы свинца, олова и сурьмы	210
D) Сплавы меди, олова и цинка	—
Легкоплавкие сплавы висмута	—

Значение принятых сокращений в тексте.

A. M.—American Machinist.
 Eng.—Engineering.
 M. E.—Mechanical Engineer.
 Mach.—Machinery.
 P. E.—Practical Engineer.
 Z. d. V. d I. или просто Z.—Zeitschrift des Vereines deutscher Ingenieure.
 Gies. Z.—Giesserei Zeitung.

Первая цифра обозначает страницу;—остальные—месяц и год. Так 178—3—08 значит 178 стр., март месяц, 1908 год.





100

THE UNIVERSITY OF CHICAGO

DEPARTMENT OF CHEMISTRY

RECEIVED
FROM THE
LIBRARY OF THE
UNIVERSITY OF CHICAGO
ON [illegible]

19[illegible]

THE UNIVERSITY OF CHICAGO PRESS

[illegible text]

[illegible text]

[illegible text]

THE UNIVERSITY OF CHICAGO PRESS

[illegible text]

[illegible text]

12

300

