Національний університет
водного господарства
та природокористування

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ВОДНОГО ГОСПОДАРСТВА ТА ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ

Кафедра автомобілів та автомобільного господарства

12-01-10

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

до лабораторних робіт з дисципліни “Технологія конструкційних матеріалів і матеріалознавство” (розділ “Матеріалознавство”) для студентів за напрямами підготовки 6.070106 «Автомобільний транспорт», 6.050503“Машинобудування” та дисципліни “Матеріалознавство та технологія матеріалів” (розділ “Матеріалознавство”) для студентів за напрямами підготовки 6.050601 «Теплоенергетика», 6.050602 «Гідроенергетика» денної та заочної форм навчання

Національний університет
водного господарства
та природокористування

Рекомендовано методичними комісіями
за напрямами підготовки
6.070106 «Автомобільний транспорт»
протокол №1 від 16.09.2013р.,
6.050503 “Машинобудування”
протокол №2 від 08.10.2013р.,
6.050601 «Теплоенергетика»
протокол №1 від 29.09.2013р.,
6.050602 «Гідроенергетика»
протокол №1 від 29.09.2013р.

Рівне – 2013

Національний університет водного господарства та природокористування

Методичні вказівки до лабораторних робіт з дисципліни “Технологія конструкційних матеріалів і матеріалознавство” (розділ “Матеріалознавство”) для студентів за напрямами підготовки 6.070106 «Автомобільний транспорт», 6.050503 “Машинобудування” та дисципліни “Матеріалознавство та технологія матеріалів” (розділ “Матеріалознавство”) для студентів за напрямами підготовки 6.050601 «Теплоенергетика», 6.050602 «Гідроенергетика» денної та заочної форм навчання / Колесник О.А., Пікула М.В., – Рівне: НУВГП, 2013. – с.44

Укладачі: Колесник О. А., к.т.н., старший викладач, Пікула М.В., старший викладач.

Відповідальний за випуск: завідувач кафедри автомобілів та автомобільного господарства, професор Марчук М. М.

ЗМІСТ

1. Лабораторна робота № 1 “Дослідження твердості металів”.. 3
2. Лабораторна робота № 2 “Дослідження макроструктури металів”…… 8
3. Лабораторна робота № 3“ Дослідження процесів кристалізації двохкомпонентних сплавів ”..... 12
4. Лабораторна робота № 4“ Дослідження мікроструктури вуглецевих сталей і чавунів ” 15
5. Лабораторна робота № 5 “Дослідження впливу термічної обробки на структуру і властивості вуглецевих сталей” …… 19
6. Лабораторна робота № 6 “Дослідження впливу термічної обробки на структуру і властивості легованих сталей”... 24
7. Лабораторна робота № 7 “Дослідження процесів хіміко-термічної обробки сталі”..... 29
8. Лабораторна робота № 8 “ Дослідження процесів лиття у разові піщано-глиняні форми”..... 31
9. Лабораторна робота № 9 “ Дослідження процесів лиття в кокіль і відцентрового лиття”..... 38
10. Список рекомендованої літератури..... 44

© О.А. Колесник,
М.В. Пікула, 2013
© НУВГП, 2013

Національний університет
водного господарства
та природокористування

Лабораторна робота № 1
ДОСЛІДЖЕННЯ ТВЕРДОСТІ МЕТАЛІВ

Мета роботи: вивчити основні методи і прилади для визначення твердості металів; набути практичні навики визначення твердості методами Брінелля та Роквелла; порівняти значення твердості різних металів.

Забезпечення роботи: набір зразків різних сплавів, твердомір Брінелля, мікроскоп МПБ-2, твердомір Роквелла, довідкові таблиці.

1.1. Теоретичні відомості

Твердість - це здатність металу опиратися проникненню в нього іншого, більш твердого, тіла певної форми і розмірів, яке під дією навантаження практично не отримує залишкової деформації. Тіло, яке проникає у випробувану поверхню, називається індентором і може мати форму кульки, конуса чи чотиригранної піраміди. Індентори виготовляють з інструментальних сталей, твердих металокерамічних сплавів або технічних алмазів.

Визначення твердості - поширений метод випробування металів, який дозволяє судити про деякі характеристики деталі без її руйнування. Більшість кілька методів визначення твердості грунтується на тому, що індентор залишає на випробовуваній поверхні відбиток, розміри якого і визначають твердість зразка. Чим менший відбиток, тим більша твердість металу.

У виробничих умовах застосовують методи Брінелля і Роквелла, для дослідницьких цілей - метод Віккерса.

1.1.1. Визначення твердості методом Брінелля

Сутність методу, названого в честь шведського інженера Ю.А.Брінелля, грунтується на втисненні у випробувану поверхню стальної загартованої кульки діаметром D під дією навантаження P протягом часу τ. В результаті пластичної деформації на поверхні утворюється відбиток у вигляді сферичної лунки діаметром d і глибиною h (рис.1.1).

Твердість визначається відношенням зусилля P до площі поверхні F відбитка:

$$HB = \frac{P}{F} = \frac{2P}{\pi D(D - \sqrt{D^2 - d^2})}, \text{ кг/мм}^2 \qquad (1.1)$$

де HB - твердість (H - від англ. слова "hardness"); P - навантаження, кг; D - діаметр кульки, мм; d - діаметр відбитка, мм.

Національний університет
водного господарства
та природокористування

Якщо навантаження P задано у Н, то формула (1.1) має вигляд:

$$HB=\frac{0.102\cdot P}{F}=\frac{0.102\cdot 2P}{\pi D(D-\sqrt{D^2-d^2})}, \text{ кг/мм}^2 \qquad (1.2)$$

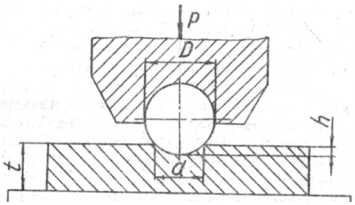


Рис.1.1. Схема проникнення індентора за методом Брінелля

Між межею міцності $\sigma_в$ і значенням твердості металів є залежність $\sigma_в=a\cdot HB$, де *К* - коефіцієнт, який залежить від випробуваного металу (для сталей - 0,37, для мідних сплавів – 0,5, для алюмінієвих сплавів – 0,34, для чавуну – 0,1).

Значення *P* залежить від передбачуваної твердості випробуваного металу: $P=KD^2$, де *D* - діаметр кульки, мм; *К* - коефіцієнт пропорційності, який залежить від твердості металу (табл.1.1). Діаметр кульки залежить від товщини зразка. Для товщини $S>6$ мм діаметр кульки $D=10$ мм, при $s=3...6$ мм приймають $D=5$ мм, при $2<S<3$ мм вибирають $D=2,5$ мм.

Витримку зразка τ під навантаженням визначають в залежності від металу. Для чавуна та сталі $\tau=10…15$ с; для кольорових металів і сплавів $\tau=10…180$ с.

Віддаль між центрами двох сусідніх відбитків повинна бути не меншою $4d$, а віддаль від центра відбитка до краю зразка - не менше $2,5\ d$. Для особливо м'яких металів ($HB<35$) ці віддалі повинні бути, відповідно, $6d$ і $3d$.

Таблиця 1.1

Значення коефіцієнта пропорційності для різних матеріалів

Метали та сплави	Коефіцієнт *a*, Н/мм^2 (кг/мм^2)	Твердість *HB*, кг/мм^2
Залізо, сталь, чавун	294 (30)	96…450
Мідь, алюміній і сплави	98 (10)	32…200
Підшипникові сплави	24,5 (2,5)	8…50

Вимірювання твердості здійснюють на пресах типу ТШ, в яких навантаження створюється змінними вантажами. Передаточне відношення преса дорівнює 50, тобто 1 кг вантажу на підвісці створює

Національний університет водного господарства та природокористування

зусилля на індеторі 50 кг.

Діаметр відбитка вимірюють за допомогою мікроскопа МПБ-2, який встановлюють на зразок проти відбитка так, щоб центри отворів у підставі і контуру відбитка збігалися. Початок шкали суміщають з краєм контура і здійснють вимірювання з заданою точністю. Оскільки контур відбитка має форму еліпса, вимірювання діаметра відбитка здійснюють у двох взаємно перпендикулярних напрямках і потім обчислюють середнє арифметичне значення $d_{ср}$. Значення твердості на практиці визначають за довідковою таблицею.

Твердість, виміряна за методом Брінелля, при умовах випробування D=10 мм, P=3000 кг і τ=10…15 с, позначають цифрами, які характеризують величину твердості (у кг/мм^2), і буквами *НВ*. Наприклад, 190 *НВ*. При інших умовах випробування після буквеного позначення вказують: діаметр кульки, навантаження і час витримки під навантаженням. Так твердість за Брінеллем, виміряна з використанням кульки D=5 мм, при навантаженні P=750 кг і витримці τ=20с, запишеться так: 190 *НВ* 5/750/20.

Метод Брінелля не застосовують для металів твердістю більше 450 НВ, тому що в цьому випадку може відбутися деформація кульки і кінцевий результат буде спотворений. Цим методом не можна вимірювати твердість листових зразків товщиною менше 0,09 мм і виробів складної конфігурації та малої жорсткості.

1.1.2. Визначення твердості за методом Роквелла

Сутність методу, названого в честь американського металурга С. Роквелла, ґрунтується на втисненні у випробувану поверхню стальної кульки діаметром 1,588 мм або алмазного конуса з кутом 120° при вершині під дією навантаження P, яке прикладається до зразка в декілька стадій (рис.1.2).

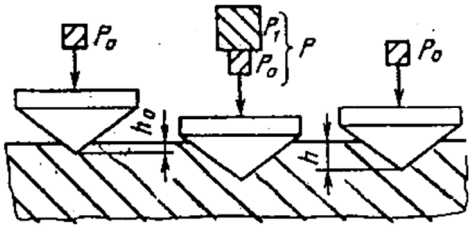


Рис.1.2. Схема проникнення індентора за методом Роквелла

Національний університет водного господарства та природокористування

На першій стадії до зразка прикладають початкове навантаження P_o=100 Н, при якому індентор проникає в зразок на глибину h_o. На другій стадії діє повне навантаження P, причому навантаження P_1 залежить від виду індентора (конус або кулька) і передбачуваної твердості випробуваного матеріалу. Індентор проникає у зразок на певну глибину. На третій стадії навантаження P_1 знімається, зразок залишається під навантаженням P_o і індентор фіксується на глибині h. Різниця між глибинами проникнення індентора в зразок на першій і третій стадіях характеризує твердість металу. Чим менша різниця, тим метал твердіший.

Значення твердості за методом Роквелла (в умовних одиницях) визначається за формулами:

$HR=100-e$ - при вимірюванні по шкалах А і С; (1.3)

$HR=130-e$ - при вимірюванні по шкалі В (1.4)

$$\text{де } e=\frac{h-h_0}{0{,}002}. \quad (1.5)$$

Національний університет водного господарства та природокористування

Твердість вимірють в умовних одиницях приладом ТК-2. На його фронтальній частині встановлено індикатор, за шкалою якого і відраховується значення твердості. За одиницю твердості прийнята величина, яка відповідає переміщенню кульки або конуса на 0,002 мм.

Різні значення навантаження, яке прикладають до зразка при різних умовах випробування, забезпечуються змінними вантажами, які встановлюють на підвіску приладу. Попереднє зусилля P_0=10 кг створює пружина наприкінці процесу дотискання зразка до індентора.

Таблиця 1.2.

Технічні характеристики преса ТК-2

Позначення		Межі вимірювань твердості за Роквеллом	Значення твердості за Вікерсом, *HV*	Тип наконечника	Навантаження, *P*, кг (Н)
Шкали	Твердості				
В (червона)	*HRB*	25…100	60…240	Кулька	100 (1000)
С (чорна)	*HRC*	20…67	240…900	Конус	150 (1500)
А (чорна)	*HRA*	70…85	390…900	Конус	60 (600)

Твердість за Роквеллом позначають буквенно-числовим символом, наприклад: *HRB* 40; *HRC* 45; *HRA* 30, де *HRB*, *HRC* і *HRA* - твердість за Роквеллом, визначена відповідно по шкалах В, С, А, а цифра – твердість в умовних безрозмірних одиницях.

Національний університет водного господарства та природокористування

Метод Роквелла поширеніший, оскільки має ширші межі по визначенню максимальних значень твердості (до *HB* 800) при використанні мінімальної товщини зразків 0,4 мм. Крім того, він продуктивніший, має високу точність і зберігає якість поверхні після випробувань. Проте метод не рекомендується застосовувати для випробувань чавунів, внутрішніх криволінійних поверхонь з радіусом кривизни менше 5 мм, а також нежорстких деталей.

1.2. Порядок виконання роботи

Вимірювання твердості методом Брінелля.

1. Встановити вид металів заданих зразків, виміряти їхню товщину і вибрати необхідні умови випробування - діаметр кульки, навантаження і час. Налагодити прилад на заданий режим випробовування.

2. Встановити зразок на столик, підвести його до індентора, підтиснути до упора і включити електродвигун приводу. Після автоматичного виключення електродвигуна опустити столик і зняти зразок.

3. Аналогічно повторити випробування інших зразків.

4. За допомогою мікроскопа МПБ-2 виміряти два взаємно перпендикулярних діаметри (d_1 і d_2) кожного відбитка, обчислити середнє значення, а потім визначити твердість зразка в цілому.

5. Результати вимірів занести у табл.1.3 і зробити висновки.

Таблиця1.3

Протокол результатів вимірювань за Брінеллем

№ з/п	Матеріал	Діаметр кульки, *D*, мм	Витримка, *τ*, с	Навантаження, *P*, Н	Діаметр відбитка, мм			*HB*, Н/мм^2	*σ*, Н/мм^2
					d_1	d_2	$d_{ср}$		

Вимірювання твердості методом Роквелла.

1. Встановити орієнтовний вид металу і передбачувану твердість зразків, визначити умови випробування кожного з них - індентор, навантаження, шкала вимірювання. Налагодити прилад на потрібний режим. Включити електродвигун приводу.

2. Встановити зразок на столик приладу, підвести зразок до індентора і далі до суміщення маленької стрілки індикатора з червоною точкою, сумістити "нуль" чорної шкали з кінцем великої стрілки, а

Національний університет водного господарства та природокористування

потім натиснути і відпустити педаль пуску. Наприкінці циклу іспитів зафіксувати значення твердості проти кінця великої стрілки на відповідній шкалі і опустити столик.

3. Повторити випробування твердості ще в двох точках. Аналогічно повторити випробування зразків з інших матеріалів.

4. За значеннями твердості, визначеної в різних точках, для кожного зразка знайти середнє значення, а потім перевести отримане значення твердості у твердість за Брінеллем і за Віккерсом..

5. Результати вимірів занести у табл.1.4 і зробити висновки про твердість зразків.

Таблиця 1.4.

Протокол результатів вимірювань за Роквеллом

№ з/п	Матеріал	Тип індентора	Тип шкали	Навантаження, *P*, *H*	Твердість				*HB*, Н/мм^2	*HV*, Н/мм^2
					1	2	3	Ср.		

Національний університет водного господарства та природокористування

Контрольні запитання

1. Що таке твердість? 2. В чому полягає сутність вимірювання твердості за методом Брінелля? 3. В чому полягає сутність вимірювання твердості за методом Роквелла? 4. Як позначається твердість виміряна за методом Брінелля? 5. Як позначається твердість виміряна за методом Роквелла?

Лабораторна робота № 2
ДОСЛІДЖЕННЯ МАКРОСТРУКТУРИ МЕТАЛІВ

Мета роботи: Навчитися проводити дослідження макроструктури металів, виявляти дефекти, визначати вид зламу, умови та характер попередньої обробки.

Забезпечення роботи: набір зразків, реактиви, плакати

2.1. Теоретичні відомості

Макроскопічний аналіз (макроаналіз) - це дослідження будови металів і сплавів неозброєним оком або оптичними приладами, які мають невелике (до 30-ти разів) збільшення. Виявлену в такий спосіб будову називають *макроструктурою*. Оскільки спроможність людського ока незначна (не більше 0,3 мм), то й мінімальні розміри елементів досліджуваної структури повинні перевищувати 0,3 мм.

Національний університет водного господарства та природокористування

Основна задача макроаналізу - визначення порушення суцільності металу (пухирів і раковин, пустот у литому металі, тріщин); дефектів зварювання (непроварювання, порожнини); встановлення хімічної неоднорідності сплаву (ліквації); визначення способу обробки деталі (лиття, обробка тиском, різанням); визначення неоднорідності будови, утвореною термічною чи хіміко-термічною обробкою (глибина поверхневого гартування, глибина цементації); встановлення причини руйнування деталі за характером структури зламів.

Макроаналіз буває трьох видів: зовнішній огляд; вивчення макрошліфів; вивчення зламів.

2.1.2. Зовнішній огляд деталі

Зовнішній огляд дозволяє встановити зовнішні дефекти будови деталі: тріщини, раковини, відшарування часток металу, порушення форми деталі, характер розташування дефектів (суцільний, зональний, рядковий чи радіальний).

2.1.3. Вивчення макрошліфів.

Макрошліф - це поверхня зразка, підготовлена для дослідження макроструктури. Зразок вирізають з визначеного місця деталі, залежно від того, що досліджують (виливок, штамповка, прокат, зварна чи термічно оброблена деталь) і що потрібно вивчити (структура кристалізації, ліквація тощо), поверхню шліфують абразивним папером різних номерів, після кожного з яких напрям шліфування змінюють на 90°. Закінчують шліфування абразивним папером з розміром часток 50...40 мкм. Після цього поверхню промивають водою, просушують фільтрувальним папером і травлять для виявлення досліджуваної структури.

Дослідження дендритної будови. При вивченні дендритної будови литої сталі, тріщин і пор застосовують 15-відсотковий розчин персульфата амонію $(NH_4)S_2O_8$ або 50-відсотковий розчин соляної кислоти HCl при температурі 60…70°С. Час травлення 15...25 хв. Міждендритні проміжки витравлюються, а осі дендритів виступають на поверхню. Пори та тріщини проявляються у вигляді темних ділянок різної форми (рис.2.1).

Дослідження волокнистої будови. Волокниста структура характерна для пластично деформованого металу, який має анізотропію властивостей у різних напрямках. Так, вздовж волокон ударна в’язкість, пластичність і опір руйнуванню значно вища, ніж впопе-

Національний університет
водного господарства
та природокористування

рек. Тому бажано виготовляти вироби так, щоб волокна не перерізалися, а максимально відповідали їхній конфігурації.

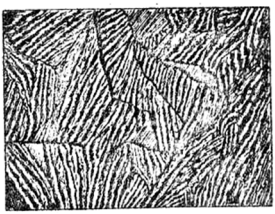
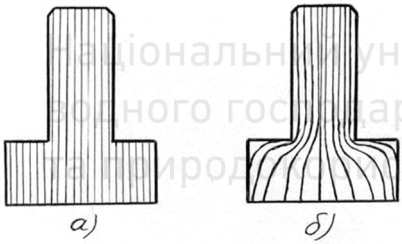


Рис.2.1. Будова литої сталі

Волокна в металі – це витягнуті осі первинних кристалів (дендритів) або структурних складових, напрямок яких залежить від напряму пластичної деформації (рис.2.2). За характером їх розташування можна встановити спосіб виготовлення деталі (наприклад, обробка тиском або різанням).



Національний університет
водного господарства
та природокористування

Рис.2.2. Макроструктура деталі, виготовленої обробкою тиском (а) і різанням (б)

Для виявлення волокнистої будови деформованих сталей використовують розчин хромпіка в сірчаній кислоті - $K_2Cr_2O_7$ (25 г) + H_2SO_4 (60 мл) + H_2O (500 мл) чи реактив Гейна - NH_4Cl (53 г) + $Cu\ Cl_2$ (85г) + H_2O (1000 мл).

Дослідження ліквації сірки. Сірка практично нерозчинна в залізі, проте утворює з ним сульфід заліза *FeS*, який входить в склад евтектики, що утворюється при температурі 988 ^oC. Наявність легкоплавкої та крихкої евтектики, яка розміщається на границях зерен, робить сталь крихкою при температурах, близьких до 800 ^oC. Таке явище має назву *червоноламкості*. Шкідливий вплив сірки посилюється і її нерівномірним розміщенням по об’єму металу – схильністю до ліквації.

Для виявлення ліквації сірки у сталі застосовують метод Баумана. Поверхню макрошліфа, відшліфовану абразивною шкіркою з

Національний університет водного господарства та природокористування

дрібним зерном, протирають ватою, змоченою спиртом. Потім аркуш бромосрібного фотопаперу змочують на світлі і витримують протягом 5…10 хвилин у 5-відсотковому розчині сірчаної кислоти, підсушують і прикладають емульсійною стороною до досліджуваної поверхні. Для отримання хороших результатів потрібно прогладити папір не допускаючи його зміщення відносно макрошліфа.

На ділянках зі скупчення сульфідів *FeS* і *MnS*, відбуваються такі реакції:

$$FeS + H_2SO_4 = FeSO_4 + H_2S \quad (2.1)$$

$$MnS + H_2SO_4 = MnSO_4 + H_2S \quad (2.2)$$

Сірководень, який утворюється навпроти місця розміщення сульфідів, реагує з бромистим сріблом емульсійного шару:

$$2AgBr + H_2S = 2HBr + Ag_2S \quad (2.3)$$

Після витримки (3…15 хв) папір відділяють, промивають під струменем води, фіксують зображення у гіпосульфіті протягом 20…30 хв, знову промивають і просушують. Сірчисте срібло Ag_2S має темно-коричневий колір, тому темні ділянки на фотопапері вказують контури та характер розподілу включень сульфідів у досліджуваній сталі.

Дослідження ліквації фосфору. Фосфор також є шкідливою домішкою у сталі і має підвищену схильність до ліквації. Розчиняючись, він надає сталі понижену міцність при кімнатних температурах - *холодноламкість*. Для визначення ліквації фосфора використовують реактив Гейна. Поверхню макрошліфа протирають ватою, змоченою у спирті, і опускають на 1…2 хв у реактив. При цьому залізо розчиняється і витісняє мідь, яка осаджується на поверхні зразка. Струменем води мідь змивається з поверхні, макрошліф протирають і просушують. Місця, збагачені фосфором, матимуть темний колір. Це відбувається тому, що сталь, збагачена фосфором, розчиняється швидше.

2.1.4. Вивчення зламів

Злам - це поверхня, по якій відбулося руйнування деталі чи зразка. Вони бувають кристалічні (крихкі), волокнисті (в'язкі) та втомленісні.

Крихкий злам є результатом крихкого руйнування, яке відбувається під дією зовнішніх сил без помітної пластичної деформації. На такому зламі можна спостерігати зерна, їхню форму і взаємне розташування. Крихкі злами бувають *інтеркристалічними (міжк-*

Національний університет
водного господарства
та природокористування

ристалічними) - руйнування відбуваються по межах зерен, тому що вони менш міцні, ніж самі зерна сплаву, та *транскристалічними* - руйнування відбувається по тілу зерна. Інтеркристалічний злам має характерну каменеподібну будову та блискучий колір. У транскристалічному зламі колір зламу матовий, а поверхня рівна (зерна не виділяються в зламі).

Волокнистий злам є результатом в'язкого руйнування, яке супроводжується значною пластичною деформацією зерен. Він має характерну волокнисту будову, колір – тьмяний (рис.2.3). За волокнистим зламом не можна судити про внутрішню будову, оскільки не виявляється форма і розмір зерна.

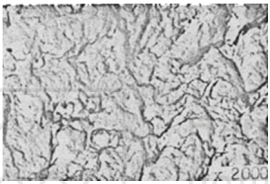


Рис.2.3. Будова в'язкого зламу

Рис.2.4. Будова втомленісного зламу

Національний університет
водного господарства
та природокористування

Втомленісний злам (рис.2.4) є ознакою втомленісного руйнування деталей, яке відбувається під дією знакозмінних напруг. Злам має три зони: 1 - ядро (тріщина, пора, неметалічне включення); 2 - зона втоми, яка має ступінчасто-складчасту будову з окремими ділянками блискучої поверхні; 3 - зона залишкового руйнування (зону доломлювання), яке може бути крихким або в'язким (в залежності від умов впливу напруг на кінцевій стадії руйнування, будови і властивостей металу).

2.2. Порядок виконання роботи

Дослідити волокнисту будову заданих деталей. Визначити характер їх обробки. Дослідити ліквацію сірки. Визначити дефекти зварювальних швів. Дослідити і зарисувати злами. Вказати дефекти та причини їх виникнення.

Контрольні запитання

1. Що таке макроаналіз? 2. Що таке макрошліф і як його готують? 3. Які є види макроаналізу? 4. В чому полягає відмінність у макрошліфах деталей виготовлених обробкою тиском та різанням?

Національний університет водного господарства та природокористування

5. Що таке волокна в металі? 6. Що таке ліквація? 7. Що таке червоноламкість і холодноламкість? 8. Як визначають глибину поверхневої термічної обробки сталі? 9. Що таке злам? 10. Які є види зламів?

Лабораторна робота № 3
ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСІВ КРИСТАЛІЗІЦІЇ ДВОХКОМПОНЕНТНИХ СПЛАВІВ

Мета роботи: вивчити методику побудови діаграм стану двохкомпонентних систем; отримати навички у вивченні сплавів методом термічного аналізу, навчитися аналізувати діаграми стану з застосуванням правила фаз і правила відрізків.

Забезпечення роботи: набір сплавів різного хімічного складу, тигельна піч, термопара (або термометр).

3.1. Теоретичні відомості

Сплави – це з'єднання двох і більше металів або металів і неметалів. Речовини, які входять до складу сплаву, називають *компонентами*. В процесі кристалізації компоненти, взаємодіючи між собою, утворюють *фази* - однорідні за хімічним складом частини сплаву, які мають поверхні поділу, при переході через які змінюються стрибкоподібно.

Процеси, які відбуваються у металах і сплавах при фазових перетвореннях, підпорядковані загальному закону рівноваги - правилу фаз Гіббса, яке виражає залежність між числом ступенів свободи, числом компонентів і фаз в умовах рівноваги:

$$C = K - \Phi + 1 \qquad (3.1)$$

де C - число ступенів свободи (кількість змінних, зміна яких не призводить до зміни стану рівноваги системи); K - число компонентів, які входять до складу сплаву; Φ - число фаз, що знаходяться в рівновазі; 1 - число зовнішніх чинників (температура).

Графічне зображення зміни фазового складу сплавів даної системи в залежності від температури і концентрації називається *діаграмою стану*.

Діаграму стану двохкомпонентного сплаву будують у координатах "температура – концентрація": на осі ординат відкладають температура (в градусах Цельсія), на осі абсцис - концентрація компонентів (у відсотках). Таким чином, кожна точка діаграми характеризує фазовий склад даного сплаву при заданій температурі.

Національний університет
водного господарства
та природокористування

Вид діаграми стану визначається характером взаємодії компонентів системи у твердому стані (у рідкому стані компоненти утворюють необмежено рідкі розчини).

Діаграми стану будують за критичними точками - температурами фазового перетворення. Оскільки фазові перетворення мають температурний гістерезис (критичні точки при нагріванні й охолодженні у багатьох сплавах не співпадають), то вони позначаються так: *Ac* - при нагріванні; *Ar* - при охолодженні. Сплави можуть мати декілька критичних точок.

Простим методом визначення критичних точок є термічний аналіз, який ґрунтується на побудові кривих нагрівання (охолодження). За рахунок аномалії теплових ефектів, пов'язаних із протіканням фазових перетворень, на кривих утворяться температурні зупинки чи перегини, за якими і визначають критичні точки (рис.3.1).

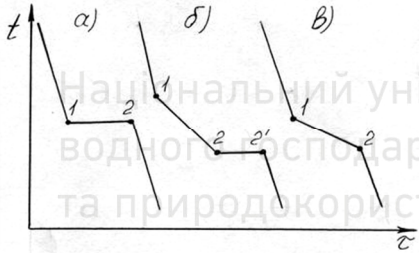


Рис.3.1. Криві охолодження: а - чисті метали, хімічні сполуки, евтектичні сплави; б - доевтектичні і заевтектичні сплави; г – тверді розчини

Криві охолодження чистих металів, хімічних сполук, евтектичних сплавів (рис.3.2.а) мають одну критичну точку *Ar* (ділянка 1-1). Доевтектичні, заевтектичні сплави і сплави, які утворюють тверді розчини, мають дві критичні точки: Ar_1 і Ar_2.

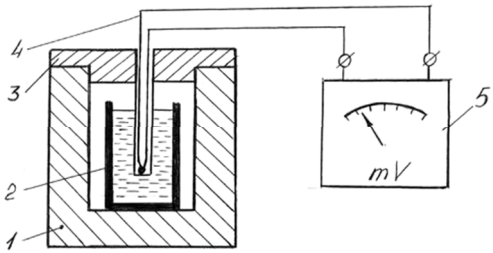


Рис.3.2. Схема установки для термічного аналізу: 1 - електрична піч, 2 – тигель з розплавом; 3 - кришка; 4 - термопара; 5 – мілівольтметр

Національний університет водного господарства та природокористування

На рис.3.2 зображена схема установки для проведення термічного аналізу. Для вимірювання температури застосовують термометри або термоелектричні пірометри.

3.2. Порядок виконання роботи

Робота виконується п’ятьма бригадами, кожна з яких досліджує один сплав. Для побудови кривої охолодження температуру вимірюють безперервно через кожні 15 с. Дані вимірів заносяться в таблицю результатів. По перегинах і температурних зупинках на кривій визначаються критичні точки. Перенісши їх на площину діаграми стану і з'єднавши однойменні точки плавними лініями, отримаємо лінії ліквідус і солідус.

Контрольні запитання

1. Що таке сплави? 2. Охарактеризувати компоненти і фази сплаву. 3. В чому полягає суть правила фаз Гіббса? 4. Що таке діаграма стану сплаву? 5. Що таке лінія ліквідус і лінія солідус? 6. Що таке евтетика? 7. Які сплави називають до евтектичними і заевтектичними?

Національний університет водного господарства та природокористування

Лабораторна робота № 4
ДОСЛІДЖЕННЯ МІКРОСТРУКТУРИ ВУГЛЕЦЕВИХ СТАЛЕЙ І ЧАВУНІВ

***Мета роботи**:* вивчити діаграму стану залізо-цементит, основні процеси, які відбуваються по її лініях, фазовий та структурний склад сплавів в різних областях діаграми $Fe\text{-}Fe_3C$, класифікацію і маркування вуглецевих сталей і чавунів, отримати практичні навички мікроструктурного дослідження сталей і чавунів.

Забезпечення роботи: мікроскоп МІМ-7, набір мікрошліфів сталей і чавунів, твердоміри ТК-2, плакати і фотографії мікроструктур сталей і чавунів.

4.1. Теоретичні відомості

4.1.1. Мікроструктурний аналіз

Властивості металів визначаються їхньою внутрішньою будовою (структурою), яка змінюється під впливом різних за природою зовнішніх енергетичних полів (механічних, теплових, променевих, радіаційних, електромагнітних) і хімічного складу сплаву.

Важливу інформацію про будову матеріалу дає *мікроструктурний аналіз (мікроаналіз)* - дослідження будови металів при великому (більше 30) збільшенні. Досліджувану будову називають *мікро-*

Національний університет водного господарства та природокористування

структурою.

Основними задачами мікроаналізу є: визначення форми і розмірів зерен; визначення форми, розмірів і взаємного розташування структурних складових сплаву; виявлення мікротріщин і включень (сульфідів, оксидів, нітридів); визначення хімічного складу деяких фаз за їхньою формою і кольором.

Підготовлену для дослідження мікроструктури поверхню зразка називають *мікрошліфом*. Зразок повинен мати форму куба чи циліндра з розміром сторони або діаметра не більше 20 мм. Зразки менших розмірів або неправильної геометричної форми заливають епоксидними смолами чи легкоплавкими сплавами у контейнери

Зразок шліфують на спеціальному шліфувальному папері, змінюючи розміри абразивних часток від 320... 250 мкм до 20...14 мкм. При переході з паперу одного номера на інший змінюють напрям шліфування – перпендикулярно до рисок від попереднього номера паперу – до тих пір, поки риски не зникнуть. Полірування видаляють найдрібніші дефекти поверхні, які залишилися після шліфування. На практиці використовують механічне полірування кругом, покритим фетром чи тонким сукном. Як полірувальна рідина, використовуються суспензії оксидів алюмінію, хрому, магнію (Al_2O_3, Cr_2O_3, MgO), якими змочують поверхню круга. Полірування закінчують, якщо поверхня зразка має дзеркальний блиск і при 100-кратному збільшенні не помітно рисок. Після цього мікрошліф промивають водою і спиртом і висушують.

Заключна операція – травлення мікрошліфа, адже на нетравленій поверхні можна помітити лише неметалеві включення. Травильними розчинами є електроліти - водні чи спиртові розчини солей, лугів, кислот. Структурні складові (фази) сплаву, які мають найбільший від'ємний електродний потенціал, відіграють роль мікроскопічних анодів і розчиняються, утворюючи впадини на мікрошліфі, а ділянки, які є катодами, не розчиняються, утворюючи виступи. Таким чином, травлення викликає утворення мікрорельєфа, який сприяє дифракції світла при дослідженні під мікроскопом (рис.4.1). Для травлення сталей і чавунів найчастіше використовують 4...5%-вий спиртовий розчин HNO_3.

Для мікроаналізу сплавів використовують металографічні мікроскопи, в яких зображення структури представляє собою інтерференційну картину відбитих від поверхні шліфа променів.

Національний університет
водного господарства
та природокористування

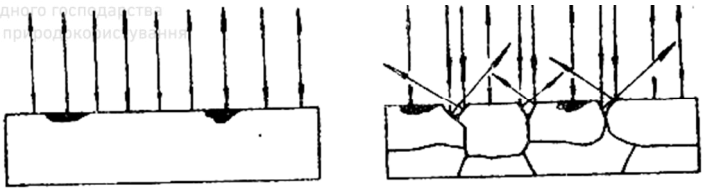


Рис.4.1. Схема відбивання променів від поверхні шліфа:
а – нетравленого, б – травленого

4.1.2. Класифікація вуглецевих сталей

Вуглецеві сталі класифікують за структурою у рівноважному стані, вмістом вуглецю, ступенем розкислення, якістю і призначенням.

За структурою у рівноважному стані вуглецеві сталі поділяють на доевтектоїдні, евтектоїдну і заевтектоїдні. *Доевтектоїдними* називаються сталі, що містять від 0,02 до 0,8 % С і мають у структурі ферит та перліт. *Евтектоїдна* – сталь, яка містить 0,8 % С і має перлітну структуру. *Заевтектоїдними* називають сталі, що містять від 0,8 до 2,14 % С і мають у структурі перліт і цементит вторинний.

За вмістом вуглецю сталі поділяють на низьковуглецеві (<0,3%С), середньовуглецеві (0,3 < С < 0,7%) та високовуглецеві (>0,7%С).

За якістю сталі класифікують на звичайної якості, якісні та високоякісні. Основним показником якості є вміст сірки та фосфору в сталі. Сталі звичайної якості містять до 0,06 % S і 0,07 % P, якісні – до 0,04 % S і 0,035 % P, високоякісні – до 0,025 % S і P.

За ступенем розкислення сталі поділяють на киплячі (Si<0,07 %), напівспокійні(0,07<Si<0,17 %) та спокійні(0,17<Si<0,37 %).

За призначенням вуглецеві сталі поділяють на конструкційні та інструментальні.

4.1.3. Класифікація чавунів

Чавуни, в залежності від форми вуглецю в них, поділяють на білі, сірі, високоміцні та ковкі.

У білих чавунів весь вуглець знаходиться в зв’язаному стані у вигляді цементиту чи інших карбідів. Злам таких чавунів має матово-білий колір. Білі чавуни в залежності від вмісту вуглецю поділяються на доевтектичні, евтектичні та заевтектичні. *Доевтектичними* називають чавуни, які містять від 2,14 до 4,3 % С, структура яких складається з перліту, цементиту вторинного і ледебуриту. *Евтек-*

Національний університет водного господарства та природокористування

тичні чавуни – це чавуни, які містять 4,3 % С, структурною складовою яких є тільки ледебурит. *Заевтектичними* називають чавуни, які містять від 4,3 до 6,67 % С і структура яких складається з ледебуриту та цементиту первинного. Білі чавуни мають високу твердість (*HB* 4500...5500) та крихкість і тому для деталей машин їх не використовують.

У сірих, високоміцних та ковких чавунах вуглець частково чи повністю знаходиться у вільному стані у вигляді графіту, який надає зламу цих чавунів сірий колір і тому вони називаються сірими.

Структура сірих, високоміцних і ковких чавунів складається з металічної основи і графіту різної форми – пластинчастої, кулястої та пластівцевої. Чавуни, в яких графіт має пластинчасту форму, називаються звичайними сірими, кулясту форму – високоміцними, пластівцеву форму – ковкими.

Графіт має низькі механічні властивості і тому можна вважати , що місця, які він займає – це пустоти в металі. Пластинчаста форма найбільше послаблює металічну основу, виступаючи концентраторами напруг. Кулястий графіт є менш сильним концентратором напруг, ніж пластинчастий графіт. Тому чавуни з кулястим графітом мають вищу міцність і деяку пластичність. Пластівцева форма є проміжною між пластинчастою і кулястою формами і, відповідно, ковкі чавуни мають значення механічних властивостей проміжні між властивостями сірих і високоміцних чавунів.

Сірі, високоміцні та ковкі чавуни за структурою металічної основи поділяють на феритні, феритно-перлітні та перлітні. Структура феритних чавунів складається із феритної основи і включень графіту, феритно-перлітних чавунів – із феритно-перлітної основи і графіту, перлітних чавунів – із перліту і графіту. Феритні чавуни мають найнижчу міцність і найвищу пластичність і, навпаки, перлітні чавуни – найвищу міцність і найнижчу пластичність.

4.2. Порядок виконання роботи

4.2.1. Вивчити діаграму стану залізо-цементит, фази, структурні складові сплавів системи Fe - Fe_3C, їхні характеристики.

4.2.2. Вивчити класифікацію і маркування сталей і чавунів.

4.2.3. Провести дослідження мікроструктури вуглецевих сталей і технічного заліза за допомогою металографічного мікроскопа з використанням альбомів мікроструктур стендів. Визначити орієнтовно вміст вуглецю в досліджуваних зразках за формулою:

Національний університет водного господарства та природокористування

$$\%C = (F_{ф} \cdot 0{,}01 + F_{п} \cdot 0{,}8 + F_{ц} \cdot 6{,}67) / 100 \qquad (4.1)$$

За вмістом вуглецю визначити марку сталі та її призначення. Зарисувати схематично мікроструктури досліджуваних зразків. Отримані результати оформити у вигляді табл. 4.1.

4.2.4. Провести дослідження мікроструктури білих, сірих, високоміцних і ковких чавунів до і після травлення. Результати дослідження оформити у вигляді табл. 4.2.

Таблиця 4.1.

Результати дослідження мікроструктури вуглецевих сталей

Мікроструктура	Вміст структурних складових, %			Вміст вуглецю, %	Марка сталі
	Ф	П	Ц		

Таблиця 4.2.

Результати дослідження мікроструктури чавунів

Мікроструктура		Структурні складові					Форма графіту	Марка чавуну
до травлення	після травлення	Ф	П	Ц	Л	Г		

Національний університет водного господарства та природокористування

Контрольні запитання

1. Охарактеризуйте мікроаналіз металів 2. Що таке мікрошліф? 3. Охарактеризуйте фази, які утворюються в системі залізоцементит? 5. Як поділяють сталі за вмістом вуглецю? 6. Як класифікують сталі за якістю? 7. Як поділяють вуглецеві сталі за призначенням? 8. Як позначають сталі звичайної якості, якісні конструкційні сталі і інструментальні сталі? 9. Які є види чавунів? 10. Охарактеризуйте види чавунів? 15. Як маркують сірі, високоміцні та ковкі чавуни?

Лабораторна робота №5
ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ТЕРМІЧНОЇ ОБРОБКИ НА СТРУКТУРУ І ВЛАСТИВОСТІ ВУГЛЕЦЕВИХ СТАЛЕЙ

Мета роботи: Вивчити вплив основних видів термічної обробки на структуру і механічні властивості вуглецевої сталі.

Забезпечення роботи: печі муфельні; зразки вуглецевих сталей;

Національний університет водного господарства та природокористування

твердомір Роквелла; альбом структур, довідкові таблиці.

5.1. Теоретичні відомості

Термічна обробка (ТО) служить для зміни структури і властивостей сталі.

Відпалювання. Залежно від того, нагрівають сталь нижче чи вище температур фазових перетворень у твердому стані, розрізняють відпалювання першого роду (рекристалізаційне, для зняття залишкових напруг, дифузійне) і другого роду (повне чи неповне).

Рекристалізаційне відпалювання застосовують для зняття наклепу сталі після її холодної обробки тиском (прокатування, волочіння, штампування). Сталь нагрівають вище температури рекристалізації, витримують при цій температурі і потім охолоджують на повітрі.

Відпалювання для зняття внутрішніх напруг, призначене для зменшення або зняття у виробах шкідливих напруг розтягу, проводять при невисокій температурі. Воно виконується після різних технологічних операцій (зварювання, лиття тощо).

Дифузійне відпалювання застосовують виливків великих розмірів з легованих сталей для усунення в них дендритної ліквації. Сталь нагрівають до 1000…1150 ^{o}C, витримують 12…15 год і повільно охолоджують у печі.

Повне відпалювання служить для отримання дрібнозернистої структури в доевтектоїдній сталі. Температуру нагрівання вибирають за діаграмою стану *Fe - Fe_3C* вище точки Ac_3 на 30…50 ^{o}C (рис.5.1). При повільному охолодженні разом з піччю відбувається розпад аустеніту з утворенням дрібнозернистої структури перліту і фериту.

Неповне відпалювання застосовують для отримання дрібнозернистої структури в заевтектоїдній сталі. Сталь нагрівають до температури, на 30…50 ^{o}C вище точки Ac_1, а потім повільно охолоджують. При цьому відбувається перетворення аустеніту в перліт, а вторинний цементит залишається без зміни.

Для отримання структури зернистого цементиту заевтектоїдну сталь піддають *сфероутворюючому відпалюванню*. Сталь нагрівають трохи вище точки Ac_1, витримують і потім повільно охолоджують - спочатку до температури точки Ac_1, а потім на повітрі. У сталі, поряд з аустенітом, зберігається велике число часток, які не розчинилися, що сприяє утворенню зернистої форми цементиту.

Національний університет
водного господарства
та природокористування

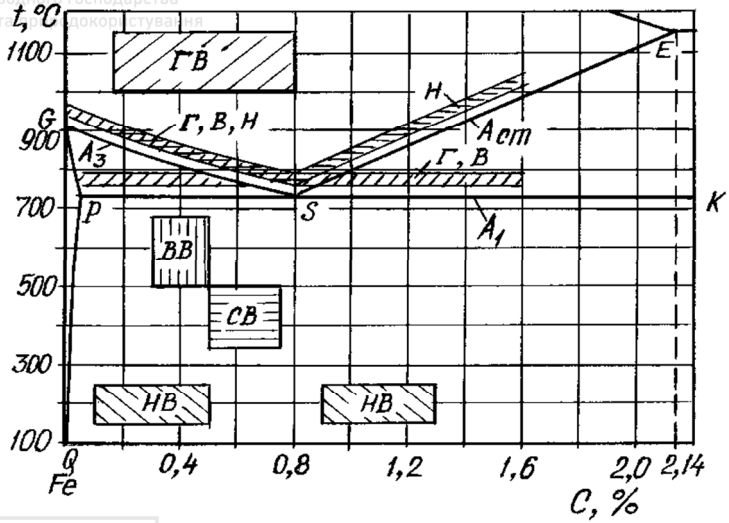


Рис.5.1. Температурні інтервали нагрівання сталі при різних видах термічної обробки: Г – гартування, В – відпалювання, Н – нормалізація, ВВ, СВ і НВ – високе, середнє і низьке відпускання, ГВ – гомогенізаційне відпалювання

Національний університет
водного господарства
та природокористування

Розглянуті види відпалювання проводять з безперервним охолодженням. При відпалюванні з витримкою при постійній температурі (*ізотермічне відпалювання*) сталь нагрівають, як і при звичайному відпалюванні (доевтектоїдну - вище точки Ac_3, заевтектоїдну - вище точки Ac_1 на 20…30 °С), потім швидко охолоджують до температури нижче точки Ac_1 на 20…100 °С і витримують при ній; при цьому відбувається перетворення аустеніта в перліт. Після цього сталь охолоджують на повітрі.

Нормалізація служить для отримання дрібнозернистої структури в доевтектоїдних сталях, зняття внутрішніх напруг і наклепу, отримання однорідної структури перед завершальною термічною обробкою, холодною обробкою тиском або обробкою різанням.

Для низьковуглецевих сталей нормалізація часто замінює повне відпалювання, для середньовуглецевих і легованих сталей - гартування з наступним відпусканням. Іноді нормалізація заміняє гартування і високе відпускання, проте для відповідальних деталей машин і конструкцій не застосовується. При нормалізації доевтектоїдну сталь нагрівають до температури вище точки Ac_3, а заевтектоїдну - вище точки Ac_1 на 30…50 °С, а потім охолоджують на повітрі.

Національний університет
водного господарства
та природокористування

Гартування служить для надання металу високої твердості і міцності шляхом утворення нерівноважної структури - мартенсита.

В залежності від товщини загартованого шару розрізняють об'ємне і поверхневе гартування. Об'ємне гартування провадиться в печах і ванних, а поверхнева - струмами високої, підвищеної і промислової частоти, газовим полум'ям і в електролітах.

Температуру нагрівання під гартування для вуглецевих сталей вибирають, використовуючи діаграму стану *Fe - Fe_3C*. Доевтектоїдну сталь нагрівають до температур вище точки Ac_3, а заевтектоїдну - вище A_{c1} на 30…50 °С. Витримку при нагріванні вибирають залежно від розмірів виробів й об’єму металу, який завантажено в піч. Після витримки вироби охолоджують у гартувальних середовищах, які забезпечують задану швидкість охолодження. Такими середовищами є вода, мінеральні оливи, розчин їдкого натрію, розплавлені солі, луги і метали, емульсії тощо. Основна вимога до них - висока охолоджувальна спроможність в інтервалі температур 650…550 °С і низька охолоджувальна спроможність при 300…200 °С (уповільнене охолодження при температурах 300…200 °С необхідне для зменшення внутрішніх термічних і структурних напруг).

Основними технологічними властивостями при гартуванні сталі є *загартовуваність* - здатність сталі до підвищення твердості при гартуванні і *прогартовуваність* - здатність гартуватися на певну глибину. За глибину гартування приймають віддаль від поверхні виробу до шару з напівмартенситною структурою (50% мартенситу і 50% трооститу).

При швидкому охолодженні у сталі з'являються тріщини і деформації. Іншими дефектами гартування є м'які плями, знижені твердість і міцність, зневуглецьовування, окислювання тощо. Уникнути цих дефектів або зменшити їх можна застосуванням різних видів гартування і правильним вибором їх режимів.

Відпускання служить для зняття внутрішніх напруг, які виникли в загартованій сталі, і одержання необхідних структур і механічних властивостей. Цей вид термообробки є найважливішою операцією, яка формує структуру і властивості сталі і визначає її подальшу експлуатацію. При відпусканні виконується нагрівання сталі нижче точки Ac_1 (рис. 5.1), витримка й охолодження. Розрізняють низьке, середнє і високе відпускання.

Низьке відпускання (температура нагрівання 150…250 °С) засто-

Національний університет
водного господарства
та природокористування

совують для вуглецевих і легованих інструментальних сталей, для яких необхідні високі твердість (*HRC* 59…63) і зносостійкість. Після низького відпускання сталь має структуру відпущеного мартенсита. *Середнє відпускання* (температура 350…500 °С) застосовують для пружинних і ресорних сталей. Сталь отримує структуру троостита відпускання, яка має достатньо високу твердість (*HRC* 44…54) при високій пружності. *Високе відпускання* характеризується температурою 500…680 °С і структурою сорбіта відпускання. Подвійна термічна обробка - гартування і високе відпускання -називається поліпшенням, тому що сталь після такої обробки отримує найбільш сприятливе поєднання механічних властивостей - високі в`язкість і пластичність поряд із достатньою міцністю.

Важливим чинником є час витримки - чим вища температура відпускання, тим час витримки менший, а ось швидкість охолодження великого значення не має.

5.2. Порядок виконання роботи

Вивчити і зарисувати структури сталі до термообробки (у стані поставки). Провести термообробку заданих марок сталей – відпалювання, нормалізацію, гартування і відпускання. Виміряти твердість кожного зразка після термообробки.

Таблиця 5.1

Протокол досліджень

№ з/п	Марка сталі	Вміст вуглецю	Вид ТО	Температура нагрівання	Середовище охолодження	Мікроструктура		Твердість	
						До ТО	після ТО	до ТО	після ТО

Контрольні запитання

1. Для чого служить термообробка сталей? 2. Охарактеризуйте види відпалювання. 3. Для чого служить нормалізація сталей? 4. Яка мета гартування сталей? 5. Як обирають температуру нагрівання при гартуванні? 6. Що таке загартовуваність і прогартовуваність сталей? 7. Які є гартувальні середовища? 8. Для чого застосовують низьке, середнє і високе відпускання?

Національний університет
водного господарства
та природокористування

Лабораторна робота №6
ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ТЕРМІЧНОЇ ОБРОБКИ НА СТРУКТУРУ І ВЛАСТИВОСТІ ЛЕГОВАНИХ СТАЛЕЙ

***Мета роботи*:** вивчити вплив легуючих елементів на перетворення в сталі, класифікацію та маркування легованих сталей, експериментально дослідити вплив легуючих елементів на властивості сталі після різних режимів термічної обробки.

Забезпечення роботи: муфельні печі, твердоміри ТК-2, місткості з охолоджу-вальними (вода, масло) рідинами, шліфувальний папір, зразки зі сталей марок 40 і 40Х (У9 і 9ХС, У10 і ШХ15)

6.1. Теоретичні відомості

Легованими називають сталі, в які для отримання тих чи інших властивостей введені легуючі елементи, а легуючими називаються елементи, які спеціально вводять в сталі в певних концентраціях з метою зміни її будови і властивостей. До основних легуючих елементів відносяться *Mn, Si, Ce, Ni, W, V, Mo, Al, Nb, Co, Ti, B*.

Легуючі елементи значною мірою впливають на фазові перетворення в сталі, на її структуру. Такі елементи, як *Ni, Mn, Cu, Co* знижують критичну точку A_3 і підвищують точку A_4. Друга група елементів (*Cr, Si, V, Mo, W, Al, Ti*) навпаки знижує критичну точку A_4, а точку A_3 підвищує. Багато легуючих елементів утворюють в сталях карбіди, які можна розділити на дві групи. Карбіди першої групи (Me_3C, $Me_{23}C_6$, Me_7C_3, Me_6C) мають складну кристалічну будову і порівняно низьку температуру плавлення (близько 1600°С). Карбіди першої групи утворюють такі елементи: *Fe, Mn, Cr, W, Mo*. Карбіди другої групи (MeC, Me_2C) мають просту кристалічну будову і високу температуру плавлення (2000…3000 °С). Карбіди другої групи утворюють такі сильні карбідоутворюючі елементи: *Mo, W, V, Ti, Zr*. Вони відносяться до фаз проникнення, важко розчиняються в аустеніті на відміну від карбідів першої групи, мають більш високу дисперсність. Легуючі елементи суттєво впливають на процеси які, відбуваються при термічній обробці сталі.

Вплив легуючих на кінетику розпаду аустеніту. Усі легуючі елементи (за винятком *Co*) сповільнюють розпад аустеніту, що виявляється в зсуванні вправо лінії на діаграмі ізотермічного розпаду аустеніту. Це призводить до зниження критичної швидкості гартування і збільшення прогартовуваності сталі. Найбільш сильно збільшують прогартовуваність *Cr, Ni, Mo, Mn*. Тому вони входять до

Національний університет водного господарства та природокористування

складу більшості конструкційних сталей. Своєрідно впливають на кінетику розпаду аустеніту карбідоутворюючі елементи: *V, W, Ti, Nb*. Оскільки ці елементи утворюють важкорозчинні карбіди, то при звичайних температурах гартування (800…900 °С) вони залишаються у вигляді дисперсних твердих фаз, які діють як готові центри кристалізації перліту, в результаті чого прогартовуваність сталі зменшується. При високій температурі нагріву під гартування ці карбіди вже розчиняються в аустеніті, що приводить до збільшення прогартовуваності.

Вплив легуючих елементів на мартенситне перетворення. Легуючі елементи впливають на положення температурного інтервалу мартенситного перетворення. Деякі елементи (*Al, Co*) підвищують температури початку (Мп) і кінця (Мк) мартенситного перетворення, що зменшує кількість залишкового аустеніту ($А_{зал}$), інші не впливають на неї (*Si*), але більшість знижують Мп і Мк, збільшуючи кількість А зал, знижуючи тим самим твердість і міцність загартованої сталі.

Вплив легуючих елементів на ріст зерна аустеніту. Усі легуючі елементи (за виключенням Mn і B) зменшують схільність аустенітного зерна до росту. При цьому елементи, які не утворюють карбіди (*Ni, Co, Si, Cu*) відносно слабко впливають на ріст зерна аустеніту, а карбідоутворюючі елементи (*Cr, Mo, W, V, Ti, Zr, Nb*) сильно подрібнюють зерно. Це пов'язано з тим, що карбіди, які не розчинені в аустеніті, заважають росту аустенітного зерна.

Вплив легуючих елементів на перетворення при відпусканні. Легуючі елементи уповільнюють процес розпаду мартенсита, при чому такі елементи, як *Ni, Mn* впливають не значно, а *Cr, Mo, Si* та ін.- дуже помітно. Це пов'язано з тим, що процеси при відпусканні мають дифузійний характер і більшість легуючих елементів уповільнюють карбідне перетворення, особливо на стадії *коагуляції.* Тому для отримання однакових результатів сталь, леговану *Cr, Mo, Si* потрібно нагрівати при відпусканні до вищої температури чи збільшувати тривалість відпусканні порівняно з вуглецевою сталлю.

6.1.1. Класифікація легованих сталей

В основу класифікації легованих сталей закладені чотири ознаки: рівноважна структура, структура після охолодження на повітрі (після нормалізації) хімічний склад і призначення сталей.

Національний університет водного господарства та природокористування

За рівноважною структурою леговані сталі поділяють на доевтектоїдні, евтектоїдні, заевтектоїдні, ледебуритні, феритні та аустенітні. Евтектоїдні сталі мають перлітну структуру, а доевтектоїдні та заевтектоїдні поряд з перлітом містять в собі відповідно надлишковий ферит або вторинні карбіди. У структурі ледебуритних сталей містяться первинні карбіди, які разом з аустенітом утворюють у литому стані евтектику – ледебурит. Структура феритних сталей складається тільки з фериту, що можливо при високому вмісті елементів, які розширюють α-область і звужують γ-область. Аустенітні сталі мають аустенітну структуру. До аустенітних відносять сталі з певним вмістом елементів, які навпаки розширюють γ–область і звужують α-область, в результаті чого не відбувається при охолодженні $\gamma \rightarrow \alpha$-перетворення.

За структурою після нормалізації леговані сталі поділяють на три основні класи: перлітні, мартенситні та аустенітні.

Перлітні сталі характеризуються відносно невисоким вмістом легуючих елементів (до 5…6 %); криві охолодження таких сталей на повітрі перетинають С–криві в області перлітного розпаду і тому в результаті розпаду аустеніту отримуються феритно–цементитні суміші різної ступіні дисперсності - перліт, сорбіт, тростит. *Мартенситні* сталі містять від 6 до 13 % легуючих елементів. При такому великому вмісті легуючих елементів С–криві зміщені вправо настільки, що при охолодженні на повітрі аустеніт переохолоджується до точки Мп і перетворюється в мартенсит. У складі *аустенітних* сталей вміст легуючих елементів перевищує 13 %. При такому великому вмісті легуючих елементів, в сталі крім підвищення стійкості переохолодженого аустеніту значно знижується точка Мп (< 0 $^{\circ}$С), внаслідок чого сталь, охолоджена на повітрі, зберігає аустенітний стан.

За хімічним складом леговані сталі поділяються:

- в залежності від легуючих елементів - на хромисті, хроменікелеві, хромонікель-молібденові тощо;

- в залежності від загального вмісту легуючих елементів – на низьколеговані (до 2,5 %), леговані (від 2,5 до 10 %) та високолеговані (> 10%);

- в залежності від якості – на якісні (до 0,04 % S і 0,035 % P), та високоякісні (до 0,025 % S і P) та особливовисокоякісні (до 0,015 % S і до 0,025 % P).

Національний університет
водного господарства
та природокористування

За призначенням леговані сталі підрозділяють на конструкційні (цементовані, поліпшені, високоміцні, ресорно–пружинні, кулькопідшипникові, зносостійкі), інструментальні (леговані, швидкорізальні, штампові) та з особливими властивостями (нержавіючі, жароміцні, з особливостями теплового розширення тощо).

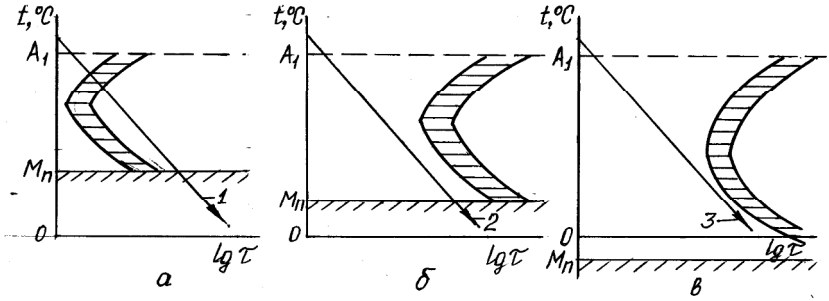


Рис. 6.1. Діаграма ізотермічного перетворення аустеніту для сталей перлітного (а), мартенситного (б) і аустенітного (в) класів

Національний університет
водного господарства
та природокористування

6.1.2. Маркування легованих сталей

Для позначення марок сталей прийнята буквенно–цифрова система, згідно з якою кожна марка сталі складається з певного поєднання букв і цифр, які показують приблизний склад сталі. Марка сталі звичайно починається з однієї, двох або трьох цифр, які показують вміст (середній чи граничний) вуглецю в сталі: одна цифра – в десятих, дві або три цифри – в сотих частках відсотка. Початкові цифри в марці відсутні, якщо інструментальна сталь містить один відсоток С або більше. Легуючі елементи позначаються такими буквами: А – азот, Б – ніобій, В – вольфрам, Г – марганець, Д – мідь, Е – селен, К - кобальт, Н - нікель, М - молібден, П-фосфор, Р-бор, С - кремній, Т - титан, Ф - ванадій, Х - хром, Ц - цирконій, Ч - рідкоземельні елементи, Ю - алюміній. Числа, які стоять за буквами вказують приблизний вміст відповідного легуючого елемента в цілих відсотках. Буква А вказує на наявність в сталі азоту, якщо вона стоїть всередині марки, якщо на початку – автоматна, в кінці високоякісна. Наприклад, сталь 20ХН3А –це конструкційна сталь, високоякісна (А) , містить 0,2 % С, ~1 % Cr, ~3 % N і сталь 15Х17АГ14 – це нержавіюча сталь, яка містить ≤ 0,15 % С, ~17 % Cr, <1 % N, 14 % Mn; сталь 4ХВ2С – це інструментальна сталь, яка містить ~0,4 % С, ~1

Національний університет водного господарства та природокористування

% Cr, ~2 % W, ~1 % Si; сталь Х6ВФ – це інструментальна сталь, яка містить ≥ 1 % C, ~ 6 % Cr, ~ 1 % W, < 1 % V.

Для деяких груп сталей прийняті додаткові позначення. Марки кулькопідшипникових сталей починаються з букви Ш, швидкорізальних – з букви Р, магнітно-твердих – з букви Е. Вміст вуглецю в цих марках не вказується. Наприклад, сталь ШХ15Cr – це шарикопідшипникова сталь, яка містить ~1,5 % Cr, ~1 % Si і ~1 % Mn, тобто число, яке стоїть за буквою Х показує середній вміст хрому в десятих частках відсотках; сталь Р6М5 – це швидкорізальна сталь, яка містить ~6 % W, 5 % Mo, тобто число, яке стоїть за буквою Р показує на вміст вольфраму в цілих відсотках.

6.2. Порядок виконання роботи

Дослідження впливу легких елементів на перетворення в сталі виконують порівняльним аналізом результатів, отриманих після термічної обробки вуглецевої і легованої сталі з однаковим вмістом вуглецю (40 і 40Х, У9 і 9ХС, У10 і ШХ15).

6.2.1 Визначити за діаграмою стану Fe – Fe_3C або за довідником літератури нагріву вибраних для дослідження марок сталей.

62.2. Визначити час нагрівання і витримки зразків у печі в залежності від їх розмірів та форми за таблицею 7.1.

6.2.3. Завантажити в муфельну піч, яка нагріта до необхідної температури, по чотири зразки вуглецевої і легованої сталей і витримати їх визначений час.

6.2.4. Охолодити по одному зразку кожної марки сталі в різних охолоджувальних середовищах: у воді, у маслі, на повітрі та в печі,

6.2.5. Виміряти за методом Роквелла твердість всіх зразків після охолодження. Попередньо плоскі поверхні зразків слід зачистити за допомогою шліфувального паперу або на заточному верстаті.

Усі параметри і результати експериментів оформити у вигляді табл. 6.1.

Таблиця6.1.

Основні параменти і результати термічної обробки сталей

Марка сталі	Температура нагрівання, ^{0}C	Охолоджувальне середовище	Середня швидкість охолодження, ^{0}C/c	Твердість після термообробки	Структурні складові після термообробки

Національний університет
водного господарства
та природокористування

Контрольні запитання

1. Які сталі називають легованими? 2. Які є основні легуючі елементи? 3. Як легуючі елементи впливають на розпад аустеніту? 4. Які легуючі елементи збільшують прогартовуваність? 5. Які легуючі елементи утворюють карбіди? 6. Як поділяють леговані сталі за рівноважною структурою? 7. Як поділяють леговані сталі за хімічним складом? 8. Як поділяють леговані сталі за призначенням? 9. Що означають букви і цифри в марці сталі? 10. Як маркують кулькопідшипникові сталі? 11. Як маркують швидкорізальні сталі?

Лабораторна робота №7
ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСІВ ХІМІКО-ТЕРМІЧНОЇ ОБРОБКИ СТАЛЕЙ

Мета роботи: Вивчити вплив хіміко-термічної обробки на структуру і механічні властивості вуглецевої сталі.

Забезпечення роботи: піч муфельна, контейнер, вугілля деревне, зразки низьковуглецевої сталі, твердомір Роквелла, альбом структур.

7.1. Теоретичні відомості

Хіміко-термічна обробка (ХТО) служить для зміни хімічного складу, структури і властивостей поверхневого шару сталі. Окрім поверхневого зміцнення, ХТО підвищує корозійну стійкість, жаростійкість і деякі інші властивості. Особливістю ХТО є те, що у сталі відбуваються не тільки фазові перетворення, пов’язані з її нагріванням і охолодженням, але і хімічні реакції, які змінюють склад поверхневого шару деталі.

При проведенні ХТО деталь поміщають у середовище, збагачене елементами, якими передбачається насичення поверхневого шару (вуглецем, азотом, хромом, алюмінієм, кремнієм) і нагрівають до певної температури. При цьому інтенсивно відбуваються такі процеси: *дисоціація* – розпад молекул на атоми відповідного елемента; *адсорбція* – поглинання поверхневим шаром металу атомів; *дифузія* – проникнення атомів у глибину металу. Умовою цього є висока температура нагрівання і великий час витримування при ній.

Одним з найпоширеніших видів ХТО є цементація, яку застосовують для вуглецевих і легованих сталей з малим вмістом вуглецю (до 0,3 %). При цьому поверхневий шар за рахунок насичення вуглецем підвищує твердість і стійкість до зношення, а серцевина за-

Національний університет водного господарства та природокористування

лишається в'язкою.

Є два види цементації – у твердому карбюризаторі та газова.

При цементації у твердому карбюризаторі цементуючим середовищем є багатий на вуглець карбюризатор – деревне вугілля, змішане у певній пропорції з речовинами, які активізують процес дисоціації ($BaCO_3$, Na_2CO_3). Деталі завантажують у металевий ящик і нагрівають. При цьому кисень повітря взаємодіє з вуглецем карбюризатора:

$$C+O_2 \leftrightarrow CO_2 \quad (7.1)$$

$$CO_2+C \leftrightarrow 2CO \quad (7.2)$$

$$2CO \leftrightarrow CO_2+C_{атомарний} \quad (7.3)$$

Перевагою цементації у твердому карбюризаторі є те, що не потрібно спеціальне устаткування – вона може відбуватися у звичайних термічних печах. Основні недоліки – довга тривалість і низька економічність процесу. Тому у промислових умовах широко застосовують газову цементацію, коли карбюризаторами є гази – природні (метан, оксид вуглецю, бутан тощо) і штучні (продукти термічного розкладу різноманітних нафтопродуктів). Цементацію здійснюють у камерах, через які пропускається з певною швидкістю газ. При нагріванні до 900…930 ^{0}C відбуваються такі реакції:

$$CH_4=2H_2+C_{атомарний} \quad (7.4)$$

$$2CO \leftrightarrow CO_2+C_{атомарний} \quad (7.5)$$

Після цементації для забезпечення потрібної твердості деталі піддають термічній обробці – гартуванню та низькому відпусканню.

7.2. Порядок виконання роботи

Вивчити і замалювати мікроструктуру сталі до термообробки. Провести термообробку заданих марок сталей – цементацію з подальшим гартуванням і відпусканням. Виміряти твердість кожного зразка після термообробки і хіміко-термічної обробки.

Таблиця 7.1

Протокол досліджень

№ з/п	Марка сталі	Вміст вуглецю	*Вид ТО*	Температура нагрівання	Середовище охолодження	Твердість	
						до ТО	після ТО

Національний університет
водного господарства
та природокористування

Контрольні запитання

1. Для чого служить хіміко-термічна обробка сталей? 2. Що таке дисоціація при ХТО? 3. Що таке адсорбція при ХТО? 4. Що таке дифузія при ХТО? 5. Які є основні види хіміко-термічної обробки сталей? 6. Що таке цементація? 7. Що таке азотування? 8. Що таке ціанувуння? 9. Що таке дифузійна металізація? 10. Як змінюється концентрація вуглецю по товщині у цементованому шарі? 11. Які є зони в цементованому шарі? 12. Яка технологія цементації у твердому карбюризаторі? 13. Яка технологія цементації у газовому карбюризаторі?

Лабораторна робота № 8
ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСІВ ЛИТТЯ У РАЗОВІ ПІЩАНО-ГЛИНЯНІ ФОРМИ

Мета роботи: Ознайомитися з особливостями технологічного процесу виготовлення виливок в разові піщано-глиняні форми.

Забезпечення роботи: модельно-опочний комплект, формувальна суміш, сухий пісок, інструмент для формування, алюмінієвий ливарний сплав, тигель, молоток, ножівка, лещата, слюсарний верстак, електропіч.

8.1. Теоретичні відомості

Ливарне виробництво - галузь машинобудування, яка займається виготовленням фасонних заготовок (деталей) заливанням розплавленого металу в форму, порожнина якої має конфігурацію заготовки (деталі). При охолодженні метал твердіє і в твердому стані зберігає конфігурацію тієї порожнини, в яку він був залитий. Кінцеву продукцію називають *виливком*. Литтям отримують різні констукції виливок масою від декількох грамів до 300 т, довжиною від декількох міліметрів до 20 м. Найпоширеніший спосіб лиття, схема якого наведена на рис.8.1 - у разові піщано-глиняні форми. Ним виготовляють більше 75...80% литва.

На рисунку 8.2. наведено ескіз деталі, для виготовлення якого потрібен виливок. Позначення на кресленнях Rz80 і Rz50 вказує на те, що ці поверхні обробляють на верстатах і виливок повинен мати припуск на механічну обробку, який тим більший, чим більші розміри деталі і чим вона складніша. Для виготовлення разових піщано-глиняних форм використовують модельно-опочний комплект, формувальні матеріали та інструменти.

Національний університет
водного господарства
та природокористування

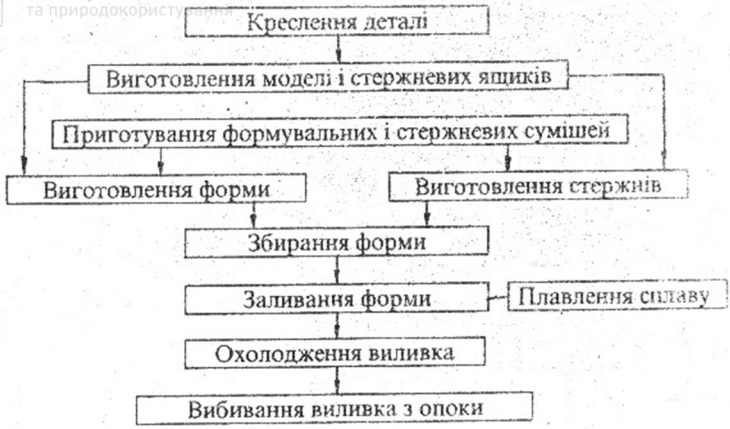


Рис. 8.1. Схема технологічного процесу виготовлення виливок у разових формах

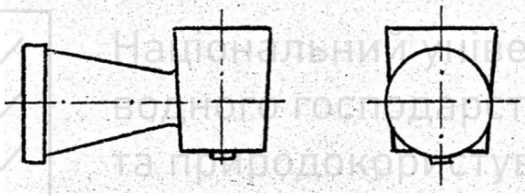


Рис.8.2. Креслення деталі

Модельно-опочний комплект складається з моделей виливка та елементів ливникової системи, стержневого ящика та підмодельної плити. *Модель* необхідна для утворення відбитка в формі - отримання порожнини, яка є оберненим зображенням виливка. Для зручності формування моделі найчастіше виготовляють рознімними. На кресленні моделі вказують верх (В) і низ (Н) форми відносно площини рознімання (рис.8.3). Для того щоб модель можна було вийняти з форми без її пошкодження, перпендикулярно площині рознімання моделі передбачені формувальні уклони (0,5...3°). Моделі можуть бути металеві, пластмасові і дерев'яні.

Для утворення отворів у виливку служать стержні, які виготовляють у стержневих ящиках. Для точного фіксування стержня в формі служать знаки, які передбачають на моделі і в стержневому ящику при їх виготовленні. Знаки моделі утворюють в порожнині форми відповідні заглиблення, в які встановлюють стержень.

Національний університет
водного господарства
та природокористування

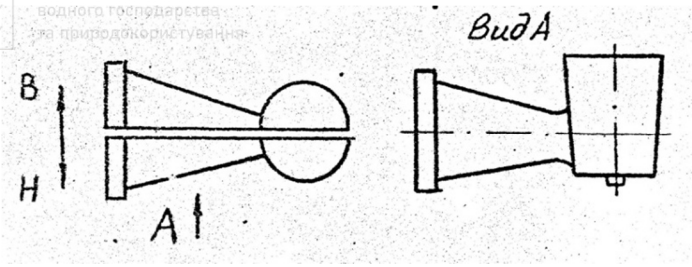


Рис.8.3. Креслення моделі

При охолодженні виливка відбувається його термічне стиснення - зменшення розмірів. Це явище має назву *лінійної усадки* - зменшення лінійних розмірів виливка при його охолодженні від температури розплавленого металу до температури навколишнього середовища. Лінійну усадку визначають співвідношенням, %:

$$\varepsilon_л=(l_ф-l_в)\ 100/l_в \qquad (8.1)$$

де: $l_ф$ **і** $l_в$ - розміри порожнини форми і виливка при температурі 20°С.

Величина лінійної усадки для різних сплавів має таке значення: сірий чавун - 1; вуглецева сталь - 2; високолегована сталь - 2,5; мідні сплави - 1,5; алюмінієві сплави - 0,9...1,2. Розміри моделі повинні перевищувати відповідні розміри виливка на величину усадки.

Розрізняють також *об'ємну усадку* - зменшення об'єму сплаву при його охолодженні в ливарній формі, % :

$$\varepsilon_v=(v_ф- v_в)\ 100/ v_в \qquad (8.2)$$

де: $v_ф$ і $v_в$ - об'єм порожнини форми і об'єм виливка при температурі 20°С.

Об'ємна усадка приблизно рівна потроєному значенню лінійної:

$$\varepsilon_v =3\varepsilon_л \qquad (8.3)$$

Опоки для ручного формування представляють собою ящики без дна. Для фіксації верхньої опоки відносно нижньої, що забезпечує отримання виливка без перекошення, служать центруючі буртики. Опоки перед заповненням формувальною сумішшю і заливанням сплавом встановлюють на металеву чи дерев'яну *підмодельну плиту*.

До *елементів ливникової системи* (системи каналів, через які метал підводиться у порожнину форми) відносяться: *ливникова чаша* - для приймання розплаву із ковша; *випір* - для виведення з

Національний університет водного господарства та природокористування

форми газів; *стояк* - для подачі розплаву в порожнину форми; *шлаковловлювач* - для відділення з розплаву шлаків, *живильник* - резервуар розплаву, з якого рідкий метал переміщується у виливок. Ливникова система повинна забезпечувати заповнення ливарної форми з потрібною швидкістю, затримання шлаку, вихід пари та газів з форми та безперервну подачу розплавленого металу до виливка, який твердіє. Заповнення повинно закінчуватися при температурі сплаву, яка на 10...15°С перевищує температуру початку кристалізації (точку ліквідус).

До формувальних матеріалів відносяться формувальні та стержневі суміші. Вони складаються з основи (природного кварцового піску) і зв'язуючого матеріалу, який покриває тонкою плівкою зерна основи. В результаті ущільнення суміші та її подальшого сушіння зв'язуючі склеюють зерна і надають формі і стержню міцності.

Найпоширеніша зв'язуюча у формувальних сумішах - глина (8…12 відсотків від маси суміші). Застосовуються також рідке скло та цемент. У стержневих сумішах зв'язуючими служать органічні речовини, найчастіше - синтетичні смоли. Вони твердіють під дією тепла при нагріванні стержнів безпосередньо в металевих ящиках. Смоли при введенні їх в суміш в кількості 2...3 відсотки надають стержням вищу міцність, ніж глина.

При ручному формуванні застосовують такі інструменти: *заступ* - для перемішування формувальної суміші; *решето* - для просіювання облицьовувальної суміші; *трамбовка* - для ущільнення суміші в опоці; *совок* - для насипання суміші в опоки; *ланцет* - для виправлення дефектів форми; *лінійка металева* - для видалення надлишків формувальної суміші після ущільнення її в опоці; *душник* - для утворення у формі вентиляційних каналів; *підйомник* - для видалення моделі з форми.

Ручне формування у дві опоки за рознімними моделями є найпоширенішим. На рис.8.4. показана послідовність виготовлення форми при отриманні виливка без стержня, яка включає в себе набивання верхньої опоки, видалення частин моделі, вста-новлення верхньої опоки на нижню, виготовлення ливникової чаші, видалення моделі стояка, додатка та випора.

Набивання нижньої опоки (рис. 3.8, а). На підмодельну плиту 1 кладеться нижня частина моделі 2 і нижня опока 3. В опоку через

Національний університет водного господарства та природокористування

решето просіюють облицьовувальну формувальну суміш на товщину шару 20…30 мм для отримання гладкої поверхні форми. Цю суміш ущільнюють руками навколо моделі. Інший об'єм опоки заповнюють сумішшю без просіювання. Трамбовкою суміш ущільнюють спочатку біля стінок опоки, а потім навколо моделі. Надлишок суміші зрізають лінійкою. Душником наколюють вентиляційні канали 5. Набиту опоку перевертають на 180° - площиною рознімання вверх.

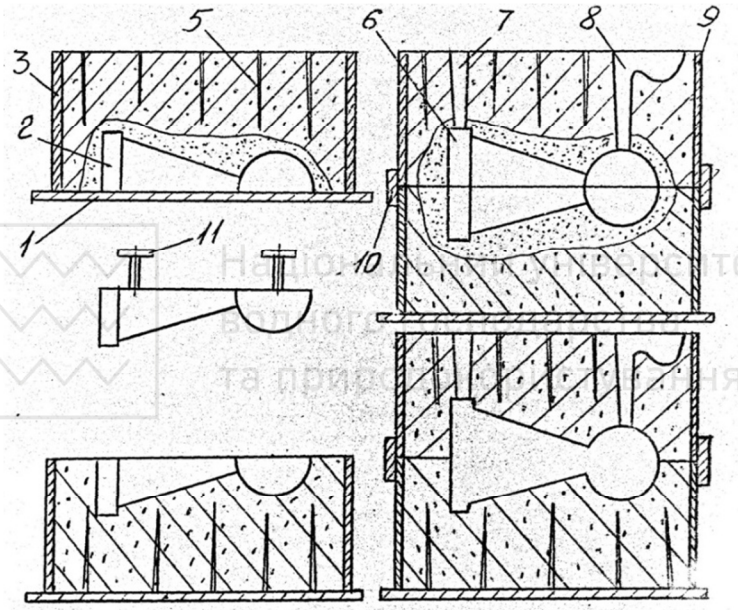


Рис.8.4. Схема процесу ручного формування: 1 - підмодельна плита; 2 - нижня частина моделі; 3 - нижня опока; 5 - вентиляційні канали; 6 - верхня частина моделі; 7 - модель випора; 8 - модель стояка; 9 - верхня опока; 10 - центрувальні буртики; 11 - підйомник

Набивання верхньої опоки (рис. 8.4, б). На нижню частину моделі 2 встановлюють її верхню частину 6, яку центрують за допомогою шипів. На один із кінців моделі встановлюється модель випора 7, а на другий - модель стояка 8. Для того, щоб ущільнена формувальна суміш верхньої опоки не прилипала до суміші нижньої опоки, поверхню рознімання нижньої посипають тонким шаром сухого (розділювального) піску. Верхню опоку 9 встановлюють по

Національний університет водного господарства та природокористування

центрувальних буртиках 10 на нижню 3. Потім наповнюють її сумішшю і ущільнюють - аналогічно як і нижню. Після видалення надлишків ущільненої суміші виготовляють навколо стояка ливникову чащу, а моделі випора і стояка видаляють (рис. 8.4, в).

Видалення моделей. Знімають верхню опоку, перевертають її на 180° (площиною рознімання вверх) і встановлюють на підмодельну плиту (рис. 8.4, в). З опок підйомниками 11видаляють частини моделі виливка 2 та 6, попередньо їх розхитавши. Якщо при видаленні моделей форма отримала незначні пошкодження, їх виправляють. При сильному пошкодженні набивають нову форму.

Складання форми (рис. 8.4, г). Верхню опоку накладають на нижню так, щоб спів-пало маркування, нанесене на бічні грані опоки, і відбулося центрування за допомогою буртиків на гранях. Опоки перед заливанням для запобігання витіканню розплаву через площину рознімання форми скріплюють скобами чи на верхню опоку накладають вантаж.

Для плавлення сплавів у ливарному виробництві, використовують різноманітні печі. Чавун плавлять у вагранках і електропечах, сталь - у дугових і індукційних електропечах, кольорові сплави - в тигельних електропечах і електропечах опору.

В даній лабораторній роботі для заливання форми використовують силумін. Готують розплав у тиглях в електропечі опору. Добре просушений тигель ставлять в піч і нагрівають. Під час нагрівання тигля готують шихту, яка складається із ливників, забракованих виливків і свіжого розплаву. Коли тигель нагріється, завантажують шихту, і температуру розплаву доводять до 700…730°С.

При плавленні на повітрі алюмінієвий сплав окислюється і одночасно насичується воднем за рахунок дисоційованої водяної пари повітря. Окисли алюмінію зменшують міцність сплаву, а водень в розплаві є причиною утворення газових пор у виливках. Тому алюмінієвий сплав перед заливанням форм рафінують (очищають від плівок окислів, інших неметалевих включень і водню) просушеним хлористим марганцем в кількості 0,1 відсотка (за масою) при температурі розплаву 700…730°С. Стальний дзвоник з хлористим марганцем опускають в розплав до дна тигля; потім дзвоником безперервно переміщують розплав до припинення виділення газоподібних продуктів реакції:

Національний університет
водного господарства
та природокористування

$$3MnCl_2 + 2Al = 3Mn + 2AlCl_3 \qquad (16)$$

Бульбашки хлористого алюмінію піднімаються на поверхню розплаву і втягують завислі в розплаві неметалеві включення Розчинений водень дифундує в середину бульбашок і виноситься в атмосферу.

Заливати форми можна безпосередньо з тигля чи за допомогою мірної ложки. Після заливання форм виливки твердіють і охолоджуються до температури навколишнього середовища, після чого їх вибивають (вручну чи на спеціальних машинах). Формувальну суміш повертають для повторного використання після добавлення до неї свіжих матеріалів. Ливникові системи відрізають від виливків, а поверхні - очищають від піску.

8.2. Порядок виконання роботи

1. Ознайомитися з модельно-опочною оснасткою, формувальним інструментом, складом і видами сумішей.
2. Заформувати нижню та верхню напівформи. Скласти форму.
3. Після просушування форми залити сплав.
4. Після охолодження форми вибити виливок, відділити стояк і випір, оглянути ви-ливок.
5. Скласти звіт по роботі, в якому коротко описати технологію виготовлення форми, навести ескізи деталі та моделі, схему ливарної форми із вказанням її елементів.

Контрольні запитання

1. Чим відрізняється деталь від виливка, а виливок від моделі? 2. Для чого потрібна модель? 3. Яке призначення стержневого ящика? 4. Що входить до складу модельно-опочного комплекту? 5. Що розуміють під лінійною усадкою сплаву? Назвіть величини лінійної усадки чавуна, сталі та алюмінієвих сплавів? 6. Як передбачають лінійну усадку сплаву при виготовленні моделей? 7. Для чого служить знак? 8. Для чого виконують уклони на моделях і в стержневих ящиках? 9. Що представляє собою опока? 10. Яке призначення буртиків в опоках? 11. З чого складається формувальна суміш і чим вона відрізняється від стержневої? 12. Назвіть і охарактеризуйте властивості формувальної і стержневої сумішей. 13. Що розуміють під об’ємною усадкою? 14. Яке призначення ливникової системи? 15. Для чого служить додаток і в якому місці виливка його встановлюють? 16. Назвіть основні елементи ливникової системи і їх призначення.

Національний університет
водного господарства
та природокористування

Лабораторна робота №9
ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСІВ ЛИТТЯ В КОКІЛЬ І ВІДЦЕНТРОВОГО ЛИТТЯ.

***Мета роботи**:* Вивчення технології отримання виливків литтям у кокілі та відцентровим литтям.

Забезпечення роботи: кокіль, фарба кокільна, кліщі, тигель, муфельна електрична піч, алюмінієвий ливарний сплав, відцентрова машина з металевого формою; пісок сухий; лоток для засипання піску.

9.1. Теоретичні відомості

9.1.1. Лиття в кокіль

Литтям у кокіль називають процес отримання виливків у металевих формах, в які розплав заливається під дією власної ваги. Цим методом можна виготовляти як прості виливки без внутрішніх порожнин, так і складні виливки з складними внутрішніми порожнинами, які можуть бути утворені металевими чи піщаними стержнями. Металеві стержні видаляють перед вийманням із кокіля виливка (коли на його поверхні утвориться достатньо міцна кірка, а всередині розплав ще може бути в твердо-рідкому стані). Це потрібно для того, щоб у виливку не утворювались тріщини внаслідок гальмування усадки стержнем. Для того, щоб легше було видаляти металевий стержень, його часто роблять складовим із декількох частин. Піщані стержні з органічними зв'язуючими практично не затрудняють усадку виливок, тому нема небезпеки, що в виливках виникнуть тріщини. Такі стержні застосовують для утворення складних порожнин і вибивають їх при очищенні охолоджених виливок.

Кокіль перед початком роботи підігрівають і його робочу поверхню покривають теплоізоляційною фарбою. Литво в кокіль затвердіває в 2…4 рази швидше, ніж у піщано-глиняній формі, тому що форма швидше акумулює теплоту перегрівання і теплоту кристалізації розплаву.

Тривалість твердіння виливка чи його окремих частин збільшують, підвищуючи температуру кокіля чи товщину шару фарби. Виливок вибивають з кокіля ще гарячим - при температурі (0,6…0,8) від точки солідуса. Далі він охолоджується на повітрі чи в спеціальній камері до оптимальної початкової температури

Національний університет водного господарства та природокористування

200…300°С. Як правило, температуру кокіля підтримують темпом роботи.

Отримання виливків у кокілі складається з підготовки кокіля до роботи і власне отримання виливок.

Підготовка кокіля. Оглядають кокіль. Очищають робочу поверхню (якщо вона ушкоджена) від фарби. Підігрівають кокіль газовим пальником до 150…200°С і на робочу поверхню наносять шар кокільної фарби товщиною 0,2…0,6 мм. Ливникові канали фарбують товстішим шаром, щоб уповільнити затвердіння розплаву. Для виготовлення виливок з алюмінієвих сплавів широко використовують фарбу такого складу (у відсотках по масі)*: окис цинку - 15, рідке скло - 3..4, вода - 81…82.* Кокільна фарба є тепловим опором між металом виливка та кокілем. Збільшуючи її товщину, збільшують тепловий опір і тим самим уповільнюють твердіння виливки (якщо це потрібно). Пофарбований кокіль підігрівають до 200...300°С, після чого форма вже готова до заливання металу.

Отримання виливка. Складають кокіль і скріплюють його частини. Заповнюють форму розплавом через ливникову систему. Після того, як виливок починає тверднути, видаляють стержні, а після повного охолодження - видаляють виливок.

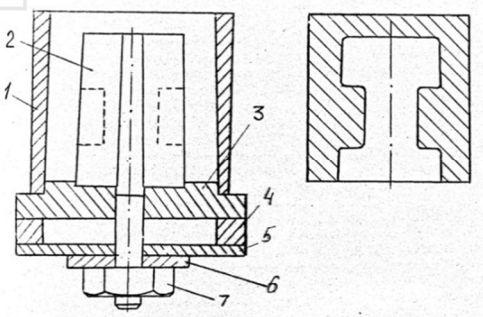


Рис. 9.1. Схема лабораторного кокіля:1- корпус; 2 - складений стержень; 3 - основа; 4 - кільце упорне; 5 - шайба упорна; 6 - шайба; 7 - гайка

Особливості і область застосування лиття в кокіль. Теплообмін між виливком і кокілем в 2…4 рази інтенсивніший, ніж при литті в піщано-глиняну форму, тому виливки є щільнішими і з дрібнозернистою структурою. Чавунні виливки мають відбілений зовнішній шар і їх потрібно відпалювати. А ось стальні виливки отримати у

Національний університет водного господарства та природокористування

кокілях важко, тому що з підвищенням інтенсивності теплообміну збільшується вірогідність утворення тріщин у металі, а також внаслідок низької стійкості (200…300 заливань) кокіля.

Лиття у кокіль має такі переваги: багаторазове використання форми; низька собівартість виливків; висока продуктивність праці; дрібнозерниста та щільна структура; високі механічні властивості виливок; точність розмірів; малі припуски на подальшу механічну обробку.

Кокіль застосовують тоді, коли витрати виробництва на виготовлення готової деталі з врахуванням вартості кокіля, зниження витрат металу в стружку і зниження витрат на обробку менша, ніж при литті в піщано-глиняні форми. Крім того, кокіль використовують тоді, коли тільки в ньому можна отримати виливки, які відповідають заданим технічним вимогам (наприклад, чавунні валки для прокатних станів з твердим поверхневим відбіленим шаром).

9.1.2. Відцентрове лиття

Відцентровим литтям називають метод отримання виливків, при якому рідкий метал заливається у форму (виливницю), яка обертається. Розплав втягується в обертовий рух під дією тангенціальних сил тертя, які виникають між розплавом і поверхнею форми, і твердіє у полі відцентрових сил. Відцентровим литтям виготовляють виливки типу тіл обертання масою від сотень грамів до 45 т і з товщиною стінки від декількох міліметрів до 350 мм. Цей метод дозволяє отримувати полі виливки без застосування стержнів. Відсутність ливникової системи та додатків збільшує вихід придатного литва до 90…95 відсотків.

За класифікацією Л.С.Константинова можливі три схеми відцентрового лиття - з горизонтальною (рис.9.2, а), вертикальною (рис.9.2, б) чи нахиленою (рис.9.3, в) осями обертання.

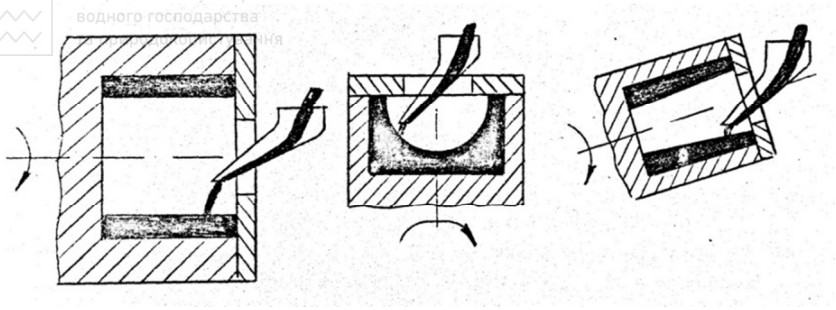
На будь-яку частинку розплаву, який обертається, діє дві сили: тяжіння (гравітаційна) та відцентрова.

Найменше допустиме число обертів n, при якому вільна поверхня по першій схемі лиття утворює циліндр з гладкою поверхнею і немає падіння капель розплаву, визначають з умови, що відцентрова сила повинна перевищувати силу тяжіння:

$$n=k\pi/30\cdot\sqrt{(g/r)} \qquad (9.1)$$

де k - коефіцієнт надійності (k=1,5…2); r0 - внутрішній радіус виливки.

Національний університет
водного господарства
та природокористування



а) *б)* *в)*

Рис. 9.2. Схеми відцентрового лиття

Величина відношення відцентрової сили $m\omega^2 r$ до сили земного тяжіння mg має назву гравітаційного коефіцієнта K, який показує в скільки разі в відцентрова сила більша сили тяжіння (переважно К=30...50).

Розрахунок числа обертів горизонтальної циліндричної виливниці виконують за формулою Л.С.Константинова:

$$n = \frac{5520}{\sqrt{\rho\, ro}} \qquad (9.2)$$

де ρ - щільність розплаву; r_o - радіус вільної поверхні виливка.

Отримання виливки відцентровим способом складається із підготовки виливниці і установки та власне отримання виливки.

Підготовка виливниці і установки. Лабораторна установка для відцентрового лиття з горизонтальною віссю складається з електродвигуна 1 (рис. 9.3), до вала якого за допомогою муфти 2 закріплена виливниця 3. Для запобігання витіканню з форми рідкого металу вона частково закривається кришкою 4, через отвір у якій по жолобу 5 і подається рідкий метал. Виливниця у площині обертання захищена кожухом 6. Електродвигун і кожух закріплені на зварній рамі 7.

Перед заливанням металу потрібно оглянути установку, перевірити надійність усіх з'єднань і вставити захисний кожух.

Отримання виливка. Мірною ложкою набирають рафінований розплав із тигля і через жолоб заливають у виливницю, яка обертається. Через 1…2 хв після заливання двигун установки зупиняється, знімається жолоб і кришка виливниці. Кліщами видаляється виливок. Далі цикл повторюється.

Національний університет
водного господарства
та природокористування

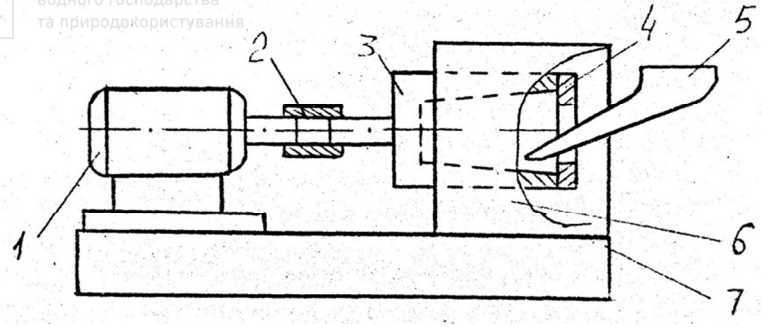


Рис. 9.3. Схема установки для відцентрового лиття: 1 - електродвигун; 2 - муфта; 3 - виливниця; 4 - кришка; 5 - жолоб; 6 - кожух; 7 - рама

Для вирівнення впливу теплової ізоляції на якість поверхні виливка після декількох заливань у виливницю засипають сухий пісок, який служить термічним опором. У форму, яка обертається, на всю її довжину вводять лоток з піском; повертанням лотка на 90° висипають пісок і він під дією відцентрових сил рівномірно розподіляється по робочій поверхні.

Особливості і область застосування відцентрового лиття. Розплав, який розподілився під дією відцентрових сил у вигляді полого циліндра, охолоджується з двох боків; з зовнішньої - 93…95% тепла віддає виливниці і з вільної поверхні - 3…5% тепла випромінює у повітря. У середніх шарах метал залишається найгарячішим і, значить, має меншу щільність. Частинки розплаву, які охололи на вільній поверхні, як щільніші (а значить - важчі), направляються під дією відцентрових сил у радіальному напрямку до стінок виливниці і переміщуються у більш гарячому і легкому розплаві, який витісняється на вільну поверхню.

Таким чином, при кристалізації розплаву в формі, яка обертається, у радіальному напрямку безперервно проходить конвенція. Вільна поверхня збагачується гарячим розплавом, що запобігає затвердінню його на цій поверхні. Тому саме вона до останнього моменту затвердіння залишається рідкого і живить виливок. Частинки, які стали важчими у полі відцентрових сил у десятки разів, переміщуються до фронту кристалізації і живлять міжкристалічні пустоти, які утворюються при твердінні. Тому виливки дуже щільні, а неметалеві та газові включення, легші від частинок металу, виносяться на внутрішню вільну поверхню.

Національний університет водного господарства та природокористування

Проте іноді відцентрові сили можуть мати й шкідливу дію. Наприклад, при кристалізації заевтектичного силуміну (який містить більше 12% кремнію) спочатку виділяються кристали чистого кремнію, який легший алюмінію, і вони відцентровою силою відтісняються до вільної поверхні виливки. Тому на ній утворюється тверда кірка, збагачена кремнієм, а в середніх шарах - усадочні порожнини.

Вартість циліндричних виливок при відцентровому литті на 20…30 відсотків нижча, продуктивність праці вища, а умови роботи кращі, ніж при литті в піщано-глиняні форми. Відцентровим способом отримують майже 90 відсотків чавунних труб, великі заготовки з легованих сталей для прокатування труб, втулки з антифрикційних сплавів, гільзи автомобільних і тракторних двигунів з легованого чавуна.

9.2. Порядок виконання роботи

9.2.1. Лиття в кокіль

1. Ознайомитися з будовою кокіля.
2. Підігріти форму до температури 150…200°С і покрити її робочу поверхню теплоізоляційною фарбою.
3. Розплавити заданий сплав і залити його у форму.
4. Після кристалізації та часткового охолодження виливки видалити стержень. Після повного охолодження розкрити форму та вийняти виливок.
5. Оглянути виливок, оцінити якість поверхні і зробити висновки.

9.2.2. Відцентрове лиття

1. Ознайомитися з будовою і роботою лабораторної установки.
2. У відповідності з робочим кресленням деталі визначити оптимальну частоту обертання виливниці.
3. Підігріти форму до температури 100…150°С і покрити її робочу поверхню теплоізоляційною фарбою.
4. Включити двигун установки і після набору формою заданої частоти обертання залити розплавлений метал у виливницю.
5. Після часткового охолодження виливки зупинити двигун і видалити з виливниці виливок. Оцінити якість поверхні і зробити висновки.

Контрольні запитання

1.У чому сутність лиття у кокіль? 2. Яку ливарну форму називають кокілем? 3. Для чого покривають робочу поверхню кокіля теп-

Національний університет водного господарства та природокористування

лоізоляційною фарбою? 4. Яка послідовність операцій отримання виливок у кокіль? 5. Як утворюються порожнини і отвори у виливках при литті у кокіль? 6. Які найсуттєвіші особливості лиття у кокіль? 7. Назвіть раціональні області застосування кокільного лиття? 8. У чому заключається підготовка кокіля до заливання? 9. Як впливає температура кокіля на якість виливка? 10. Назвіть недоліки та переваги кокільного лиття. 11. Від чого залежить довговічність кокіля? 12. Що таке відцентрове лиття? 13. Як впливають відцентрові сили на формування виливка? 14. Від чого залежить вибір розміщення осі обертання виливниці? 15. Як вибирається частота обертання виливниці? 16. Назвіть переваги та недоліки відцентрового лиття? 17. Яка послідовність операцій отримання виливок відцентровим способом. 18. Які особливості відцентрового лиття та раціональні області застосування способу?

10. Список рекомендованої літератури

1. Попович В.В. Технологія конструкційних матеріалів і матеріалознавство: Підручник. / Попович В.В., Попович В.В. – Львів: Світ, 2006. – 624 с.
2. Пахаренко В.Л.. Матеріалознавство та технологія конструкційних матеріалів (металургія, ливарне виробництво): Навчальний посібник. / Пахаренко В.Л., Марчук М.М. – Рівне: НУВГП, 2009. – 179 с.
3. Попович Василь. Технологія конструкційних матеріалів і матеріалознавство: Навчальний посібник для вищих навчальних закладів: У 2-х кн. Книга П. / Попович Василь, Голубець Володимир – Суми: ВТД «Унівеситетська книга», 2002. – 260 с.