

621.79  
Інж. В. Л. ЦЕГЕЛЬСЬКИЙ і інж. В. А. ЖДАНОВ

4-29

119243

ЕЛЕКТРОЗВАРЮВАЛЬНА  
СПРАВА

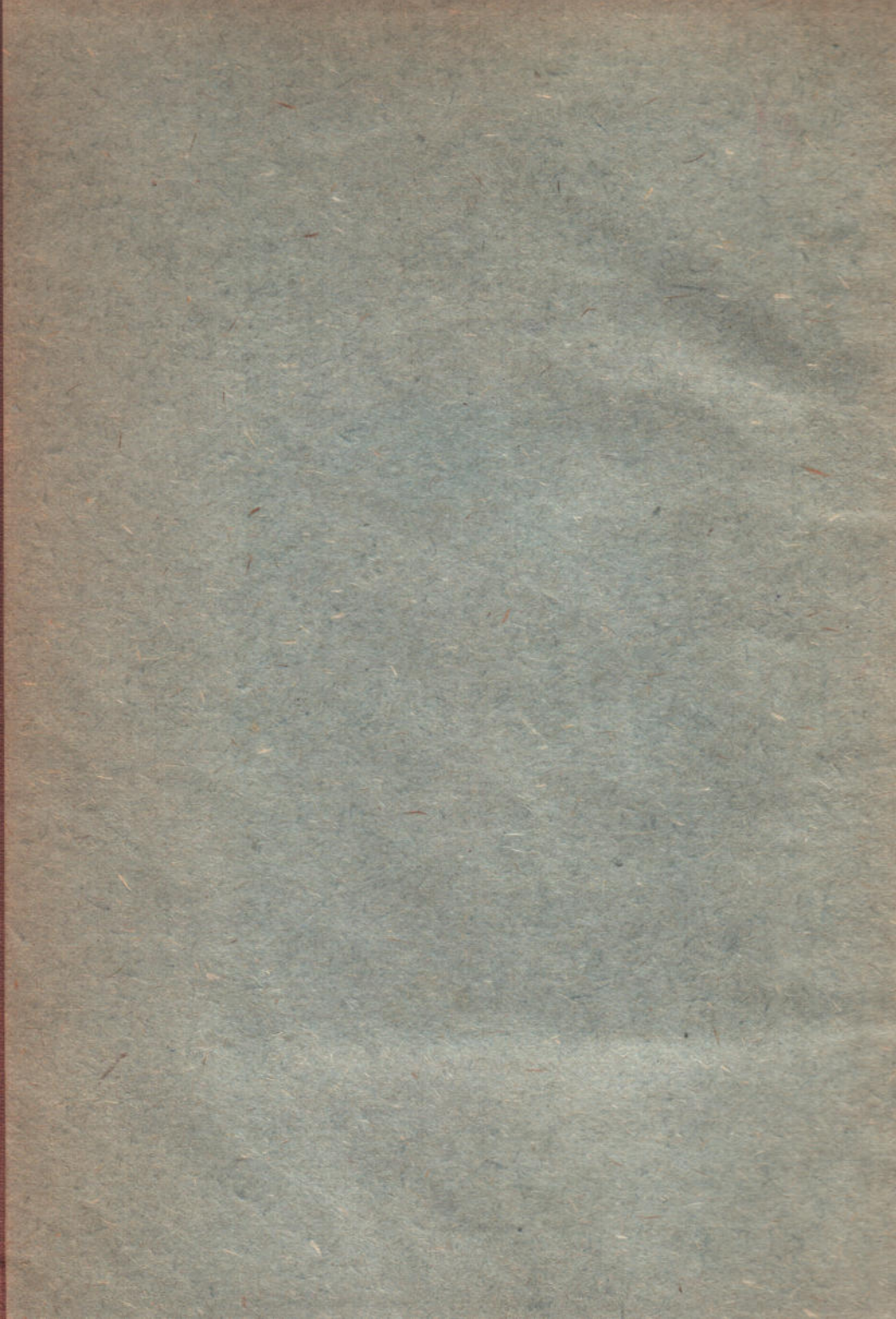
НКВМ УкрМАШВИДАВ СРСР

2747

44



29





Инж. В. Л. ЦЕГЕЛЬСЬКИЙ і інж. В. А. ЖДАНОВ

621.79  
Ц-29

П

У

# ЕЛЕКТРОЗВАРЮВАЛЬНА СПРАВА

*Затверджено ГУУЗ НКВП як підручник  
з дугового електрозварювання для  
курсів майстрів соціалістичної праці*

ПЕРЕКЛАД З ДРУГОГО ВИПРАВЛЕНОГО  
І ДОПОВНЕНОГО РОСІЙСЬКОГО ВИДАННЯ

19243

проверено  
190 г.

Ціна 6 крб. 50 коп.  
Оправа 1 крб. 60 коп.

80  
2747



НКВМ  
Харків

✓

ДЕРЖАВНЕ

НАУКОВО-ТЕХНІЧНЕ ВИДАВНИЦТВО  
МАШИНОБУДІВЕЛЬНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

СРСР  
1939

Бібліографічний опис цього видання вміщений в „Літописі Українського друку“, „Картковому репертуарі“ і інших покажчиках Української книжкової палати

3—2

*Рецензенти ГУУЗ НКВП проф. К. К. ХРЕНОВ  
і інж. В. І. ЯРХО*

У підручнику наведені основні дані по зварюванню металічними електродами і технології цього зварювання, дано опис машин, приклади виконання окремих типів конструкції, правила безпеки, відомості про підвищення продуктивності праці і ін. відповідно до програми підручника з електрозварювання для майстрів соціалістичної праці.

Підручник затверджено ГУУЗ НКВП СРСР.

Відповідальний редактор *М. А. Ігнатович*  
Перекладач—літредактор *Х. В. Гладкова*  
Техредактор *Л. Л. Маргуліс*  
Коректор *О. П. Ванічкіна*

4-та друкарня „Трансжелдориздат“. Харків, Гончарівський бульвар № 6/2.  
Уповноваж. Головліту № К—6566. Зам. № 4442—39 р. Тираж 4000. 17<sup>2</sup>/<sub>4</sub> друк.  
арк. Уч. авт. 21,3 арк. В друк. арк. 48.000 літер. Папір 70×108. 1/100.  
Здано на виробництво 17/II 1939 р. Підписано до друку 14/VI 1939 р.



## ЗМІСТ

	Стор.
Передмова . . . . .	6
Розділ I. Вступ	
§ 1. Причини широкого розвитку електрозварювання в СРСР . . . . .	7
§ 2. Короткі відомості з історії розвитку дугового зварювання і галузі його застосування в СРСР . . . . .	8
§ 3. Методи зварювання . . . . .	9
§ 4. Стахановський рух в зварювальній справі і його вплив на підвищення продуктивності і зниження вартості зварювальних робіт . . . . .	11
Розділ II. Вольтова дуга	
§ 5. Фізичні і електричні властивості . . . . .	13
§ 6. Зварювальні властивості вольтової дуги . . . . .	17
Розділ III. Машини і апарати для дугового зварювання	
§ 7. Вимоги, які ставляться до зварювальних машин . . . . .	18
§ 8. Схеми однопостових зварювальних генераторів постійного струму . . . . .	21
§ 9. Однопостові генератори постійного струму заводу „Електрик“ . . . . .	28
§ 10. Многопостові зварювальні машини заводу „Електрик“ . . . . .	36
§ 11. Зварювальні машини постійного струму закордонних фірм . . . . .	38
§ 12. Правила догляду і обслуговування зварювальних машин постійного струму . . . . .	41
§ 13. Вимоги, які ставляться до зварювальних трансформаторів . . . . .	43
§ 14. Системи зварювальних трансформаторів однофазного струму . . . . .	45
§ 15. Однопостові зварювальні апарати змінного струму . . . . .	47
§ 16. Многопостові трансформатори . . . . .	53
§ 17. Апарати для стабілізації дуги змінного струму . . . . .	54
§ 18. Апарати для атомно-водневого зварювання . . . . .	57
§ 19. Вибір типу електрозварювального агрегата . . . . .	61
§ 20. Несправності зварювальних машин і їх усунення . . . . .	63
Розділ IV. Технологія дугового зварювання маловуглецевої сталі	
§ 21. Металургічні процеси при зварюванні . . . . .	66
§ 22. Структура металу і металографія зварного шва . . . . .	68
§ 23. Зварювання на постійному і змінному струмі . . . . .	71
§ 24. Протоплення і добір сили струму. Стахановські режими зварювання . . . . .	72
§ 25. Термічні і усадочні напруги при зварюванні . . . . .	75
§ 26. Властивості зварних швів . . . . .	79
Розділ V. Дугове електрозварювання конструкцій	
§ 27. Типи зварних конструкцій . . . . .	82
§ 28. Зварні котли і апарати, які працюють під тиском . . . . .	84
§ 29. Резервуари і листові конструкції, які працюють без тиску . . . . .	86
§ 30. Гратчасті конструкції . . . . .	92
§ 31. Листові конструкції будівельного типу . . . . .	94
§ 32. Машинобудівельні конструкції . . . . .	97



## Розділ VI. Основи розрахунку зварних швів і сполучень

§ 33. Види зусиль . . . . .	99
§ 34. Напруга і тимчасовий опір . . . . .	100
§ 35. Допустимі напруги . . . . .	101
§ 36. Розрахунок стикових швів і сполучень . . . . .	103
§ 37. Розрахунок кутових швів . . . . .	105
§ 38. Розрахунок флангових швів . . . . .	106
§ 39. Розрахунок лобових і комбінованих швів . . . . .	109
§ 40. Розрахунок Т-подібних сполучень . . . . .	110
§ 41. Розрахунок пробкових сполучень (електрозаклепок) і прорізів . . . . .	110
§ 42. Розрахунок стикових сполучень з накладками . . . . .	112

## Розділ VII. Електроди

§ 43. Класифікація електродів . . . . .	113
§ 44. Голі електроди . . . . .	114
§ 45. Стабілізуючі електроди . . . . .	116
§ 46. Захисні електроди . . . . .	117
§ 47. Електроди для автоматичного зварювання . . . . .	123
§ 48. Вугільні електроди . . . . .	125

## Розділ VIII. Автоматичне дугове зварювання

§ 49. Переваги і хибі автоматів . . . . .	125
§ 50. Системи автоматів для зварювання металічним електродом . . . . .	126
§ 51. Автомати для вугільної дуги . . . . .	137
§ 52. Напівавтомати . . . . .	139
§ 53. Технологія і техніка автоматичного зварювання . . . . .	140

## Розділ IX. Дугове різання, Зварювання і різання під водою

§ 54. Дугове різання . . . . .	143
§ 55. Дугове зварювання і різання під водою . . . . .	144

## Розділ X. Зварювання в ремонтній справі

§ 56. Натоплення . . . . .	146
§ 57. Ремонтне зварювання сталених виробів . . . . .	149
§ 58. Зварювання чавуну . . . . .	152
§ 59. Зварювання ковкого чавуну . . . . .	160

## Розділ XI. Зварювання кольорових металів, спеціальних сталей і твердих стопів

§ 60. Загальні відомості про зварювання кольорових металів . . . . .	161
§ 61. Зварювання міді та її стопів . . . . .	162
§ 62. Зварювання алюмінію . . . . .	162
§ 63. Зварювання спеціальних сталей . . . . .	163
§ 64. Зварювання швидкорізальної сталі . . . . .	165
§ 65. Зварювання твердих і надтвердих стопів . . . . .	165

## Розділ XII. Контроль якості зварювання

§ 66. Дефекти зварювання . . . . .	168
§ 67. Способи контролю швів . . . . .	169
§ 68. Зовнішній огляд . . . . .	170
§ 69. Випробування швів на щільність . . . . .	171
§ 70. Випробування механічної міцності . . . . .	172
§ 71. Визначення внутрішніх дефектів шва . . . . .	176
§ 72. Контроль процесу складання і зварювання . . . . .	179

## Розділ XIII. Зварювальні цехи

§ 73. Типи зварювальних цехів . . . . .	180
§ 74. Розміщення зварювального устаткування . . . . .	182
§ 75. Комутація зварювального струму . . . . .	185



§ 76. Розрахунок проводів . . . . .	188
§ 77. Монтаж зварювальних машин . . . . .	191
§ 78. Робочі місця зварювальних цехів . . . . .	192
§ 79. Контрольно-випробувальні і допоміжні установки . . . . .	195
§ 80. Санітарно-гігієнічні вимоги, які ставляться до зварювальних цехів . . . . .	196
§ 81. Підймально-транспортне і інше устаткування зварювальних цехів . . . . .	198

## Розділ XIV. Організація виробництва і технормування

§ 82. Рентабельність, собівартість і калькуляція . . . . .	198
§ 83. Елементи планування виробництва . . . . .	201
§ 84. Технічне нормування зварювальних робіт . . . . .	202
§ 85. Організація робочого місця . . . . .	205

## Розділ XV. Техніка безпеки при роботах по дуговому електрозварюванню

§ 86. Запобіжні заходи проти ураження електричним струмом . . . . .	206
§ 87. Запобіжні заходи проти ураження промінням вольтової дуги . . . . .	208
§ 88. Запобіжні заходи проти опіків . . . . .	209
§ 89. Інші заходи з техніки безпеки . . . . .	210

## Розділ XVI. Контактне зварювання

§ 90. Фізичні основи контактного зварювання . . . . .	210
§ 91. Будова трансформатора для контактного зварювання . . . . .	212
§ 92. Режим роботи машин для контактного зварювання . . . . .	214
§ 93. Машини для контактного електричного зварювання . . . . .	215
§ 94. Машини для стикового зварювання . . . . .	218
§ 95. Типи стикових машин . . . . .	220
§ 96. Типи точкових машин . . . . .	222
§ 97. Типи шовних машин . . . . .	228
§ 98. Переривачі . . . . .	231
§ 99. Технологічний процес стикового зварювання методом опору . . . . .	236
§ 100. Технологічний процес стикового зварювання методом обтоплення . . . . .	239
§ 101. Технологія точкового зварювання . . . . .	243
§ 102. Технологія шовного зварювання . . . . .	261

## Розділ XVII. Газове зварювання і різання металів

§ 103. Основи процесу газового зварювання . . . . .	253
§ 104. Основи процесу газового різання . . . . .	257
§ 105. Ацетиленові генератори . . . . .	258
§ 106. Зварювальні горілки . . . . .	263
§ 107. Газові різакі . . . . .	266
§ 108. Газорізальні машини . . . . .	269
§ 109. Редуктори . . . . .	273
§ 110. Технологія газового зварювання . . . . .	275
§ 111. Газове зварювання різних металів . . . . .	276
§ 112. Технологія газового різання . . . . .	281
§ 113. Техніка безпеки при газозварювальних роботах . . . . .	281

Список літератури . . . . .	283
-----------------------------	-----



## ПЕРЕДМОВА ДО ПЕРШОГО ВИДАННЯ

Курси майстрів соціалістичної праці, викликані до життя потужною хвилею стахановського руху, є новим видом технічного навчання робітників-стахановців, підвищуючи рівень їх теоретичних знань до рівня техніків. Складання підручника із спеціальної дисципліни для цих курсів—досить складне завдання, бо такий підручник повинен сполучати в собі простоту і ясність викладу, розраховану на робітників-практиків, і водночас зберігати науковість, не допускаючи вульгаризації і спрощенства.

Добір матеріалу цього підручника дається, виходячи з того положення, що робітники, які пройшли курси майстрів соціалістичної праці по електрозварюванню, повинні добре знати не тільки технологію, але і організацію виробництва, будову цехів, бути обізнаними з питаннями собівартості, калькуляції і ін., а також знати основи розрахунку зварних швів.

Згідно з програмою ГУУЗ до цього курсу повинні входити також розділи контактного і газового зварювання в обсязі, що забезпечує достатнє обізнання з ними, щоб знати їх раціональне і технічно грамотне застосування.

В якій мірі вдалося авторам розв'язати поставлену перед ними задачу, покаже практика використання цього підручника на курсах, а також ті відзиви і зауваження, які автори сподіваються одержати в першу чергу від численних слухачів курсів майстрів соціалістичної праці, що користуються цією книгою, викладачів і взагалі всіх тих осіб, які так або інакше матимуть справу з цією книгою.

Область застосування дугового електрозварювання така обширна і охоплює стільки різних галузей промисловості, що в одному підручнику немає можливості задовольнити потреби електрозварювальників всіх цих галузей промисловості. Тому автори вважають, що по окремих галузях промисловості їх матеріал на курсах доповнюватимуть викладачі, спеціалісти цих галузей.

Розд. XVI про контактне зварювання написав для цього підручника інж. Скаун Г. Ф.

*Автори*

## ПЕРЕДМОВА ДО ДРУГОГО ВИДАННЯ

В цьому виданні матеріал книги доповнений новітніми даними в галузі електрозварювальної справи, перероблені і доповнені розділи IV, VII і VIII і виправлений ряд друкарських помилок і неточностей, припущених в першому виданні. Крім цього, враховані всі відомі авторам зауваження і відзиви про перше видання і внесені відповідні виправлення.

*Автори*

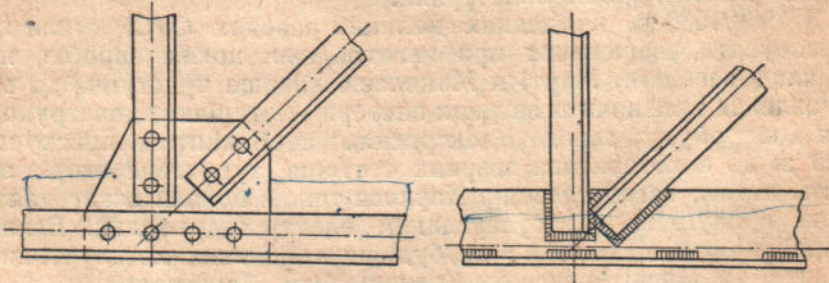


### § 1. Причини широкого розвитку електрозварювання в СРСР

За останні 8—10 років електрозварювання стали широко застосовувати в усіх галузях промисловості. Причини значного розвитку електрозварювання в нашому Союзі такі:

1. Економія металу. При заміні клепаання електрозварюванням зменшується кількість всяких сполучних елементів (косинців, косинок і т. д.), потрібних при клепаанні і майже або зовсім непотрібних при зварюванні.

На фіг. 1 показані вузли клепаної і зварної ферм. З цього простого прикладу видно, наскільки зварна конструкція про-



Фіг. 1. Вузли клепаної і зварної ферм

стіша від клепаної. Виконання зварних конструкцій дає полегшення у вазі порівняно з клепанями, що доходить в середньому до 20%. При заміні зварюванням литих чавунних конструкцій, наприклад різних машинних частин, станин електричних генераторів і ін., маємо ще більшу економію в вазі, яка сягає до 50%.

2. Економія в часі. При заміні клепаання зварюванням відпадає цілий ряд операцій: розмічання і намічання отворів, їх пробивання або свердління, розвірчування отворів, клепаання і чеканка; при зварюванні потрібні тільки такі операції: обрізання і стругання кромок (не завжди) і зачищення після зварювання. Складання, розуміється, потрібне як для клепаних, так і для зварних виробів.

3. Вартість зварної продукції нижча від клепаної. Це впливає з попереднього.

Крім сказаного, є ще цілий ряд причин, які примушують широко застосовувати зварювання: підвищення надійності і міцності конструкцій, зменшення браку і відходів, зменшення транс-



портних витрат, зменшення витрат на механічне устаткування цехів, збільшення продуктивності цехів, спрощення проектування і конструювання і т. д.

## § 2. Короткі відомості з історії розвитку дугового зварювання і галузі його застосування в СРСР

Спосіб зварювання вольтовою дугою вугільним електродом винайшов російський інженер Н. Н. Бенардос в 1885 р. в к. Петербурзі. Трохи пізніше, в 1890 р., інженер Славянов, який працював на Мотовіліхінському гарматному заводі в м. Пермі, запатентував спосіб зварювання вольтовою дугою металічним електродом. Проте до імперіалістичної війни зварювання застосовувалося в дуже малих розмірах.

Поштовхом до широкого розвитку дугового електрозварювання була світова війна, яка вимагала величезного напруження промисловості всіх воюючих країн.

У нас в Союзі електрозварювання стали застосовувати з 1920 р., спочатку як ремонтний засіб при ремонті рухомого складу в залізничних майстернях.

З 1929/1930 р. на деяких великих заводах СРСР стали застосовувати зварювання при виготовленні нових виробів, наприклад завод ім. Марті в Миколаєві вперше приступив до виготовлення залізничних зварних цистерн і металічних конструкцій для Дніпробуду; завод „Електросила“ в Ленінграді приступив тоді ж до виготовлення зварних статорів турбогенераторів замість литих; багато заводів Харкова також почали виготовляти свою продукцію із застосуванням електрозварювання. Великі зварні роботи провів ВАТ на будівництві наших металургічних гігантів—у Магнітогорську, Кузнецькбуді, Азовсталі і ін.

На кінець першої п'ятирічки зварювання в СРСР стало одним з потужних засобів обробки металу.

Тепер в СРСР немає майже жодного підприємства, заводу, майстерні, будівництва, жодної галузі металопромисловості, які обходилися б без зварювання. До деяких найважливіших галузей застосування електрозварювання в СРСР належать такі: 1) будівництва металургічних, машинобудівельних, нафтоперегонних і інших заводів, 2) мостобудування, 3) машинобудування і кранобудування, 4) транспортне машинобудування, 5) суднобудування, 6) авто- і авіабудування, 7) котлобудування і апаратобудування.

З цього далеко неповного переліку галузей застосування зварювання видно, що тепер електрозварювання застосовується як основний технологічний процес в дуже відповідальних конструкціях і спорудах. Крім застосування електрозварювання для виготовлення нових виробів в найрізноманітніших галузях металопромисловості, треба згадати про величезну користь, яку дає електрозварювання при ремонті, відновленні різних поламів і виправленні браку.



### § 3. Методи зварювання

Зварюванням називається процес сполучення металічних частин за допомогою місцевого нагрівання до розтопленого або пластичного стану.

Існує кілька способів зварювання металів, відмінних один від одного методом нагріву — горнове або ковальське, газове (ацетилено-кисневе, воднево-кисневе і ін.), електричне і термітне.

З усіх способів зварювання найбільшого поширення набуло електричне зварювання. Електричне зварювання поділяється на два види — електричне дугове зварювання і електричне зварювання опором, або контактне.

При електричному дуговому зварюванні тепло, потрібне для нагрівання місця зварювання до розтоплення, береться від вольтової дуги.

При дуговому зварюванні методом Славянова вольтова дуга утворюється між металічним електродом, приєднаним до одного затиска джерела зварювального струму, і зварюваним металом, до якого приєднаний другий затиск джерела зварювального струму.

При зварюванні методом Бенардоса замість металічного стрижня як електрод береться вугільний стрижень, який також затискується в електродотримач.

Цей спосіб зварювання поширений значно менше, ніж спосіб Славянова.

Існує ще спосіб дугового зварювання Церенера. При цьому способі вольтова дуга утворюється між двома вугільними електродами, розміщеними під кутом.

Крім електричного дугового зварювання, існує ще дуже поширений тепер спосіб електрозварювання опором, або контактне електрозварювання. При цьому способі зварювання тепло, потрібне для нагріву зварюваних виробів, утворюється при проходженні електричного струму через великий опір, який є в місці сполучення (в контакті) двох зварюваних частин.

Існують три відміни контактного зварювання: стикове, точкове і роликове (зварювання швом).

При стиковому зварюванні зварювані частини затискуються в затиски спеціального зварювального апарата, до яких підводиться струм великої сили. Проходячи через зварювані предмети і місце їх сполучення, струм нагріває їх; тому що в місці сполучення зварюваних частин опір проходженню струму набагато більший, то тут виділяється більше тепла, торці зварюваних частин швидко розігріваються до білого жару або до обтоплення їх кінців. Як тільки зварювані кінці нагріються до потрібної температури, струм вимикають і дальшим тиском за допомогою затискного пристрою закінчують зварювання.

При точковому зварюванні нагрів відбувається в місці проходження струму через два складені внапустку листи, при



чому струм проходить через мідні штифти, так звані електроди, якими зварюваний виріб стискується після розігріву обох листів до зварювального жару. Таким чином тут зварювання відбувається по невеликій поверхні—„точці“, звідки і походить ця назва.

Якщо при точковому зварюванні ставити точки щільно одну біля одної, то утвориться суцільне шво. Для одержання такого шва зручніше замінити штифтові електроди роликками, які, поступово обертаючись, дають суцільне шво,— утворюється роликкове зварювання. В апаратах для роликкового зварювання струм автоматично вмикається на короткий проміжок, достатній для розігрівання під роликками зварюваних частин. Потім ролики автоматично стискають місце зварювання і після цього, трохи повертаючись, просувають зварюваний предмет, далі відбувається знову вмикання струму і т. д. В результаті ми матимемо суцільне шво.

Термітне зварювання. При термітному зварюванні для розігрівання зварюваних частин користуються теплом, яке виділяє при згоранні особлива суміш—терміт, що являє собою порошкоподібну суміш оксиду заліза і алюмінію. Якщо терміт помістити у вогнетривкий тигель і підпалити, то він, згораючи, розвиває високу температуру—понад 3000°. Під час горіння терміту в тиглі утворюються рідке залізо і шлаки (алюміній-оксид). Місце зварювання заформовується вогнетривкою глиною, і в цю форму виливають з тигля рідке залізо і шлаки. Шлаки мають дуже високу температуру, тому вони розігрівають місце зварювання до білого жару, після чого зварювані місця дуже стягують за допомогою спеціального затискного пристрою, в наслідок чого і відбувається зварювання. Рідке залізо також заповнює місце зварювання.

Нарешті, останнім часом в зварювальній техніці запропонований метод газо-електричного зварювання, при якому для розігріву місця зварювання користуються теплом, що його одночасно виділяють вольтова дуга і горючі гази. До таких методів належить зварювання способом „аркоген“. В цьому випадку зварювальник в правій руці тримає звичайну газову горілку, а в лівій замість присадкового стрижня—електрод. Цей спосіб практичного значення тепер не має.

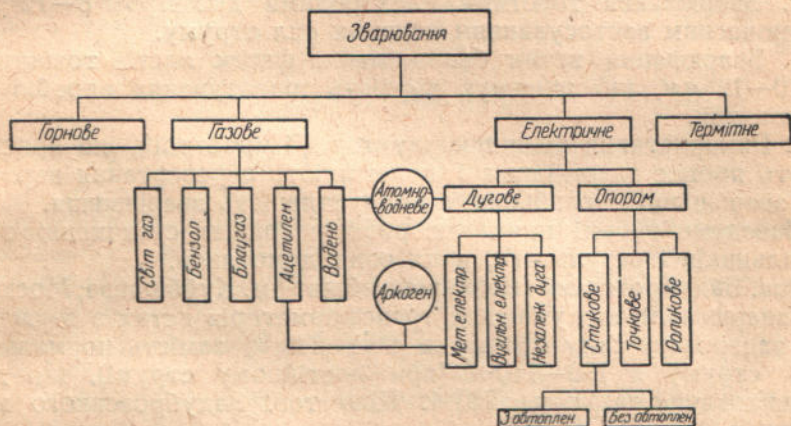
З інших способів велике практичне застосування за кордоном має атомно-водневе зварювання („аркатом“), тобто зварювання атомним воднем, запропоноване американським професором Лангмюіром. При цьому способі вольтова дуга утворюється між двома вольфрамовими електродами, розміщеними під кутом. В дугу по трубках, які оточують електроди, надходить водень, що в атмосфері вольтової дуги переходить з молекулярної форми в атомну. При зниженні температури водень переходить в молекулярну форму, виділяючи при цьому значну кількість тепла. При зварюванні утворюються шви високої якості, бо водень захищає метал від впливу атмосферного повітря. В СРСР атомно-водневе зварювання покищо не має великого поширення.



Такі основні види зварювання, застосовувані в сучасній металопромисловості. Для яснішого уявлення на фіг. 2 дана діаграма видів зварювання.

#### § 4. Стахановський рух в зварювальній справі і його вплив на підвищення продуктивності і зниження вартості зварювальних робіт

Стахановський рух, який потужною хвилею розлився по всьому Радянському Союзу, дав великі зрушення також і в зварювальній справі. Зварювальники-стахановці стали працювати новими методами і перекинули старі звичні поняття. В результаті стахановської роботи зварювальників значно підвищилася



Фіг. 2. Діаграма видів зварювання

продуктивність зварювання і знизилася вартість зварювальних робіт.

Зварювальники-стахановці йдуть двома шляхами для одержання своїх часом дивних результатів: перший шлях—це організаційні заходи, другий шлях—технічні заходи.

До найбільш поширених організаційних заходів належать такі:

1. Звільнення зварювальника від усіх допоміжних робіт: чищення шва, перевертання виробів, підношування електродів, пуск і зупинення зварювальних машин і т. д. Це дозволяє зварювальнику весь його робочий час віддавати виключно на зварювання, що підвищує продуктивність в середньому на 50—100%.

2. Правильна організація робочого місця зварювальника: своєчасне постачання зварювальнику справного і доброякісного інструмента та матеріалу (кабелі, щитки, електродотримачі, електроди і т. д.), зручне положення зварювальника відносно зварюваних виробів, що менше втомлює його, створення найбільш сприятливих санітарно-гігієнічних умов праці (добрий спецодяг, закрите від непогоди приміщення, чистота і порядок на робочому місці і т. д.).



3. Своєчасне і якісне підготування виробів для зварювання, що забезпечує повністю завантаження зварювальника протягом усього робочого дня без простоїв у чеканні подачі виробів для зварювання і без зайвих переходів.

Здійснення тільки цих організаційних заходів дає можливість зварювальнику забагато перевиконувати не тільки старі, але й нові норми.

До основних технічних заходів, проведених стахановцями-зварювальниками, належать такі:

1. Застосування великих сил струму, що веде до збільшення продуктивності зварювання, бо збільшує кількість розтопленого металу за одиницю часу.

2. Зварювання товстими електродами діаметром 8—12 мм з одночасним застосуванням великих сил струму.

3. Зварювання встик без знімання фасок листів товщиною до 10—12 мм, що зменшує вартість підготування виробів до зварювання.

4. Використання різних кондукторів і пристроїв, які прискорюють процес зварювання і полегшують перевертання виробів при зварюванні, що збільшує продуктивність зварювання.

Наведемо окремі приклади роботи кращих стахановців-зварювальників і результати, яких вони домоглися.

Тов. Задубровський (Електрокомбінат ім. Куйбишева, Москва) при зварюванні кожухів для трансформаторів встик з 6-мм заліза застосовує силу струму в 200—230 а, замість нормальної сили струму в 130—140 а (при постійному струмі), що дає перевиконання норм на 220%. Шво тов. Задубровського має велику щільність.

Тов. Биков (зварювальний комбінат „Оргметал“, Москва). Варить обичайки реторт з 7-мм заліза без розроблення кромки електродами діаметром 7 мм при силі струму 375 а і виконує норму на 600%. Для одержання такої сили струму були сполучені два трансформатори паралельно; щоб уникнути перегріву кабеля і тримача, в зварювальне коло були увімкнені два окремі кабелі з тримачами і зварювання на них провадилося поперемінно.

Тов. Мішелєв (Рязсельмаш) при зварюванні кузова вагонетки перекриває норму на 590% завдяки застосуванню електродів діаметром 6 мм, замість 4—5 мм, і сили струму 220—240 а, замість 160—180 а, при чому тов. Мішелєв наварює шво один раз замість двох, не погіршуючи якості шва.

На будівництві Азовсталь до стахановського руху зварювальник на основній роботі був зайнятий всього тільки 17,3% робочого часу. Після звільнення зварювальника від усіх підготовчих і допоміжних робіт, для виконання яких поставлено спеціального підручного, що обслуговує чотирьох зварювальників, корисна робота зварювальника стала займати 96% від усього робочого часу.

Тов. Коршунов (завод втиш ім. Сталіна, Ленінград) на приварюванні ребер товщиною 8 мм до труб економайзера з тов-



щиною стінок труб 3,5 мм виконав норму на 734%, заробивши за день 86 крб. 50 коп. Такої продуктивності тов. Коршунов добився правильною організацією робочого місця і роботою на підвищеному режимі—електродами 5 мм, замість 3—4 мм, при силі струму 250 а, замість 120—160 а; продукція виконана без браку—50% на „добре“ і 22% на „відмінно“.

Орденоносець-електрозварювальник тов. Сидоренко (Азов-сталь), ініціатор стахановського руху зварювальників, довів виконання норми до 1038%.

Ці приклади, число яких можна було б значно збільшити, показують, що, застосовуючи ряд організаційних і технічних заходів, можна значно підвищити продуктивність праці і тим самим збільшити виробничу потужність і обороноздатність нашого Союзу.

## РОЗДІЛ II

### ВОЛЬТОВА ДУГА

#### § 5. Фізичні і електричні властивості

Вольтова дуга являє собою тривалий електричний розряд в газоподібному середовищі між двома електродами. Цей розряд відбувається при порівняно невеликих різницях потенціала. Сила струму в дузі може бути скільки завгодно великою. Вперше явище вольтової дуги спостерігав російський академік Петров в 1802 р.

Вольтова дуга характеризується двома властивостями: 1) сильним випромінюванням і 2) виділенням великої кількості тепла.

Схема дуги між двома вугільними електродами дана на фіг. 3: позитивний полюс кола приєднаний до верхнього вугля, негативний—до нижнього.

Світлова і теплова енергія вольтової дуги виділяється нерівномірно в усіх її точках. Джерелом найбільшого виділення енергії є кінець позитивного електрода: тут виділяються 85% світлового потоку і 43% теплової енергії. На негативному полюсі виділяються 10% світлового потоку і 36% тепла. Решта 5% світлового потоку і 21% тепла виділяються в проміжку між електродами. В зв'язку з цим і температура на електродах неоднакова.

Вимірювання показують, що при горінні дуги в атмосфері повітря температура анода (плюса)—близько 4000°, катода (мінуса) 3400°. При горінні дуги в атмосфері стисненого газу температуру вольтової дуги можна мати значно вищу—до 6000°.

Вольтова дуга являє собою потік електронів, що мчать від негативного електрода до позитивного. Позитивно заряджені електрони рухаються в протилежну сторону.

Процес виникнення вольтової дуги можна уявити так. При стиканні електродів в наслідок великого омичного опору в



Фіг. 3.  
Вольтова дуга між двома вугільними електродами



місці контакту кінці електродів розжарюються до білого жару, і кінець негативного електрода починає випромінювати електрони. При утворенні між електродами повітряного проміжку випромінювані електрони розщеплюють молекули повітря, іонізують його і тим самим створюють путь електрично-му струмові.

Для дуги між двома вугільними електродами на постійному струмові (фіг. 3) можна відзначити такі зони: 1—зону електронного потоку, 2—зовнішню зону, яка у вигляді покриву обволікає власне вольтову дугу. Друга зона, що є ореолом дуги, являє собою полум'я як результат хемічних реакцій між парю речовини електродів і атмосферою.

Внаслідок більшої температури на аноді позитивний електрод згорає швидше, ніж негативний. Щоб зробити однаковим строк служби обох електродів, позитивний електрод беруть більшого діаметра, ніж негативний.

Вольтову дугу між двома вугільними електродами використовують для того, щоб мати сильні джерела світла (прожектори, кіно), а також для зварювання способом Церенера. Вольтова дуга між вугільним і металічним електродами формою дещо відрізняється від вольтової дуги між двома вугільними електродами. Фізична ж суть такої дуги—та ж сама. Вольтова дуга між вугільним електродом і металом використовується при зварюванні способом Бенардоса.

Вольтова дуга між двома металічними електродами відмінна від вугільної дуги тим, що тут електроди топляться. Ця обставина трохи змінює умови горіння вольтової дуги. Кожна окрема крапля з кінця електрода замикає на якийсь момент дугу на коротко. В одну секунду виділяється від 20 до 30 крапель.

Для горіння вольтової дуги на її електродах треба підтримувати певної величини напругу. Величина цієї напруги змінюється залежно від матеріалу електродів, сили струму в дузі і довжини дуги.

Співвідношення між цими величинами, виражається формулою Айртон:

$$U = a + b \cdot I + \frac{c + d \cdot I}{I},$$

де  $U$ —напруга між кінцями електродів у вольтах,  $l$ —довжина дуги в мм,  $I$ —сила струму в амперах,  $a$ ,  $b$ ,  $c$ ,  $d$ —сталі коефіцієнти, які залежать від матеріалу електродів, складу і тиску газового середовища, роду струму.

Рівняння Айртон стосується вольтових дуг при невеликих силах струму, порядку до 20 а. При силах струму, які застосовуються в зварювальній техніці, рівняння Айртон можна спростити і написати так:

$$U = a + b \cdot l,$$

бо абсолютне числове значення третього члена рівняння, яке виражається дробним числом, не має істотного впливу на абсолютну величину  $U$ .

З цієї формули випливає: 1) в зварювальній вольтовій дузі напруга на електродах не залежить від сили струму (зміни, які не мають практичного значення), 2) напруга дуги зв'язана прямолінійною залежністю з довжиною дуги.

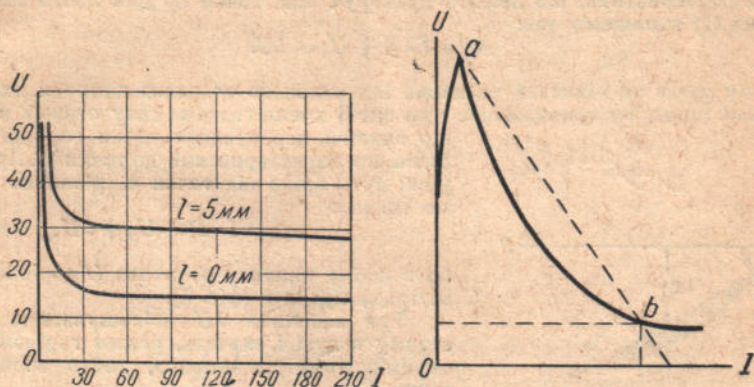
Для звичайних умов зварювальної дуги, що горить в атмосфері повітря, значення коефіцієнтів  $a$  і  $b$  для маловуглецевих електродів:  $a$ —від 8 до 12,



$b$  від 2 до 2,5; для вугільних електродів:  $a$  від 35 до 38,  $b$ —від 2 до 2,5; для дуги між вугільним і маловуглецевим електродами:  $a$ —30,  $b$ —від 2 до 2,5.

Фізично коефіцієнтів  $a$  можна характеризувати як напругу дуги при нульовій довжині, а коефіцієнт  $b$ —як напругу в повітряному проміжку дуги на 1 мм довжини.

В дузі змінного струму температура на полюсах однакова. В наслідок періодичного переходу струму через нуль повітряний проміжок в ці хвилини деіонізується, що значно погіршує умови горіння дуги і веде до частих її обривів. При зварюванні потрібні спеціальні заходи для поліпшення іонізації і стабільності дуги: обмазування електродів, накладання струмів високої частоти і ін.



Фіг. 4. Характеристика вольтової дуги

Залежність зміни напруги від зміни величини сили струму у вольтовій дузі, подана графічно, називається статичною характеристикою вольтової дуги.

На фіг. 4 дано характеристики вольтової дуги. Зліва подано дві характеристики для довжини дуги, рівної нулевій, і дуги в 5 мм. Праворуч показана початкова частина характеристики в більшому масштабі; на цій характеристиці  $a$ —точка запалювання дуги,  $b$ —точка горіння дуги.

З цих характеристик видно, що напруга на дузі змінюється із збільшенням сили струму примірно до  $30 a$ . З дальшим збільшенням сили струму напруга помітно не змінюється.

Подивимося, в якій точці статичної характеристики вольтова дуга горить стійко. Позначимо через  $U$  напругу сітки, від якої живиться вольтова дуга,  $U_0$ —напругу між електродами вольтової дуги;  $I \cdot R$ —омічне спадання напруги в колі, куди увімкнена вольтова дуга,  $\Delta U$ —індуктивне спадання напруги в колі. Тоді маємо:

$$U = I \cdot R + \Delta U + U_0, \quad (1)$$

бо діюча напруга  $U$  в сітці цілком витрачається на омічне спадання напруги в сітці  $I \cdot R$ , індуктивне спадання напруги в цьому колі  $\Delta U$  і спадання напруги в самій дузі  $U_0$ .

Рівняння (1) справедливе в будь-який момент горіння дуги.

Візьмемо статичну характеристику для якоїнебудь довжини вольтової дуги (фіг. 5). Ордината  $OA$  зображує в певному масштабі напругу сітки  $U$ .



З точки  $A$  проведемо пряму  $AE$  під кутом  $\alpha$  до осі абсцис. Кут  $\alpha$  повинен відповідати умові:

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{U}{I} = R.$$

Тоді відрізки ординат, розміщені між прямою  $AE$  і прямою  $AD$ , відповідатимуть сумі всіх омичних опорів, увімкнених в коло вольтової дуги.

Відрізки, обмежені прямою  $AE$  і характеристикою вольтової дуги (на фіг. 5 заштриховані), являють собою в масштабі величини індуктивного спадання напруги  $\Delta U$ . Відрізки, розміщені вище характеристики, додатні (між точками  $B$  і  $C$  на фіг. 5); відрізки, розміщені нижче характеристики, — від'ємні (праворуч від точки  $C$  і ліворуч від точки  $B$ ).

Пряма  $AE$  перетинає характеристику вольтової дуги в точках  $B$  і  $C$ . Розглянемо точку  $C$ . Припустимо, що дуга горить при режимі, який відповідає точці характеристики, що лежить праворуч від точки  $C$ . Для цього випадку рівняння (1) напишемо так:

$$U = I \cdot R + U_{\partial} - \Delta U.$$

Тому що в це рівняння величина індуктивного спадання напруги входить із знаком мінус, то зумовлювана ним зміна зменшуватиме силу струму в дузі, що викличе пересування точки горіння дуги вліво по характеристиці, до точки  $C$ . При горінні дуги вліво від точки  $C$  рівняння матиме вигляд:

$$U = I \cdot R + U_{\partial} + \Delta U,$$

бо в цьому випадку величина  $U$  дорівнює сумі трьох ординат (фіг. 5).

Тут величина  $\Delta U$  збільшуватиме силу струму в дузі, і, значить, режим горіння дуги переміщатиметься вправо, тобто знову до точки  $C$ .

Звідси можна зробити висновок, що при будь-якій зміні режиму в колі вольтової дуги горіння дуги прямуватиме до точки  $C$ , тобто точка  $C$  буде точкою стійкого горіння дуги.

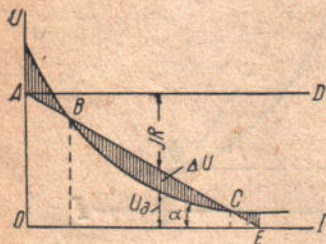
Якщо написати рівняння (1) для горіння дуги вліво від точки  $B$ , то воно прийме вигляд:

$$U = U_{\partial} - (\Delta U - I \cdot R) = U_{\partial} - \Delta U + I \cdot R,$$

тобто струм в дузі прагнучим зменшитися, і точка горіння дуги на характеристиці пересуватиметься вгору і віддалятиметься від точки  $B$ . Таким чином точка  $B$  є точкою нестійкого горіння дуги.

Кожна характеристика дуги має тільки одну точку стійкого горіння дуги. Статична характеристика вольтової дуги передбачає усталений режим в дузі, тобто дослідним способом можна одержати статичну характеристику тільки при достатньо повільній зміні струму. При швидких і раптових коливаннях струму в дузі стан іонізації повітряного проміжку дуги не встигатиме за змінами режиму кола. При швидкому зменшенні струму опір дуги в даний момент буде менший, ніж при усталеному режимі. При різкому збільшенні струму буде різке збільшення напруги на дузі порівняно з величиною її за статичною характеристикою. Це явище, яке практично має місце в зварювальній дузі, відбиває динамічні властивості дуги.

Вольтова дуга створює одне явище, з яким зварювальник повинен рахуватися. Відомо, що навколо кожного провідника, по якому проходить електричний струм, утворюється магнітне поле.



Фіг. 5. Характеристика вольтової дуги



Вольтову дугу можна розглядати як гнучкий провідник, по якому проходить електричний струм. Отже, навколо вольтової дуги утворюється магнітне поле і при тому досить сильне, з огляду на велику силу струму у зварювальній дузі. Зварювана деталь також увімкнена в електричне коло, тому і навколо неї створюється магнітне поле.

Взаємодія цих магнітних полів викликає явище, яке називається „магнітним дуттям“.

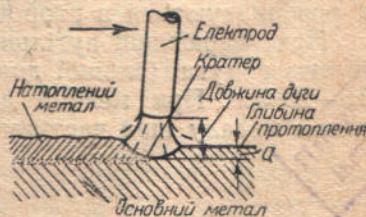
Вольтова дуга починає „блукати“ і стає нестійкою. Сила магнітного дуття залежить від взаємного розміщення і форми зварюваних деталей. Іноді магнітне дуття стає таким сильним, що перешкоджає успішному проведенню зварювання.

Рациональних методів боротьби з магнітним дуттям поки не знайдено. В деяких випадках можна зменшити магнітне дуття зміною місця приєднання зворотного провода до деталі, що дає зміну розміщення магнітних потоків, які стають більш сприятливими в розумінні впливу на вольтову дугу. Помічено, що при зварюванні на змінному струмі явище магнітного дуття слабше, ніж при зварюванні на постійному струмі.

## § 6. Зварювальні властивості вольтової дуги

В процесі дугового електрозварювання металічним електродом кінець електрода весь час знаходиться в розтопленому стані, і рідкий метал з нього у вигляді крапель переходить на зварюване шво, де метал електрода змішується з розтопленим металом зварюваного виробу.

Тепло вольтової дуги виділяється на дуже невеликому просторі, якраз під дугою. Якщо розглядати через темне скло дугу, збуджену металічним електродом, то ми переконаємося, що в місці утворення дуги на основному металі виділяється нагріта до білого поверхня, яка безпосередньо під дугою має вигляд заглиблення, заповненого рідким металом. Створюється враження, ніби це заглиблення утворене видуванням рідкого металу дугою. Це заглиблення називається кратером. Кратер оточений металом, нагрітим до білого жару, при чому температура нагріву області, яка прилягає до кратера, швидко спадає і вже на невеликій віддалі, величина якої обумовлена діаметром електрода і силою струму, температура зрівнюється з температурою самого зварюваного предмета. Таким чином вольтова дуга при металічному електроді дає сильний місцевий нагрів основного металу в зоні, що безпосередньо оточує кратер.



Фіг. 6. Довжина дуги, кратер

Віддаль між кінцем електрода і дном кратера називається довжиною дуги (фіг. 6). Ця величина має велике значення в техніці зварювання. Для доброго зварювання довжину дуги треба



брати якомога меншу, тобто тримати дугу коротше, при чому довжина її не повинна перевищувати 3—4 мм.

Необхідність підтримувати коротку дугу зумовлюється тим, що розтоплений метал електрода вбирає при переході з електрода в кратер кисень і азот з повітря, яке оточує дугу, що погіршує механічні якості нагрітого металу (відносне здовження і опір ударові). Зрозуміло, що шкідливий вплив повітря буде тим менший, чим менше часу рідкий метал проходить через повітря. При короткій дузі цей час буде менший, ніж при довгій, і, значить, метал електрода не встигне увібрати стільки кисню і азоту, скільки він увібрав би, проходячи більшу путь при довгій дузі.

Коротку дугу можна відрізнити не тільки з вигляду, але також і на слух, бо коротка дуга дає характерне сухе потріскування.

Шво, виконане довгою дугою, має дуже нерівний вигляд. Пояснюється це тим, що довга дуга—менш стійка, ніж коротка, вона прагне ніби блукати і відхилятися в сторони від місця зварювання, в наслідок чого нагрів від неї поширюється на більшу площу. Через це не все тепло, випромінюване дугою, використовується на розтоплення металу в місці зварювання, а частина його розсіюється по великій поверхні, тому при довгій дузі ми маємо погане протоплювання, і краплі з електрода, падаючи на погано прогріте місце, не стоплюються з основним металом, а розбризкуються в сторони.

При зварюванні вугільною дугою методом Бенардоса підтримується дуга більшої довжини, ніж при металічній—порядку 15—20 мм. При меншій довжині дуги можливе науглецьовування металу шва частками вуглецю від вугільного електрода.

### РОЗДІЛ III

## МАШИНИ І АПАРАТИ ДЛЯ ДУГОВОГО ЗВАРЮВАННЯ

### § 7. Вимоги, які ставляться до зварювальних машин

Щоб запалити вольтову дугу, тобто іонізувати повітряний проміжок між електродами, потрібна більш висока напруга, ніж для підтримання нормального горіння вольтової дуги. Практика показує, що при постійному струмі напруга запалювання повинна бути не нижче 30—35 в, при змінному струмі напруга запалювання повинна бути порядку 50—55 в.

Процес запалювання дуги починається з того, що електродами торкаються зварюваного предмета, тобто роблять коротке замикання зварювального кола. Потім, коли відбувається процес топлення електрода, періодично розтоплені краплі замикають накоротко повітряний проміжок між електродом і зварюваною поверхнею. Тому зварювальній машині, що живить вольтову дугу, не повинні шкودити короткі замикання, тобто схема машини повинна забезпечити обмеження струму короткого зами-



канья. Цій умові відповідають тільки такі генератори, які мають спадаючу зовнішню статичну характеристику, [тобто в яких із збільшенням сили струму зменшується напруга.

Коливання сили струму в дузі під час зварювання погіршує якість шва і дає неоднорідний метал. Зварювальний генератор повинен забезпечувати сталість відрегульованої сили струму, і в усякому разі такі коливання повинні бути мінімальними. Коливання сили струму в певних межах неминучі, бо зварювальник не може тримати дугу точно певної довжини.

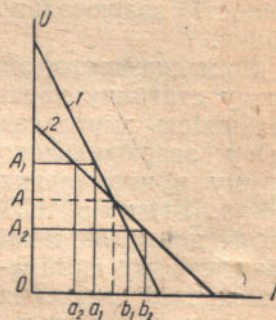
Чим крутіша характеристика генератора, тим менша зміна сили струму в дузі із зміною довжини дуги, що видно на фіг. 7. На фіг. 7 дано дві характеристики з різним кутом нахилу: 1—характеристика джерела струму, яке дає мінімальні коливання струму в дузі, 2—характеристика, що дає великі коливання струму в дузі.

При коливанні напруги в межах  $A_1$ ,  $A_2$  в наслідок зміни довжини дуги сила струму характеристики 1 коливається в межах  $a_1$ ,  $b_1$ , сила струму характеристики 2—в межах  $a_2$ ,  $b_2$ . Діапазон коливання сили струму в першому випадку значно менший, ніж в другому, що, як уже говорилося вище, має велике значення для технології зварювання, бо кількість виділеного вольтовою дугою тепла залежить від сили струму в дузі.

Характеристика 1 сприятлива ще і тим, що сила струму короткого замикання перевищує робочу силу струму на незначну величину.

Щоб зняти статичну характеристику генератора, в його зовнішнє коло вмикають опори, за допомогою яких і добирається потрібний струм у зовнішньому колі. Іншими словами, статична характеристика характеризує роботу генератора на постійний опір зовнішнього кола генератора на даний момент часу, тобто при усталеному режимі кола.

Вольтова дуга при металічних електродах являє собою опір, що весь час змінюється. Починається процес коротким замиканням, а потім довжина дуги весь час змінюється. При відокремленні крапель металу з кінця електрода, який топиться, відбувається також коротке замикання, а таких крапель за секунду відокремлюється до 30. Осцилограми, зняті із зварювального струму, наочно показують, як коливається режим у вольтовій дузі протягом короткого відрізка часу. Звідси виходить, що зварювальний генератор, який живить вольтову дугу, повинен мати, крім вказаних властивостей з погляду статичної характеристики, здатність достатньо швидко реагувати на всі зміни, які відбуваються в режимі вольтової дуги, тобто повинен мати відповідну динамічну характеристику. При короткому замиканні напруга генератора повинна спадати до нуля, при від-



Фіг. 7. Характеристики з різним кутом нахилу



риві електрода від деталі напруга повинна швидко підвищуватися до відповідного значення, достатнього для запалювання дуги, і т. д. Чим коротший буде період часу між моментом зміни довжини дуги і моментом відповідної зміни напруги машини, тим стійкіша буде вольтова дуга і тим краща буде якість зварного шва.

Круте підвищення кривої напруги машини забезпечує легкість запалювання дуги після короткого замикання. Час, протягом якого напруга генератора зростає до напруги холостого ходу при переході від режиму короткого замикання до холостого ходу, не повинен перевищувати 0,3 сек. Таким чином статичної характеристики ще недосить для того, щоб судити про якість зварювального генератора. Динамічні властивості зварювального генератора—ще важливіші для його оцінки.

Крім сказаного, зварювальний генератор повинен мати спадаючу статичну характеристику для всіх режимів робіт і мати можливість змінювати силу зварювального струму в нормальних межах. Згідно з ОСТ 7254 за нормальні межі зміни струму приймаються такі значення при нарузі зварювальної дуги в 18 в (табл. 1).

Таблиця 1

Нормальні сили струму генератора в амперах	150	250	400
Межа регулювання в амперах . .	50—250	75—350	120—600

Примітка. Генератор, призначений для роботи вугільним електродом, повинен забезпечити верхні межі сили струму при нарузі дуги 35 в.

Згідно з ОСТ 7254 зварювальні генератори поділяють:

а) за призначенням: 1) на однопостові—для живлення однієї зварювальної дуги, 2) многопостові—для одночасного живлення кількох зварювальних дуг;

б) за родом привода: 1) на генератори для безпосереднього сполучення з електродвигуном, 2) генератори для безпосереднього сполучення з двигунами внутрішнього згорання, 3) генератори для пасового привода;

в) за родом установки: 1) на генератори стаціонарних установок, 2) генератори для пересувних установок;

г) за режимом роботи: 1) на генератори для режиму з неперервним навантаженням, 2) генератори для режиму з переривчастим повторно-короткочасовим навантаженням (ПКР).

Як значення відносної тривалості вмикання (ПКР) приймаються: ПКР—50%; ПКР—70%, при чому тривалість циклу приймається рівною 5 хвил.

ПКР—50% (70%) при п'ятихвилинному циклі означає режим роботи зварювального поста, при якому пост знаходиться під навантаженням 50% (70%) часу кожного п'ятихвилинного циклу.

В табл. 2 наведені основні дані однопостових зварювальних генераторів.



Номинальна напруга на затисках генератора	Номинальна сила струму, від- несена до:			Число оборотів за хвилину	Призначення
	неперервно тривалого режиму	ПКР—70%	ПКР—50%		
25	150	185	230	1430	Для роботи з металічними електродами
40	250	300	350	1430	Для роботи з металічними і вугільними електродами
40	400	500	600	1430	

## § 8. Схеми однопостових зварювальних генераторів постійного струму

Нормальні електричні генератори постійного струму шунтового або компаундного збудження, використовувані для освітлення і силового навантаження, мають зовнішню статичну характеристику, яка не відповідає вимогам, викладеним у попередньому параграфі.

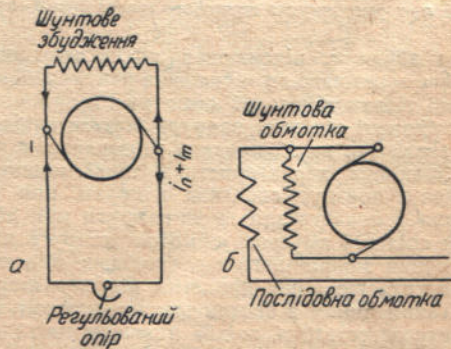
Шунтова машина має одну обмотку збудження, що живиться від щіток цієї ж машини (самозбудження). Схеми цієї машини подана на фіг. 8а.

Напруга машини на затисках є різниця між е. р. с.<sup>1</sup> машини і спаданням напруги в обмотці якоря генератора. Величина е. р. с. визначається струмом в обмотці збудження  $i_m$ . Із збільшенням навантаженого струму генератора  $i_n$  спадання напруги в обмотці якоря збільшується, бо воно дорівнює:

$$r_a (i_n + i_m),$$

а значить, напруга на затисках зменшується. Це зумовлює зменшення струму в обмотці збудження і дальше зменшення напруги генератора.

Опір обмотки якоря роблять невеликим, тому в межах нормального навантаженого струму зменшення напруги генератора дуже незначне. Характеристика шунтового генератора показана на фіг. 9а. Крива 1 показує залежність між напругою і струмом у зовнішній сітці (зовнішня статична характеристика). Крива 2 показує залежність між е. р. с. і струмом і називається внутрішньою характеристикою. Крива 3 — характеристика спадання напруги в обмотці якоря. Нормально генератор може працювати в межах сили струму, що дорівнює відрізковій  $OP$ . В цих межах спадання напруги генератора незначне. В якійсь точці  $R$  напруга круто спадає. Доводить роботу генератора до цієї точки небезпечно, бо обмотка якоря може нагрітися вище дозволених меж, що може спричинити попускання ізоляції.



Фіг. 8.

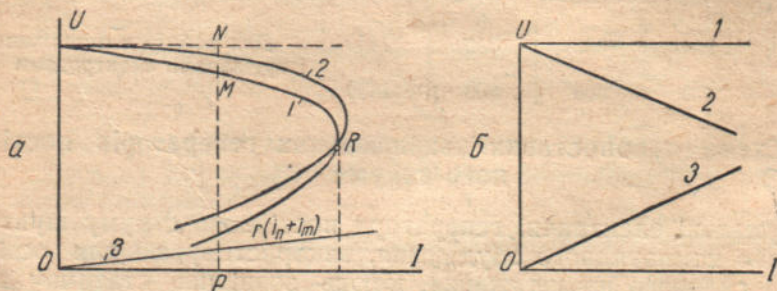
а—схеми шунтового генератора; б—схеми компаундного генератора

<sup>1</sup> Е. р. с. — електрорушійна сила.



Порівнюючи характеристику шунтового генератора з характеристикою, необхідною для живлення зварювальної вольтової дуги (фіг. 7), бачимо повну непридатність її для цієї мети.

Схема генератора компаундного збудження дана на фіг. 8б. Машина має на магнітних осердях по дві обмотки збудження. Одна обмотка — шунтового збудження, про яке вже говорилося вище; друга обмотка — послідовного збудження, яка вмикається послідовно з обмоткою якоря машини. Весь струм зовнішнього навантаження проходить через послідовну обмотку. Магнітний потік полюсів є рівноділним магнітного потоку шунтової обмотки і послідовної, або серійної, обмотки. Шунтова обмотка розраховується так, щоб вона збуджувала магнітний потік при холостій роботі генератора, достатній для підтримання відповідної е. р. с. машини. Послідовна обмотка розраховується так, щоб при роботі машини на навантаження магнітний потік, який



Фіг. 9.

а—характеристика шунтового генератора; б—характеристика компаундного генератора

вона збуджує, підсилював потік шунтової обмотки для підвищення е. р. с. якоря відповідно до зменшення напруги біля затисків, одержуваного при роботі самої тільки шунтової обмотки. Таким чином в наслідок зрівноважуючої дії послідовної обмотки напруга біля затисків генератора підтримується сталою, не зважаючи на збільшення навантаженого струму.

Зовнішня характеристика такої машини позначена на фіг. 9б цифрою 1. Крива 2 показує спадання напруги при дії тільки самої шунтової обмотки. Крива 3 показує зростання напруги при дії тільки однієї послідовної обмотки. При спільній дії двох обмоток напруга підтримується сталою незалежно від величини зовнішнього навантаження. Для живлення вольтової дуги така характеристика ще менш придатна, ніж характеристика шунтового генератора.

Таким чином з систем електричних машин, які існували до початку розвитку електрозварювання, жодна повністю не задовольняла зварювальників

Тому винахідницька думка в цій галузі була спрямована на розробку таких систем, які давали б стійку дугу і відповідали вимогам електричного режиму вольтової дуги. Нижче ми подаємо опис таких схем.

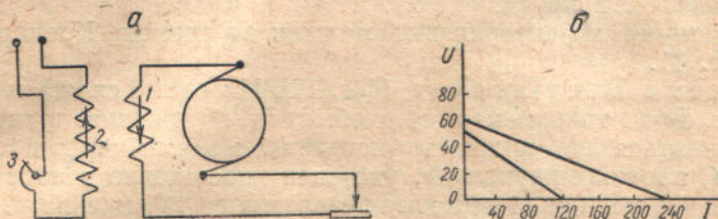
Схема Модслея (фіг. 10). Зварювальна машина за схемою Модслея має дві обмотки збудження. Е. р. с. індукціюється магнітним потоком обмотки незалежного збудження 2. Ця обмотка живиться від окремого джерела струму, цілком незалежно від зварювального кола.

При запалюванні дуги зварювальний струм проходить через послідовну обмотку збудження 1. Послідовна обмотка діє зустрічним способом відносно обмотки незалежного збудження, тому магнітний потік цієї обмотки спрямований проти основного магнітного потоку. Чим більший струм проходить по зва-



рювальному колу, тим сильніша розмагнічувальна дія проти-компаундної обмотки і тим менша напруга на затисках машини.

В момент короткого замикання магнітний потік протидіючої обмотки дорівнює магнітному потоку обмотки незалежного збудження, отже рівнодійний потік дорівнює нулеві, а значить, і напруга машини спадає до нуля.



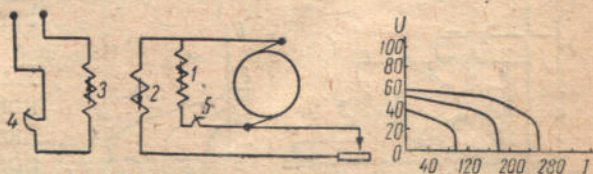
Фіг. 10.

а—схема Модслея; б) характеристика генератора Модслея

В наслідок дії протикомпаундної обмотки генератор має спадаючу характеристику (фіг. 10б).

Схема Кремера (фіг. 11). Як видно із схеми, генератор має три обмотки: шунтову 1, протикомпаундну 2 і обмотку незалежного збудження 3. На схемі умовно стрілками позначено напрям магнітного поля, індукційованого даною обмоткою. Обмотка незалежного збудження і шунтова дають магнітний потік одного напрямку, протикомпаундна ж дає магнітний потік зворотного напрямку. При збільшенні сили струму в зварювальному колі в наслідок зменшення довжини дуги обмотка 2, розмагнічуючи машину, зменшуватиме загальний магнітний потік машини. В наслідок цього напруга на затисках машини зменшується, що ви-

кликає зменшення струму в шунтовій обмотці 1. Звідси — дальше зменшення магнітного потоку машини, а значить, і зменшення е. р. с.



Фіг. 11. Схема генератора Кремера і характеристика

Таким чином протикомпаундна обмотка забезпечує спадаючу характеристику машини, а також обмежує силу струму короткого замикання. При короткому замиканні напруга машини дуже мізерна, порядку 2—3 в, а тому і струму в шунтовій обмотці майже немає, отже шунтова обмотка на величину струму короткого замикання ніякого впливу не має. Величина струму короткого замикання визначається взаємною дією обмотки незалежного збудження і протикомпаундної. Тому струм короткого замикання, а також і величину зварювального струму можна регулювати реостатом 4 (фіг. 11), увімкненим в коло

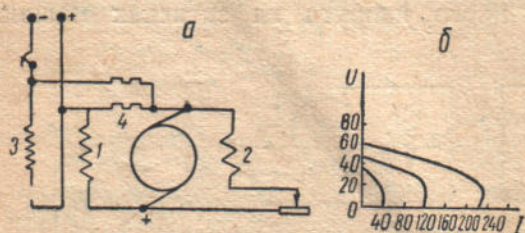


обмотки незалежного збудження; цей реостат називається регулятором струму.

При холостій роботі на величину напруги машини, крім обмотки незалежного збудження, впливає також магнітне поле шунтової обмотки. Тому, діючи реостатом 5, можна змінювати напругу холостого ходу машини, чому реостат 5 називається регулятором напруги.

Статична характеристика машини за схемою Кремера дана на фіг. 11.

Схема Вестінгауза (фіг. 12). Ця схема схожа на попередню. Вона також має три обмотки збудження: шунтову 1, що живиться від щіток зварювальної машини через постійний опір 4, протикомпаундну 2, увімкнену послідовно з якорем зварювальної машини, і обмотку незалежного збудження 3. Шунтова обмотка в цій схемі—диференціальна, бо вона залежно від напруги зварювальної машини підсилює дію обмотки незалежного збудження або протикомпаундної. При холостому ході машини, коли напруга на затисках генератора перевищує напругу на кінцях обмотки незалежного збудження, ампервитки шунтової обмотки дають магнітний потік однакового напрямку з магнітним потоком обмотки незалежного збудження. При роботі машини на дугу, коли напруга генератора знижується до робочого значення і стає нижча від напруги на кінцях обмотки незалежного збудження, шунтова обмотка 1 дістає струм від незалежного джерела струму, який проходить в супротивному напрямі відносно шунтованого струму і, отже, створює зворотний магнітний потік, який діє розмагнічувальним способом разом з потоком протикомпаундної обмотки.



Фіг. 12. Схема Вестінгауза і характеристика

Характеристика цього генератора дана на фігурі 12б.

Схема Джіі (GEC). На фіг. 13а дана схема з контурами станини, полюсів і якоря генератора і розміщення обмоток збудження і щіток. Умовно щітки посаджені на яркі (колектор на схемі не показано).

Генератор Джіі має насамперед ту особливість, що поряд розміщені однойменні полюси, тоді як у звичайних генераторів полярність полюсів чергується. В суті генератор двополусний, бо два однойменні полюси, які поряд розміщені, в електричному відношенні треба розглядати як один роздвоєний полюс.

Проте, для зрозуміння явищ, які відбуваються в цій машині, умовно магнітний потік полюсів розбіємо на два самостійні магнітні потоки: один  $\Phi_M$  назвемо вертикальним магнітним потоком і другий, перпендикулярний до нього,  $\Phi_C$  назвемо горизонтальним магнітним потоком полюсів.



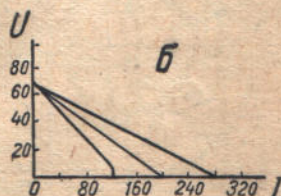
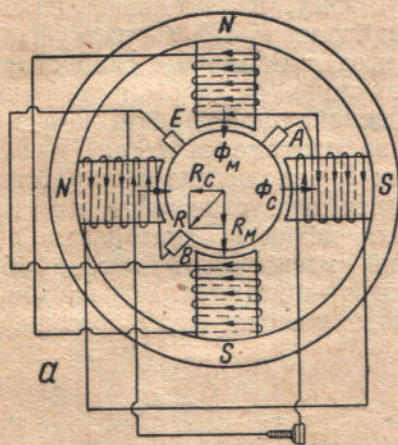
Генератор має три щітки: дві головні  $A$  і  $B$ , розміщені між полюсами протилежної полярності, і третю  $E$ , розміщену між головними щітками. Генератор працює із самозбудженням, при чому живлення обмотки збудження здійснюється від однієї головної і допоміжної щіток. Напряга на щітках  $A$  і  $B$ , яка дорівнює сумі напруг  $AE$  і  $BE$ , індукуються за рахунок вертикального і горизонтального магнітних потоків.

Спадаюча характеристика досягається дією реакції якоря. Коли по обмотці якоря проходить зварювальний струм, то він породжує в якорі свій магнітний потік, який має напрям, вказаний на фіг. 13 вектором  $R$ .

Якщо розглядати якір в даному випадку як електромагніт, то біля щітки  $B$  буде північний полюс (тут магнітні силові лінії виходять з якоря), а біля щітки  $A$  буде південний полюс (тут магнітні силові лінії якоря входять в нього).

Тому що магнітний потік прагне завжди проходити по залізу, а не по повітрю (залізо—кращий провідник магнітних силових ліній, ніж повітря), то, виходячи з тіла якоря, магнітний потік якоря поділиться на два складові магнітні потоки, з яких один піде по полюсному наконечнику наліво  $R_C$ , а другий—по полюсному наконечнику вниз  $R_M$ . Дальша путь магнітних потоків іде через станину генератора, потім через другі полюсні наконечники і назад в тіло якоря.

Частина магнітного потоку  $R_C$  назвемо поперечним потоком якоря, потік  $R_M$  назвемо поздовжнім потоком якоря. Поперечний потік якоря  $R_C$



Фіг. 13. Схема ГЕС і характеристика

спрямований проти горизонтального потоку магнітних полюсів, тоді як поздовжній потік якоря  $R_M$  зливається напрямом з вертикальним потоком полюсів. Таким чином перший зменшує потік полюсів, другий збільшує його. Генератор розраховують

<sup>1</sup> Векторами користуються, коли хочуть графічно виразити величину і напрям якогонебудь фізичного явища. Електротехніка користується векторною системою зображення всіх електричних і магнітних величин. Вектор являє собою відрізок, який величиною (в умовному масштабі) і напрямом визначає силу струму, напругу, магнітний потік і інші електромагнітні величини.

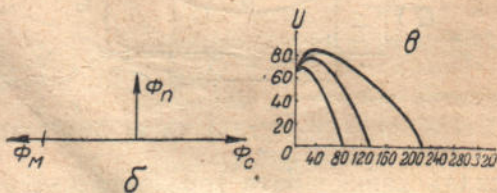
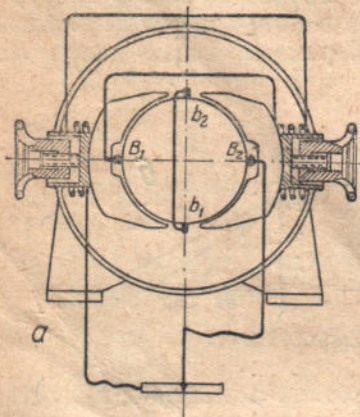


і конструюють так, що вертикальні полюси машини працюють при максимальному магнітному насиченні, тобто при такому стані, коли їх магнітна індукція не може бути збільшена. Звідси поздовжній магнітний потік якоря, не зважаючи на збіг щодо напрямку з вертикальним магнітним потоком полюсів, на незначну величину збільшує останній.

Отже, при збільшенні сили зварювального струму загальний магнітний потік полюсів зменшується за рахунок зменшення горизонтального магнітного потоку полюсів, а звідси зменшується і напруга машини. Таким чином спадаюча характеристика генератора утворюється за рахунок розмагнічуючої дії реакції якоря. На фіг. 13б дано характеристики генератора за схемою Дзії.

Схема Розенберга. На фіг. 14 дана схема генератора Розенберга. Машина працює із самозбудженням. Колектор машин має дві пари щіток:  $B_1$  і  $B_2$ —головні щітки,  $b_1$  і  $b_2$ —короткозамкнені щітки. Коли зварювальне коло розімкнуте, в генераторі є тільки магнітний потік, обумовлений залишковим магнетизмом, бо обмотка збудження генератора сполучена послідовно із зварювальним колом, і при відсутності струму в колі немає струму і в обмотці збудження. Обмотка якоря замкнута накоротко щітками  $b_1$  і  $b_2$ , тому, не зважаючи на незначну різницю потенціалів між щітками  $b_1$  і  $b_2$  (порядку 0,8—1,0 в), в обмотці якоря циркулюватиме значної сили струм. Цей короткозамкнутий струм викличе в якорі поперечний магнітний потік, який буде розміщений так, що біля щітки  $b_2$

він виходитиме з якоря, а біля щітки  $b_1$ —входитиме в якір. Утворюється таке становище, як коли б біля щітки  $b_2$  знаходився північний магнітний полюс, а біля щітки  $b_1$ —південний. Відносно цього потоку щітки  $B_1$  і  $B_2$  розміщені



Фіг. 14.

а—схема Розенберга; б—векторна діаграма; в—характеристика Розенберга

на нейтральній лінії. В обмотці якоря цей поперечний магнітний потік індуює е. р. с., що створює напругу на щітках  $B_1$  і  $B_2$ , від яких відходять зварювальні проводи.

При замиканні кола щіток  $B_1$  і  $B_2$  в обмотці якоря машини, крім короткозамкнутого струму, що протікає через щітки  $b_1$  і



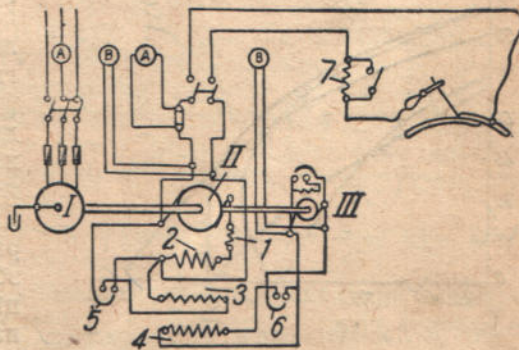
$b_2$ , з'являється робочий зварювальний струм. При замкнутому зварювальному колі з'являються ще два магнітні потоки — магнітний потік полюсів і магнітний потік реакції якоря, збуджуваний зварювальним струмом. Ці два магнітні потоки спрямовані назустріч один одному.

Величина короткозамкнутого струму в якорі залежить від різниці останніх двох магнітних потоків, що дуже важливо для саморегулювання генератора.

Коли сила зварювального струму збільшується в наслідок зменшення довжини дуги, різниця між магнітним потоком полюсів і потоком реакції якоря зварювального струму зменшується, значить, зменшується короткозамкнений струм в якорі, що в свою чергу веде до зменшення поперечного магнітного потоку, який створює напругу на щітках  $B_1$  і  $B_2$ , а звідси, як наслідок, і до зменшення зварювального струму. На фіг. 14б для ясності дана діаграма магнітних потоків машини. На цій діаграмі  $\Phi_n$  — поперечний магнітний потік короткозамкненого струму,  $\Phi_M$  — магнітний потік магнітних полюсів,  $\Phi_C$  — магнітний потік, породжуваний в якорі зварювальним струмом. Як видно з діаграми, потоки  $\Phi_M$  і  $\Phi_C$  спрямовані в протилежні сторони, і їх різниця обумовлює собою напругу машини, а, значить, і силу зварювального струму.

На фіг. 14в дано характеристики генератора Розенберга. Спочатку, із збільшенням навантаження, напруга машини дещо підвищується до певного максимуму, після чого починає спадати. Пояснюється це тим, що як тільки починає проходити зварювальний струм через обмотку збудження, різниця між потоками  $\Phi_M - \Phi_C$  додається до залишкового магнетизму полюсів, що і збільшує посплідовно короткозамкнений струм, поперечний потік  $\Phi_n$  і напругу на щітках  $B_1$  і  $B_2$ . Потім настає рівновага між  $\Phi_M$  і  $\Phi_C$ , і напруга спадає.

Порівняння описаних схем. Всі розглянуті схеми з погляду статичних характеристик задовольняють вимогу спадаючої характеристики, і в цьому відношенні їх можна використати для зварювання. Щодо їх динамічних властивостей, то в машинах з розмагнічуючою дією протикомпаундних обмоток спостерігається значна інертність. Пояснюється це тим, що при короткому замиканні магнітний потік машини знищується цілком або майже цілком. При відновленні довжини дуги для підвищення напруги повинен зно-



Фіг. 15. Схема зварювального генератора СМ



вУ виникнути магнітний потік машини, що і відбувається протягом певного проміжку часу, більшого, ніж то вимагається режимом нормального зварювання.

В машинах з використанням реакції якоря (Розенберг, Джіі) при коротких замиканнях магнітний потік не знищується, завдяки чому вони мають меншу інертність і кращі динамічні властивості.

## § 9. Однопостові генератори постійного струму заводу „Електрик“

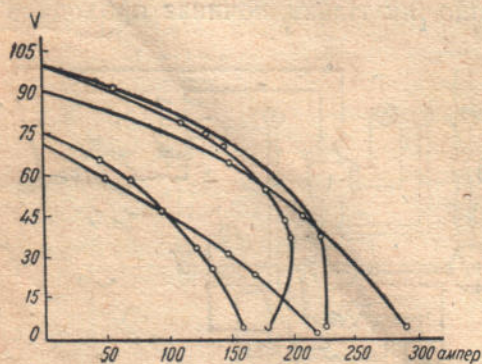
Машини типу СМ. Перші зварювальні машини, випущені заводом „Електрик“, позначались марками СМ-1, СМ-2 і СМ-3. Ці машини, які вже кілька років не виготовляються, являли собою умформери (перетворювачі), що склалися з мотора, зварювального генератора і збудника.

Зварювальний генератор має схему Кремера. Загальна схема зварювального умформера типу СМ дана на фіг. 15. На схемі I—мотор трифазного струму, II—зварювальний генератор, III—збудник, 1—обмотка додаткових полюсів зварювального генератора (для поліпшення комутації струму), 2—протикомпундна, 3—шунтова, 4—обмотка незалежного збудження, 5—реостат в колі шунтової обмотки, 6—реостат в колі обмотки незалежного збудження, 7—стабілізатор.

Як видно із схеми, всі три машини сполучені одним валом. В дійсності вал мотора сполучений з валом генератора муфтою.

Регулювання зварювального режиму здійснюється реостатами 5 і 6, з яких перший називається регулятором напруги, а другий—регулятором струму.

Збудник є шунтовою динамомашиною невеликої потужності, що живить обмотку незалежного збудження зварювального генератора. Шунтова обмотка збудника має свій регуляційний реостат, яким можна змінювати напругу збудника, тим самим діючи через обмотку незалежного



Фіг. 16. Дослідні статичні характеристики зварювальних генераторів СМ

збудження на напругу зварювального генератора.

Технічні дані генераторів СМ наведені в табл. 3.

Статичні характеристики машини СМ, зняті дослідним способом, подані на фіг. 16. Різну форму кривої можна мати, комбінуючи регулювання тим або іншим регулятором.

Для поліпшення динамічної характеристики машини СМ роблять із стабілізаторами. Стабілізатор являє собою індукційну котушку, яка вмикається послідовно в зварювальне коло. Дія



Тип	Максимальні значення			Число оборотів за хвилину	Потужність мотора, к. с.	Вага генератора, кг	Примітка
	сили струму в амперах		робочої напруги в вольтах				
	при зварюванні	при тривалому навантаженні					
СМ-1	200	150	35	1430	10	340	Максимальний струм при зварюванні вказаний для нормально го зварювального режиму при роботі з перервами (ручне зварювання).
СМ-2	300	200	60	1450	28	580	
СМ-3	600	460	65	1450	55	980	

індукційної котушки полягає в наступному. При проходженні струму через котушку в ній з'являється сильне магнітне поле, яке ще дужче збільшується в наслідок наявності всередині котушки залізного осердя. Коли по котушці йде струм постійної сили, магнітне поле також залишається сталим і ніякого впливу на силу струму, що проходить, не робить. Якщо ж величина струму з якоїнебудь причини починає змінюватися, змінюється і магнітне поле, що пронизує своїми магнітними силовими лініями витки котушки. За законом індукції у витках в цей момент індуюється е. р. с. самоіндукції, напрям якої такий, що вона протидіє зміні сили струму в обмотці котушки: якщо струм зменшується, напрям е. р. с. самоіндукції збігається щодо напрямку з напругою машини і прагне підтримувати відрегульовану силу струму; якщо ж струм збільшується, напрям е. р. с. самоіндукції буде супротивний напрузі машини, і вона прагнучиме знизити силу струму. Таким чином індукційна котушка надає зварювальному колу ніби свого роду інерцію, яка вирівнює поштовхи струму і зменшує його коливання, поліпшуючи динамічну характеристику машини.

Стабілізатор міститься на фундаментній плиті, між мотором і генератором, під сполучною муфтою вала.

Коли немає потреби в стабілізаторі (наприклад при гарячому зварюванні або електрорізанні), його вимикають із зварювального кола шунтуванням перемичкою.

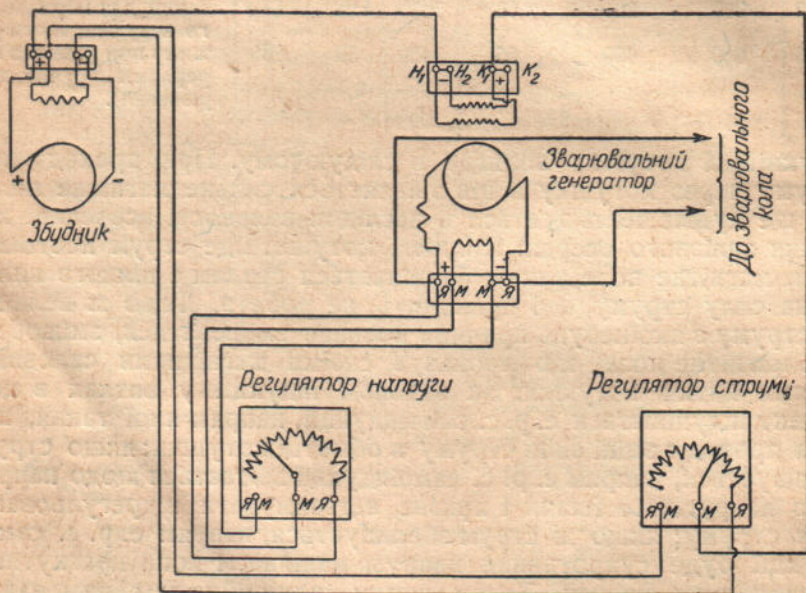
Регулюючі реостати і вимірні прилади (амперметр і вольтметр) містяться в спеціальному залізному ящику, поставленому звичайно поблизу машини або навіть на машині на спеціально для цього зроблений рамі з кутового заліза. Звичайно в цьому самому ящику поміщається перемикач штепсельного типу для зміни полюсів зварювального кола.

Зварювальні генератори СМ-1, СМ-2 і СМ-3—стаціонарні, тобто їх установлюють на фундаменті. Другою маркою зварювальної машини заводу „Електрик“ була СМ-12. Своєю потужністю ця машина цілком рівноцінна машині СМ-2. Відмінність



полягає в тому, що машини СМ-12 мають зварний сталний корпус, тоді як у СМ-2 корпус литий. Крім того, машина СМ-12 закритої конструкції, і всі клеми виведені на верх корпуса. Схема генератора СМ-12 така сама, як і у генератора СМ-2. Реостат у колі шунтової обмотки збудника був усунутий, бо практика показала, що потреби в ньому при регулюванні немає.

Повна монтажна схема зварювального генератора СМ-12 подана на фіг. 17. Збудник розрахований на напругу 110 в. Обмотка незалежного збудження зварювального генератора має



Фіг. 17. Монтажна схема генератора СМ-12

дві послідовні вітки, які можна сполучати паралельно або послідовно.

При живленні обмотки незалежного збудження від збудника (110 в) пластинки на борновій дошці повинні сполучати клеми  $H_1$  з  $H_2$  і  $K_1$  з  $K_2$  (як показано на монтажній схемі фіг. 17).

Якщо в цеху або в майстерні є сітка постійного струму, то збудника може і не бути, і обмотку незалежного збудження можна живити безпосередньо від сітки. Якщо сітка постійного струму напругою 220 в, то на борновій дошці обмотки незалежного збудження треба сполучити (її дві вітки) послідовно, для чого клеми  $H_2$  і  $K_1$  треба сполучити між собою пластинками і до клем  $H_1$  і  $K_2$  приєднати кінці від сітки.

Завод „Електрик“ випустив також машину СМК-3 за схемою Кремера. Своєю потужністю—це та ж сама машина СМ-3, відмінна від неї зварним корпусом і можливістю простим пере-



миканням на борновій дошці перетворити її з однопостової машини на многопостову. Перемикання машини на многопостове зварювання (тобто для роботи на кілька дуг через баластні реостати) полягає у від'єднанні протикомпаундної обмотки, для чого плюсовий кабель зварювального струму приєднується не до затиску  $+Я$ , а до затиску  $+ЯР$ .

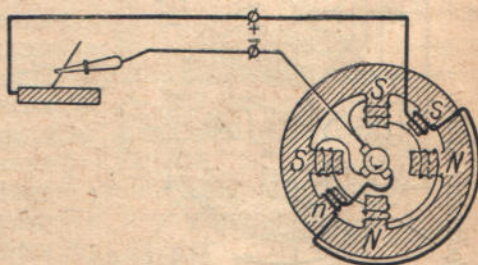
Машина за схемою Модслея. За схемою Модслея завод „Електрик“ випустив машину під маркою СМ-32. Ця машина розрахована на тривале навантаження 250 а і годинне 310 а при напрузі 45 в.

Обмотка незалежного збудження живиться так само, як і в раніше описаних машин, від спеціального збудника. Регулювання струму здійснюється тільки одним реостатом, увімкнутим в обмотку незалежного збудження.

Машини типу СМГ. Машини СМ мають цілий ряд хиб, з яких головними є не зовсім задовільна динамічна характеристика (вона не дає достатньо стійкої дуги), складність регулювання і вмикання машини, а також наявність збудника, що є причиною частих несправностей машини. Все це примусило завод „Електрик“ шукати більш досконалого типу машини. Як така машина була прийнята схема Джіі. Машини за схемою Джіі випускаються двох марок—СМГ-1 і СМГ-2.

Принцип роботи машин за цією схемою описано вище.

Схема сполучень машини СМГ-1 дана на фіг. 18. В принципі ця схема подібна до зображеної на фіг. 13; відрізняється вона від останньої відсутністю додаткової обмотки на головних полюсах. В машині



Фіг. 18. Схема машини СМГ-1

СМГ-1, як в усіх типах зварювальних машин, є додаткові полюси для поліпшення комутації струму, бо при відсутності їх буває сильне іскріння щіток.

Зварювальний струм в машинах СМГ-1 регулюється пересуванням щіток по обводу колектора. Відомо, що при зміщенні щіток з нейтралі змінюються величина і напрям поздовжнього потоку реакції якоря, який в одному випадку підсилює основний магнітний потік полюсів, а в другому—ослаблює, змінюючи тим самим величину е. р. с. генератора. При зміщенні щіток з нейтралі в сторону обертання якоря поздовжній потік реакції якоря зменшуватиме магнітний потік полюсів, і зварювальний струм зменшуватиметься; при зміщенні щіток проти обертання якоря сила зварювального струму збільшуватиметься.

Щітки по колектору пересуваються за допомогою обертання спеціальної ручки, що передає обертання траверсі.



Генератор СМГ-1 розрахований на номінальне годинне навантаження 200 *a* при напрузі в 25 *v*. При тривалому навантаженні генератор може давати струм в 150 *a*. Напруга при холостому ході дорівнює 65 *v*.

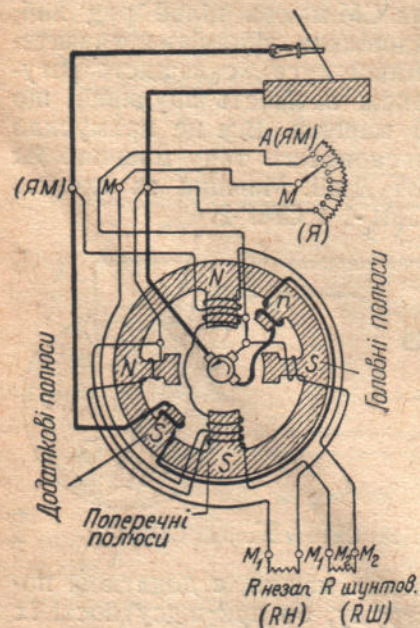
Зсуванням щіток силу струму генератора СМГ-1 можна регулювати в межах 90–230 *a*. Регулювання за цими межами веде до сильного іскріння колектора. Щоб мати струми менші 90 *a*, послідовно з дугою треба вмикати баластний реостат.

Зварювальний агрегат СМГ-1 установлюють на фундаменті. На генераторі є дошка з амперметром і вольтметром.

Завдяки тому, що в машині СМГ-1 немає регуляційних реостатів і збудника, монтажна схема машини дуже проста, і вмикання генератора полягає в приєднанні до борнів машини двох зварювальних кабелів. Трифазний мотор агрегата вмикається звичайним способом.

Машини СМГ-2 побудована за тим самим принципом, що і машина СМГ-1. Схема машини СМГ-2 трохи відрізняється від схеми СМГ-1.

Як видно із схеми (фіг. 19), на одній парі полюсів, крім обмотки, що живиться від головної і допоміжної щіток, яку можна назвати незалежною обмоткою, є ще шунтова обмотка, що живиться від головних щіток. Завдяки шунтовій обмотці характеристика машини матиме крутіший вигляд, бо при збільшенні зварювального струму напруга на головних щітках спадає, внаслідок чого зменшується сила струму в шунтовій обмотці, і магнітний потік убуває інтенсивніше, ніж у генераторі СМГ-1.



Фіг. 19. Схема сполучень машини СМГ-2

Для збільшення магнітного насичення пара полюсів, яка підмагнічується потоком реакції якоря, має вирізи, що зменшують поперечний переріз заліза полюсів.

Зварювальний струм можна регулювати двома способами: пересуванням щіток по колектору (як у СМГ-1) і реостатами, увімкненим в коло обмотки незалежного збудження (що живиться від головної і допоміжної щіток).

Регулювати слід так: реостатом регулювати струм від 110 *a* і вище при середньому положенні щіток (біля червоної риски). Для одержання струму нижче 110 *a* слід пересунути щітки в сторону обертання якоря. В цьому випадку можна мати струм



від 75 а і вище, діючи реостатом. Взагалі регулювати струм слід реостатом і тільки при мінімальних і максимальних значеннях струму регулювати пересуванням щіток.

Для поліпшення динамічних властивостей генератора в коло обмоток збудження увімкнені додаткові нерегульовані опори: у шунтову обмотку увімкнено 5 ом і в обмотку незалежного збудження 3 ома. В машинах СМГ-2 випуску 1935 р. додаткового опору в обмотці незалежного збудження немає.

Нааявність регуляційного реостата дає можливість регулювати зварювальний режим далеко від машини, поміщаючи регуляційний реостат безпосередньо біля місця зварювання.

Генератор СМГ-2 розрахований на годинне навантаження 310 а при напрузі 40 в і тривалі 250 а; напруга холостого ходу—70—75 в.

Генератор СМГ-2, як і генератор СМГ-1, установлюють на фундаменті. Останнє виконання машин типу СМГ-2 має позначення СМГ-26. Схеми машин типів СМГ-2 і СМГ-26 відмінні тим, що друга обмотка збудження поперечних полюсів у схемі СМГ-2 приєднана як шунтова обмотка; в її коло увімкнений постійний опір. В схемі ж СМГ-26 друга обмотка збудження поперечних полюсів замінена обмоткою, увімкненою послідовно з обмоткою головних полюсів. В кола цих обмоток постійний опір не вмикається.

Пересувний зварювальний умформер СУГ-2. Зварювальний умформер СУГ-2 складається із зварювального генератора і електродвигуна трифазного струму, посаджених на загальний вал і вміщених у загальний корпус. Корпус умформера захищеної конструкції посаджений на три колеса. Переднє коло має дишло, за яке умформер можна пересувати.

Зварювальний генератор умформера СУГ-2 має таку саму схему, що і генератор СМГ-26. Регулювання зварювального струму здійснюється пересуванням щіток по колектору і реостатом, увімкненим в обмотку збудження.

Відповідно до трьох положень щіток на колекторі є три діапазони регулювання. Струм в межах кожного діапазона регулюється реостатом. Реостат розміщений зверху, на корпусі умформера. Ручка для пересування щіток по колектору пропущена крізь передню кришку умформера.

Умформер СУГ-2 виконується в двох варіантах—СУГ-2а і СУГ-26. Технічні дані умформера наведені в табл. 4.

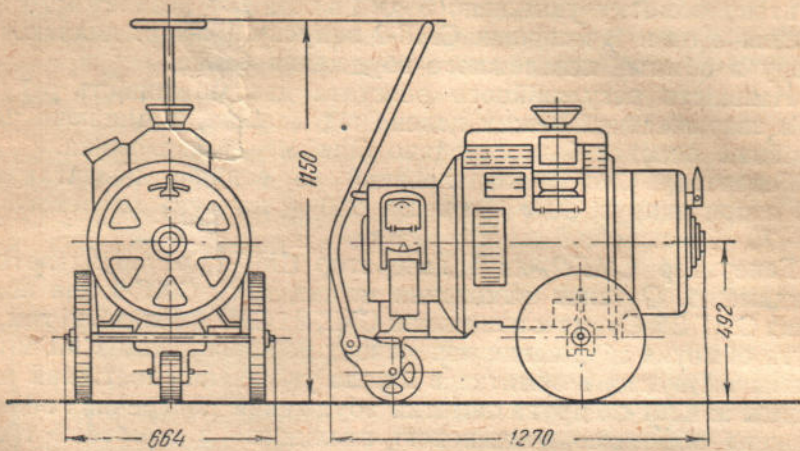
Таблиця 4

Тип умформера	Номинальні напруги в вольтях	Генератор			Електродвигот			Вартість умформера к
		Номинальний струм а			потужність в	нап. уга в	обороти за хвилину	
		тривалі навантаження	повторно-коротко-часовий					
			50%	70%				
СУГ-2а	40	250	350	300	11,6	220	1430	550
СУГ-26	25	250	350	300	11,6	380	1430	550



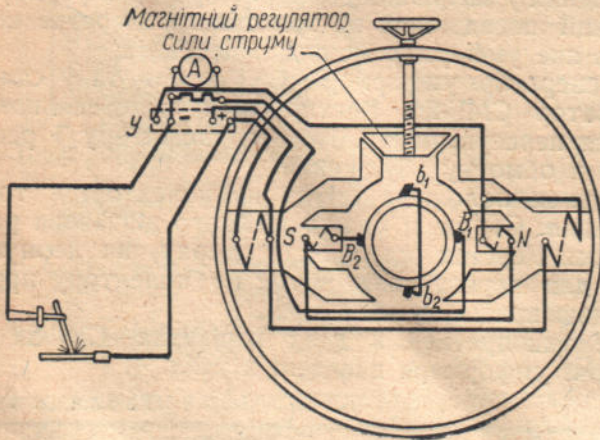
На фіг. 20 показаний умформер СУГ-26 з основними габаритними розмірами.

Пересувний зварювальний умформер СУП-1. Цей умформер складається з асинхронного мотора і зварювального генератора, побудованого за схемою Розенберга.



Фіг. 20. Умформер СУГ-26

Схема зварювального генератора дана на фіг. 21. Ця схема має деякі особливості порівняно із схемою на фіг. 14 в частині форми полюсів.



Фіг. 21. Схема генератора СУП-1

Як видно із схеми, з одного боку полюсні наконечники мають відростки, між якими поміщається пересувне осердя. Це осердя може переміщатися в радіальному відносно якоря напрямі за допомогою гвинта і маховичка, виведеного на кожух умформера. За допомогою цього

осердя регулюється зварювальний струм.

Якщо осердя наблизити до відростків полюсів, тобто зменшувати повітряні зазори між ними, то більша частина магнітного потоку  $\Phi_M$  проходитиме повз якір через відростки і рухоме осердя (магнітний шунт). З другого боку, магнітний потік  $\Phi_C$  (потік зварювального струму) збільшуватиметься, бо магніт-



ний опір на його путі зменшується. Отже, результуючий магнітний потік ( $\Phi_M - \Phi_C$ ) зменшується, і сила зварювального струму спадає. Навпаки, при підйманні осердя, тобто при збільшенні повітряних зазорів, сила зварювального струму збільшуватиметься, бо більша частина магнітного потоку  $\Phi_M$  піде через якір, а потік  $\Phi_C$  зменшиться, тобто результуючий потік ( $\Phi_M - \Phi_C$ ) збільшиться.

В середині полюсних башмаків зроблені додаткові полюси, вісь яких збігається з лінією головних щіток. Потік додаткових полюсів компенсує потік якоря в зоні секцій якоря, які коротко замикаються головними щітками, що цілком усуває іскріння щіток.

Обмотки додаткових полюсів і основних полюсів сполучені послідовно. На клемовій дошці генератора є чотири клеми. Плюсових клем дві. Крайня плюсова клема використовується для зварювання на нормальних силах струму. При приєднанні зварювального кола до цієї клеми працюють всі обмотки збудження.

Друга плюсова клема використовується при роботі на малих силах струму. При приєднанні зварювального кола до цієї клеми частина витків обмотки збудження, розташованих на лівому полюсі, не працює, бо струм від точки 4, минувши витки, йде до плюсової клеми малих сил струмів і далі в зварювальне коло.

Необхідність вимикати частину обмотки збудження при роботі на малих силах струму впливає ось з чого. Напруга холостого ходу генератора обумовлюється величиною потоку залишкового магнетизму. Для одержання малих сил струму довелося б рухоме осердя магнітного шунта дуже наближати до полюсів, що дало б можливість потокові залишкового магнетизму замикатися через рухоме осердя поза якорем. В наслідок цього напруга холостого ходу була б дуже низька, що утруднювало б запалювання дуги при роботах на малих силах струму.

При паралельній роботі двох або кількох генераторів клеми у всіх генераторів сполучають між собою проводом перерізом 10—16 мм<sup>2</sup>. Це треба робити і в тому випадку, коли два або кілька генераторів працюють на один виріб (корпус судна, котел і ін.).

Умформер СУП-1 розрахований на 150 а при тривалому навантаженні, при повторно-короткочасовому режимі 50%—на 230 а і при 70%—на 180 а.

Потужність мотора—10 кв. Вага агрегата 350 кг.

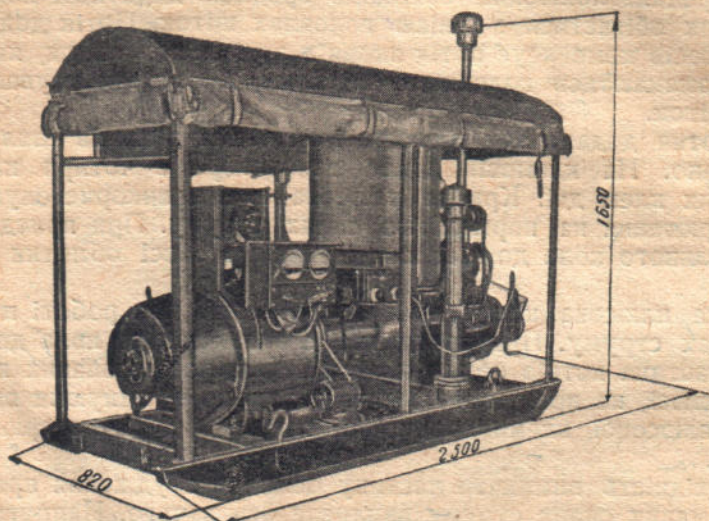
Зварювальні агрегати з двигунами внутрішнього згорання САК-2. Агрегат цього типу складається з бензинового двигуна ГАЗ-К і зварювального генератора СМГ-2.

Загальний вигляд умформера і його основні габаритні розміри подані на фіг. 22.

Агрегат САК-2 належить до типу пересувних. Скоси на кінцях поздовжніх балок рами під кутом 35° дають можливість



підкладати під раму котки з дводюймових труб для перекошування агрегата всередині цеху або двору; при цьому користуються вушками, привареними з двох боків рами для підв'язування троса. Якщо треба перевозити агрегат на значні віддалі, його можна установити на візку, для чого в нижніх полицях позовжніх балок є отвори для кріплення агрегата до підлоги візка. Повна вага агрегата—1100 кг.



Фіг. 22. Загальний вигляд умформера САК-2

Крім зварювального агрегата з двигуном внутрішнього згорання САК-2, завод „Електрик“ випускає агрегати САТ-2, які являють собою пересувний агрегат з генератором СМГ-2, влаштованим в шасі вантажного автомобіля, з приводом від двигуна автомобіля. Агрегат типу САТ-2 являє собою зварювальний генератор СМГ-2, змонтований на тракторі. З двигуном трактора генератор сполучений за допомогою карданного вала АМО-3 і додаткової зубчастої передачі в коробці скоростей. Загальний вигляд агрегата САТ-2 подано на фіг. 23.

Для залізничних шляхів призначається агрегат типу АСЭД-2, що являє собою агрегат типу САК-2, установлений на дрезині. Для пересування дрезини служить спеціальний електромотор, що живиться від зварювального генератора типу СМГ-2.

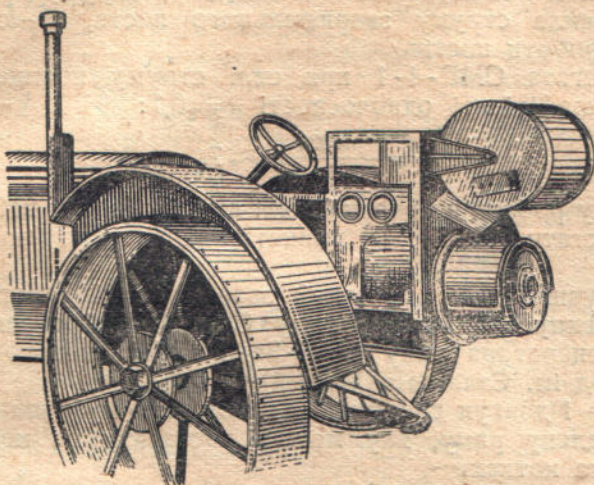
## § 10. Многопостові зварювальні машини заводу „Електрик“

Всі описані машини (за винятком машини СМК-3) належать до типу однопостових, тобто до таких машин, від яких може працювати тільки один зварювальник. Це виходить з того, що напруга однопостових машин не постійна, а залежить від довжини дуги. Тому при роботі на дві дуги при короткому замиканні однієї дуги друга дуга гаснутиме, і сумісна робота



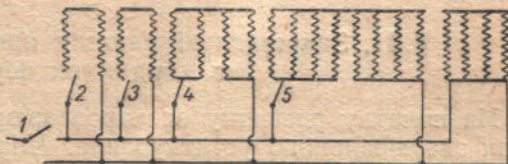
буде неможлива. Крім того, потужність однопостових машин розрахована на живлення тільки однієї дуги.

Многостові зварювальні машини призначаються для одночасної роботи кількох зварювальників. Напряга многостової машини стала і дорівнює 50—60 в. Досягається це тим, що генератор многостового агрегата—компаундного збудження.



Фіг. 23. Зварювальний агрегат типу САТ-2

Вмикати дугу безпосередньо до затисків генератора не можна, бо генератор не має спадаючої характеристики, тому пости до многостових агрегатів вмикаються через реостати. Кожний зварювальник працює через окремий реостат, який уберігає машину від коротких замикань, вбирає частину напруги машини, підтримуючи на дузі потрібну напругу залежно від довжини дуги. За допомогою реостата регулюється також сила зварювального струму.



Фіг. 24. Схема реостата РНС-200

Завод „Електрик“ випускає многостові машини типу СМГ-3, на 500 а, СМГ-4 і СМГ-4-1 на 1000 а і СМГ-5 на 1500 а. Всі вони компаундного збудження.

До многостового генератора виготовляються баластні реостати типу РНС-200 і РНС-250. Для регулювання сили струму реостат має п'ять рубильників, за допомогою яких можна дістати 16 перемикачів. На фіг. 24 дана схема реостата РНС-200.

Комбінації вмикання рубильників і сили струму, які одержують при цьому, подані в таблиці, вміщеній на реостаті.



Вмикаючи окремі рубильники і комбінуючи їх номери, можна змінювати силу струму в межах 45—210 а.

Кількість постів, яку можна увімкнути до одного генератора, визначається за формулою:

$$n = \frac{I}{i \cdot \kappa},$$

де  $n$ —кількість постів,  $I$ —номінальна сила струму генератора,  $i$ —середня сила струму зварювального поста,  $\kappa$ —коефіцієнт одночасної роботи постів.

Для агрегата СМГ-4-1 при силі струму кожного поста  $i = 200$  а і коефіцієнті одночасності  $\kappa = 0,7$ :

$$n = \frac{1000}{200 \cdot 0,7} \approx 7.$$

У випадку роботи на великій силі струму (понад 210 а) доводиться реостати РНС-200 вмикати паралельно по два на один пост.

Як пересувний многопостовий зварювальний агрегат завод „Електрик“ випускає машину типу САЗ-3. Цей агрегат складається з генератора типу СМГ-3а-1 і бензинового двигуна ЗИС-5 (завод ім. Сталіна в Москві).

Генератор і двигун сполучені еластичною муфтою і поставлені на загальну раму, яку можна поставити на колеса або пересувати на котках.

Генератор — закритої конструкції на шарикопідшипниках. В табл. 5 наведені технічні дані САЗ-3.

Таблиця 5

Потужність в кіловатах	Номінальна напруга в вольтах	Номінальний струм в амперах	Число оборотів за хвилину	Потужність бензинового двигуна к.с.
25	50	500	1600	74

## § 11. Зварювальні машини постійного струму закордонних фірм

На початку розвитку електрозварювання в СРСР відчувався брак зварювального устаткування. Через це довелось імпортувати електрозварювальні машини. Ці машини ще не амортизувалися, і зварювальникам доводиться часто мати з ними справу. Тому тут ми розглядаємо машини двох фірм, найбільш поширені на наших підприємствах.

**Машини Сіменс-Шуккерт.** Фірма Сіменс-Шуккерт випустила однопостові зварювальні апарати двох потужностей:

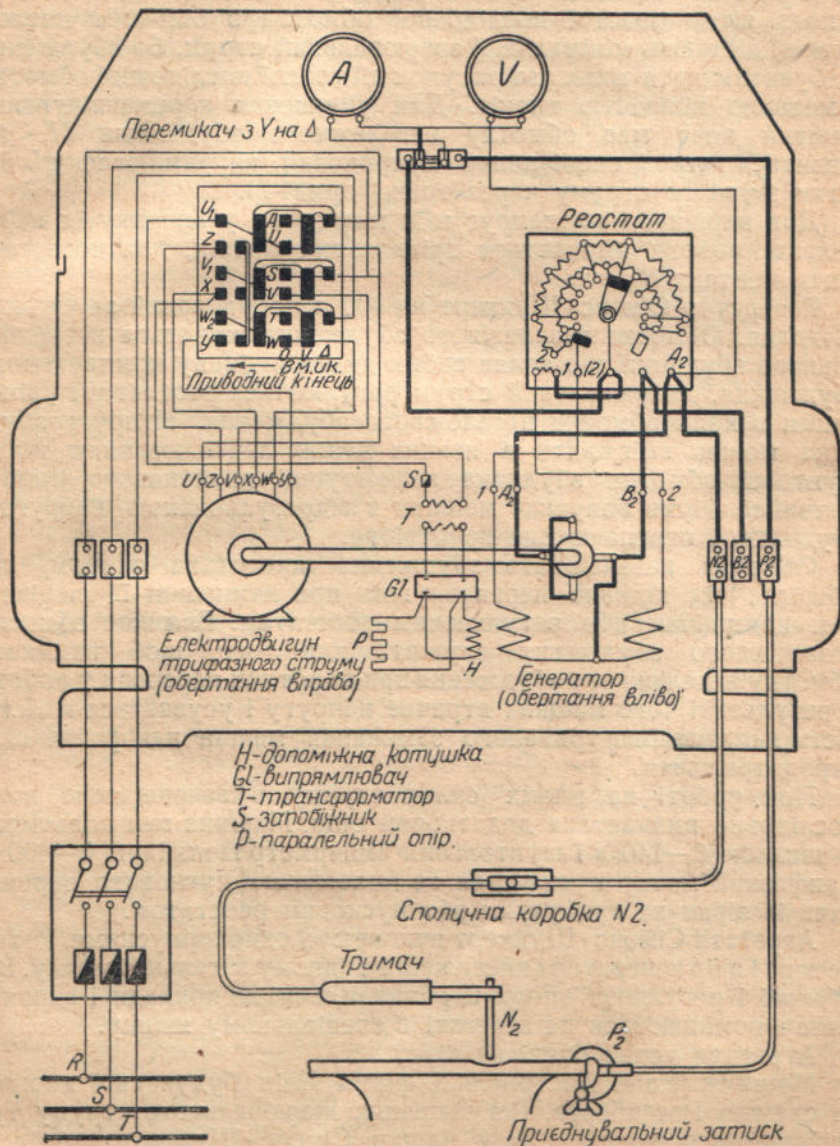
- 1) LSDK = 200/1500,
- 2) LSDK = 300/3000

Перша марка розрахована на силу зварювального струму до 200 а, друга—до 300 а.

На фіг. 25 дана схема агрегата LSDK, на силу зварювального струму до 200 а з приводом від трифазного двигуна. Зва-



рювальний генератор має схему Розенберга. Послідовна обмотка збудження має дві паралельні вітки різного перерізу і з різним числом витків (затиски 1 і 2).



Фіг. 25. Схема машини Сіменс-Шуккерт типу LSDK

Послідовно з обмоткою, що має великий переріз і велике число витків, вмикається регулюючий реостат з нульовим контактом. Вмикаючи більший або менший опір реостата, змінюють



число витків збудження, а значить, і зварювальний струм. Пересуваючи ручку реостата в крайнє ліве положення, дістають максимальний зварювальний струм. Пересуваючи ручку реостата на холостий контакт (крайнє праве положення) і вимикаючи з кола вітку товстої послідовної обмотки з більшим числом витків, дістають мінімальний зварювальний струм, бо збудження відбуватиметься тільки за рахунок дії тонкої послідовної обмотки з меншою кількістю витків. Для уникнення перемагнічування машини вона має обмотку незалежного збудження  $H$ , що живиться через спеціальний купроксний випрямлювач  $gl$  від сітки змінного струму через трансформатор.

Для вирівнювання напруг між машинами у випадку їх паралельної роботи вмикається зрівняльний провід, для чого слухить контакт  $B_2$ .

Генератор Сіменс - Шуккерт на 300 а побудований за схемою Модслея. Обмотка незалежного збудження живиться від спеціального збудника, що являє собою динамомашину компаундного збудження. Зварювальний струм регулюється реостатом, увімкненим в коло обмотки незалежного збудження. Напругу збудника можна змінювати в певних межах перепаюванням кінця шунтової обмотки збудника на котушці додаткового опору. Звичайно фірма випускає машини з відрегульованою напругою збудника, і перепаювання непотрібне.

Обмотка незалежного збудження шунтована опором, що уберігає від пробою перенапругою при вимиканні її спеціальним вимикачем або регулюючим реостатом. Вимикач обмотки незалежного збудження служить для того, щоб вимикати обмотку незалежного збудження при коротких перервах у роботі, в результаті чого машина втрачає напругу і усувається можливість випадкового тривалого замикання машин накоротко електродотримачем.

При роботі на малих силах струму в зварювальне коло послідовно вмикається додатковий опір. Машина має вольтметр із шкалою 0—140 в і шунтований амперметр із шкалою 0—400 а. Трифазний мотор пускається за допомогою пускового перемикача із зірки на трикутник або пусковим реостатом.

Агрегати Сіменс - Шуккерт виконують однокорпусними. Ротор мотора і якір генератора насаджені на одному загальному валу. Всі пускові і регулюючі опори, перемикач, вимірні прилади і випрямлювач поміщаються на агрегаті в спеціальному ящику.

Агрегати установлені на візку.

**Машини Елін.** Австрійська фірма Елін будує свої машини за схемою Розенберга. Регулювання зварювального струму тут здійснюється інакше, ніж у машин Сіменс - Шуккерт.

Полюси конструктивно виконані, як показано на фіг. 14. Вони складаються з порожнистого циліндра, в який вгвинчується масивне залізне осердя.

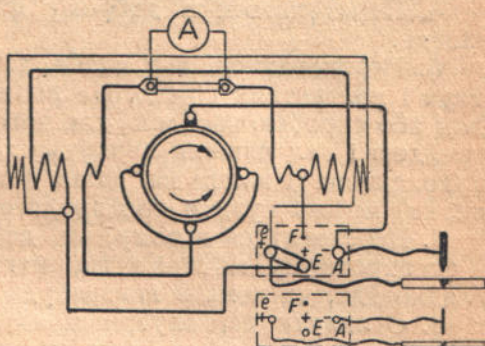
Якщо осердя обох полюсів вгвинчені довідказу, то магнітний потік полюсів і сила зварювального струму максимальні. Якщо



осердя вигвинчені довідказу, то магнітний потік полюсів має мінімальну величину, бо насичення заліза полюсів і магнітний опір кола полюсів досягають максимуму. Сила зварювального струму при цьому буває мінімальна.

Переміщаючи рухомі осердя полюсів в проміжні положення, можна плавно регулювати силу зварювального струму в межах від мінімального до максимального значення.

Схема машини Елін дана на фіг. 26. За цією схемою виконуються машини марки RF-97, 137, 182. При роботі на великих силах струму на клемовій дошці ставиться перемичка між затисками *e* і *E*. При роботі на малих силах струму перемичку знімають; в цьому випадку працює тільки одна тонка обмотка збудження. При роботі на великих силах струму ця обмотка перемичкою між контактами *e* і *E* замкнена сама на себе.



Фіг. 26. Схема машини Елін.

У випадку паралельного вмикання машин ставиться зрівняльний провід між контактами *F*.

## § 12. Правила догляду і обслуговування зварювальних машин постійного струму

Правильний догляд і обслуговування зварювальних машин гарантують тривалий строк роботи машини, відповідну якість зварювання і зменшують витрати на ремонт машини. Тому обслуговний персонал повинен забезпечити грамотний нагляд за машиною.

Звичайно у великих цехах з великою кількістю зварювальних машин догляд за машинами доручається спеціальним електрикомонтажерам; а там, де є одна-дві зварювальні машини, їх обслуговує сам зварювальник.

Підготування машини до першого запуску. Звичайно машину перед випуском із заводу перевіряють в роботі і приставляють замовникові в готовому для пуску вигляді, за винятком необхідних приєднань, що здійснюються при монтажі машини. Проте, щоб уникнути можливих аварій, перед першим пуском зварювальної машини після її монтажу треба зробити їй генеральний огляд і підготувати до пуску. Для цього потрібно:

1. Очистити машину полотняною ганчіркою від бруду. Переконатися в тому, що в ній немає сторонніх предметів і продуктів всі частини машини від пилу (міхом або стисненим повітрям).



2. Промити гасом підшипники. Щоб добитися повної чистоти підшипників, треба пропускати масло через підшипники з відкритим нижнім спускним штуцером доти, поки воно стане виходити звідти зовсім світлим.

3. Залити в підшипники нормальну кількість чистого масла.

4. Переконаватися, що змащувальні кільця вільно обертаються.

5. Переконаватися в доброму стані колектора і контактних кілець.

6. Переконаватися, що щітки добре пришліфовані до колектора і контактних кілець. Це робиться або безпосереднім оглядом або спробою крейдою, для чого колектор і кільця натирають крейдою і вал машини прокручують. Після перенесення крейди з колектора і кілець на щітки (оглядають колектор, кільця і щітки) можна судити про прилягання щіток.

7. Переконаватися в тому, чи добре працює короткозамикач в асинхронному моторі з підійманням щіток—чи змазаний, чи гладко йде, чи нема в якихнебудь частинах заїдання.

8. Оглянути всі внутрішні сполучення в машині. Переконаватися в правильності і надійності їх і підтягти всі контактні гайки і болти.

9. Прокрутити кілька раз ротор машини в обидві сторони, щоб переконаватися в його вільному ході і в тому, що він ні за що не зачіпає.

Пуск в хід. Перш ніж вмикати рубильник мотора, треба переконаватися в тому, що пусковий реостат введений і контактні щітки прилягають до кілець. Потім повільно виводиться пусковий реостат,—мотор набирає нормальне число оборотів. Коли пусковий реостат повністю введений, контактні щітки підіймають спеціальним важелем, і кільця автоматично замикаються накоротко між собою. Після цього рукоятку пускового реостата слід поставити на пускове положення.

В деяких типах моторів немає пристрою для підіймання щіток з кілець. В цьому випадку щітки весь час роботи залишаються на кільцях, а ручка реостата—на останньому контакті.

В моторах з короткозамкнутим якорем пуск здійснюється простим вмиканням рубильника.

Догляд за машиною. Під час роботи машини колектор кілька раз на день треба протирати сухою полотняною ганчіркою, перед пуском і після зупинення машини—полотняною ганчіркою, змоченою бензином.

Раз на два тижні або на місяць треба шліфувати колектор тонким скляним папером, закріпленим на дерев'яній колодці, що має виїмку, яка відповідає циліндричній поверхні колектора.

Раз на тиждень треба провадити огляд всього щіткового апарата і щіток. Щітки, які спрацювалися і розкололися, слід замінити новими відповідної якості і марки. Найкращі щітки марки W-2. При установленні нових щіток їх треба добре притерти до колектора.



Раз на місяць треба промивати підшипники і замінити масло. У випадку надмірного нагрівання підшипників негайно треба замінити масло.

Раз на місяць провадиться огляд всіх сполук кабелів і чистка контактів реостатів.

Треба раз на добу продувати машину міхами або стиснутим повітрям, що особливо важливо, коли машина знаходиться в приміщенні, де багато пилу і сажі.

Визначення полярності машини. Якщо на борнах машини немає поміток  $+$  (плюс) і  $-$  (мінус), полярність можна визначити одним з таких способів:

1. Занурюють кінці проводів, сполучених з борнами машин, в слабкий розчин сульфатної кислоти. Біля кінця одного з проводників спостерігатиметься сильне виділення пухирків газу (водню). Це вказує на те, що провід приєднаний до негативного полюса машини.

2. Полюси машини приєднують до затисків полюсовказувача Ульмана. Із сторони негативного полюса рідина забарвлюється в рожевий колір. Полюсовказувач Ульмана являє собою скляну трубку, наповнену розчином натрій-сульфату з 1% розчину фенолфталеїну в спирті. З обох кінців трубочка закрита металічними кришечками із затисками для приєднання проводів.

3. Полярність легко визначити за допомогою вугільного електрода, який при вмиканні на мінус дає з металом, приєднаним до плюса, дуже еластичну спокійну дугу. При супротивному вмиканні дуга нестійка—гасне при невеликому здовженні її.

### § 13. Вимоги, які ставляться до зварювальних трансформаторів

Змінний струм відрізняється від постійного наявністю періодичних змін напряму і величини. Змінний струм у силових і освітлювальних сітках нашої промисловості змінює свій напрям 100 раз на секунду, стільки ж раз на секунду досягаючи мінімального і максимального значення, роблячи за секунду 50 повних періодів (циклів), що відбуваються за законом синусоїди.

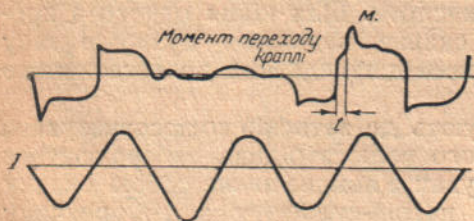
В дузі змінного струму крива сили струму зберігає приблизно синусоїдальну форму<sup>1</sup>, крива ж напруги зовсім порушується. На фіг. 27 показана крива зміни напруги на дузі (верхня крива) і сили струму (нижня крива). Точка *M* називається „напругою запалювання дуги“. Час переходу напруги від нульового значення до напруги, достатньої для повторного запалювання дуги, називається „часом відновлення дуги“. На кривій фіг. 27 він позначений буквою *t*. Для одержання стійкої і спокійної дуги час *t* повинен бути по можливості малим. Це впливає з того,

<sup>1</sup> Крива синусоїдальної форми показана на фіг. 27 знизу. Така крива називається синусоїдальною тому, що зміни, які відбуваються по цій кривій, пропорціональні синусові кута, що змінюється від 0 до 360°.

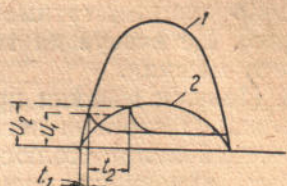


що горіння дуги залежить від стану катода, який встигатиме охолоджуватися тим більше, чим більший час  $t$ .

Час  $t$  зменшується із збільшенням напруги холостої роботи зварювального трансформатора. Це ясно видно з фіг. 28, де зображено дві синусоїди: 1—з великою амплітудою і 2—з меншою амплітудою. Для синусоїди 1 напруга запалювання буде  $U_1$  і час відновлення  $t_1$ . Для синусоїди 2 при тій самій напрузі запалювання час відновлення вже значно більший. Якщо прийняти до уваги, що при більшому часові  $t$  напруга запалювання потрібна більша, в наслідок більшого охолодження катода, то дійсний час відновлення буде ще більший. Запалювання дуги значно полегшується при значному зсуві фаз між напругою



Фіг. 27. Криві змінного струму



Фіг. 28. Криві напруги дуги змінного струму

і силою струму<sup>1</sup>, що звичайно має місце в зварювальних трансформаторах.

При малих силах зварювального струму втрата тепла катода буде відчутніша, ніж при великих силах струму, тому при малих силах струму час відновлення  $t$  бажано мати якомога менший. Вище вже говорилося, що це можливо при підвищеній напрузі холостої роботи. Тому „ідеальний“ зварювальний трансформатор повинен мати таку систему регулювання, яка дозволяла б мати напругу холостої роботи трансформатора при роботі на малих силах струму трохи вищу, ніж при роботі на великих силах струму.

При середніх силах струму (160—200 а) дуга легко запалюється і підтримується при холостому ході напруги трансформатора порядку 55—60 в. При невеликих силах струму порядку 60—70 а для кращої стійкості дуги бажано мати напругу порядку 70—80 в.

Підвищення напруги холостої роботи трансформатора небажане з двох причин: 1) збільшується небезпека ураження

<sup>1</sup> Зміни сили струму і напруги не завжди збігаються, тобто не завжди одночасно досягають максимального і мінімального значення. Коли сила струму і напруга досягають свого максимального і нульового значення в різні моменти часу, то кажуть, що струм і напруга не збігаються щодо фази або що між струмом і напругою є зсув фаз. Зсув фаз між струмом і напругою має місце при наявності в колі індукційних (котушки) або ємнісних (конденсатори) опорів. Зварювальний трансформатор разом з індукційним регулятором являє собою значний індукційний опір.



струмом зварювальника; 2) зменшується коефіцієнт потужності трансформатора, тобто  $\cos \varphi$ , бо наближено

$$\cos \varphi = \frac{U_d}{U_x},$$

де  $U_d$ —напруга дуги,  $U_x$ —напруга холостої роботи трансформатора.

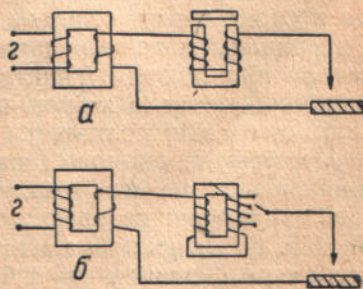
Вимоги, які ставляться до зварювальних трансформаторів, можна звести до таких: 1) збільшення сили струму при короткому замиканні проти робочого струму повинне бути якомога менше; 2) напруга холостої роботи не повинна бути вище 80 в; 3) коефіцієнт потужності ( $\cos \varphi$ ) трансформатора повинен бути по можливості більшим; 4) регулювання сили струму повинне бути по можливості в широких межах і достатньо плавне; 5) к. к. д. повинен бути найбільший.

#### § 14. Системи зварювальних трансформаторів однофазного струму

Трансформатор з окремою реактивною котушкою. Цей трансформатор являє собою нормальний знижуючий однофазний трансформатор, і по-спідовно з ним у вторинне (зварювальне) коло вмикається реактивна, або дросельна, котушка (фіг. 29).

Призначення реактивної котушки—знижувати напругу холостої роботи трансформатора до величини, потрібної для горіння дуги, і при короткому замиканні вольтової дуги цілком вбирати вторинну напругу трансформатора. Крім цих функцій, що створюють спадаючу характеристику, реактивна котушка виконує роль регулятора струму. Здійснити це можна двояким способом: зміною опору магнітопровода котушки і зміною кількості витків котушки.

Перший спосіб (фіг. 29 а) полягає в тому, що залізне осердя реактивної котушки роблять з двох частин: нерухомої, яка має на собі витки котушки, і рухомої частини, яка спеціальним гвинтом може наближатися і віддалятися від нерухомого осердя, змінюючи таким способом повітряний зазор між ними. Із збільшенням повітряного зазору магнітний опір магнітопровода котушки збільшується, магнітний потік зменшується, і значить, зменшується самоіндукція котушки і її індуктивний опір, а сила зварювального струму збільшується. При зменшенні повітряного зазору відбувається зворотне явище, тобто опір магнітопровода зменшується, магнітний потік збільшується, і значить, збіль-



Фіг. 29. Схема зварювального трансформатора з окремою реактивною котушкою



шується індуктивний опір котушки, а сила зварювального струму зменшується. Цим способом можна регулювати силу зварювального струму дуже точно і плавно.

Другий спосіб (фіг. 29 б) полягає в тому, що в коло за допомогою комутатора вмикається більша або менша кількість витків реактивної котушки, чим змінюється індуктивний опір, а значить, і сила зварювального струму. Цей спосіб менш зручний, бо сила струму регулюється ступенями.

Трансформатори із збільшеним магнітним розсіюванням. В трансформаторах цього типу спадаюча характеристика і регулювання зварювального струму відбуваються за рахунок магнітного розсіювання в самому трансформаторі.

Трансформатор, як відомо, являє собою залізне осердя (магнітопровід), на яке надягнуті дві обмотки—первинна і вторинна. Ці дві обмотки електричного сполучення між собою не мають і зв'язані тільки електромагнітним способом. Коли по первинній обмотці проходить змінний електричний струм, він викликає в осерді трансформатора змінний магнітний потік. Цей змінний магнітний потік, пронизуючи витки вторинної обмотки, індукціює в них е. р. с., яка є причиною появи струму у вторинному колі при його замиканні.

Коли по вторинній обмотці проходить електричний струм, він в свою чергу створює магнітний потік, який, взаємодіючи з первинним магнітним потоком, утворює в осерді трансформатора рівнодіючий магнітний потік. Цей, так званий, основний магнітний потік із зміною навантаження трансформатора майже не змінює своєї величини.

Частина первинного і частина вторинного магнітних потоків замикаються не по осердю трансформатора, а по повітрю. Ці магнітні потоки називаються магнітними потоками розсіювання. На фіг. 30 основний магнітний потік позначений  $\Phi$ , а магнітні потоки розсіювання— $\Phi_1$  і  $\Phi_2$ .

Магнітні потоки розсіювання змінюють свою величину пропорціонально навантаженню трансформатора. Величина магнітного розсіювання трансформатора обумовлює його індуктивний опір, що і використовується у зварювальних трансформаторах.

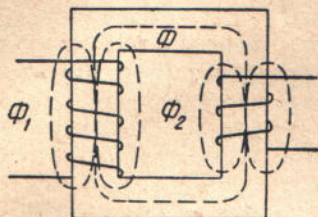
При збільшенні сили зварювального струму при короткому замиканні розсіювання трансформатора збільшується, індуктивний опір зростає, що і обмежує силу струму короткого замикання. Таким чином спадаюча характеристика в цього типу трансформаторів утворюється за рахунок магнітного розсіювання. Регулювання струму також здійснюється зміною величини магнітного розсіювання. Це виконується кількома способами.

Якщо зробити первинну котушку рухомою, то, змінюючи за допомогою маховичка віддалі між первинною і вторинною котушками, збільшують або зменшують магнітне розсіювання трансформатора, тобто зменшують або збільшують силу зварювального струму.

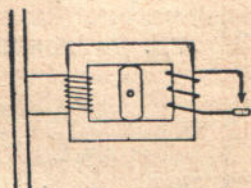


На фіг. 31 показано другий спосіб зміни потоків магнітного розсіювання. Тут збільшення або зменшення величини розсіювання відбувається за допомогою так званого магнітного шунта, який являє собою рухоме залізне осердя, вміщене між кернами трансформатора. При тому положенні цього шунта, яке показано на фіг. 31, магнітне розсіювання буде найбільше, а значить, сила зварювального струму найменша.

При горизонтальному положенні магнітного шунта розсіювання буде найменше, а сила зварювального струму найбільша.



Фіг. 30. Розподіл магнітних потоків у трансформаторі

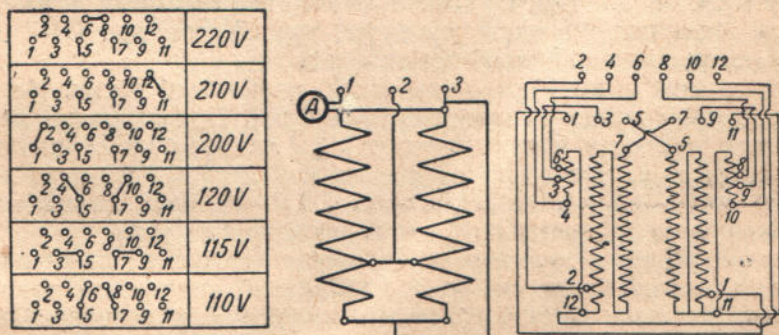


Фіг. 31. Схема зварювального трансформатора з магнітним шунтом

Проміжні положення обертowego осердя дають проміжні значення сили зварювального струму.

### § 15. Однопостові зварювальні апарати змінного струму

Ленінградський завод „Електрик“ випускає однофазні зварювальні трансформатори СТ-2. Цей апарат належить до



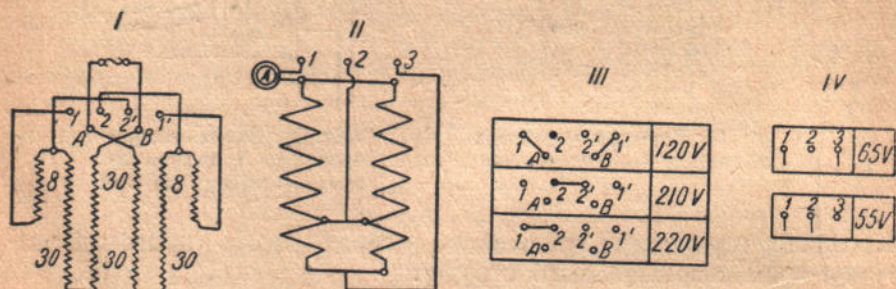
Фіг. 32. Схема обмоток трансформатора СТ-2

системи трансформаторів з окремою реактивною котушкою. Принципіальна схема цього трансформатора дана на фіг. 29 а. Детальні схеми сполучення котушок обмоток трансформаторів СТ-2 дані на фіг. 32 і 33. На фіг. 32 подана схема первинної



обмотки перших випусків трансформаторів заводу „Електрик“, а на фіг. 33—пізнішого випуску. Як видно з цих схем, первинна обмотка трансформатора складається з двох частин. Ці дві частини можна вмикати або послідовно або паралельно за допомогою виведених на борнову дошку відводів. За допомогою додаткових відводів частину витків можна зовсім виводити з кола. Це зроблено для того, щоб можна було використати трансформатор при різних напругах заводської сітки. Завдяки цим відводам є можливість комбінувати кількість первинних витків при різних напругах сітки так, що напруга вторинної сітки зберігається в усіх випадках незмінною.

Трансформатори більш раннього випуску мають на борновій дошці 12 клем. За допомогою переминок (фіг. 32) можна вмикати



Фіг. 33. Схема обмоток трансформатора СТ-2

кати трансформатор в сітку напругою 220, 210, 200, 120, 115, 110 в. Пізніше визнали зайвим таку варіацію напруг і залишили 120, 210, 220 в, перемикання для яких показані на фіг. 33 і здійснюються за допомогою шести клем. При напругах заводської сітки, відмінних від вказаних вище, трансформатори СТ-2 виготовляються на спеціальне замовлення.

Вторинна обмотка має також дві паралельні вітки. На борнову дошку виведено три кінці (фіг. 33). При вмиканні зварювальних проводів між затисками 1 і 2 напруга холостого ходу дорівнює 55 в, при вмиканні між затисками 1 і 3 напруга холостого ходу—65 в. Між затисками 2 і 3—напруга порядку 10 в (практичного застосування для зварювання не має).

Індукційний регулятор має залізне осердя з двох частин. Нижня частина нерухома, на якій насаджені котушки, і верхня—рухома частина осердя, що переміщується ввєрх і вниз за допомогою спеціального маховичка, який міститься зверху, на кришці регулятора. У нижній своїй частині він зроблений у вигляді гайки, яка нагвинчується на болт, закріплений у верхній рухомій частині осердя. Гайка має зовнішній кільцевий заплечик, що входить у виріз спеціальної втулки, пригвинченої до кришки регулятора. Такою будовою досягається переміщення болта ввєрх і вниз при обертанні маховичка залежно від напрямку цього



обертання: коли маховичок обертається за годинниковою стрілкою, осердя підійматиметься, бо болт вгвинчується в гайку, при зворотному обертанні осердя опускається.

Таким чином для збільшення сили струму треба повернути маховичок за годинниковою стрілкою, бо в цьому випадку в наслідок підіймання верхнього осердя повітряний зазор збільшиться, магнітний опір магнітопровода через це теж збільшиться, магнітний потік зменшиться, а значить, зменшиться і індуктивний опір регулятора, і сила зварювального струму зростає. При обертанні маховичка проти годинникової стрілки сила зварювального струму зменшуватиметься.

Для усунення вібрації від дії сильного змінного магнітного поля осердя укріплене двома стопорними болтами, розташованими по боках регулюючого маховичка. Болти загвинчуються в латунні гайки, які впресовані в нерухому частину осердя. Болти треба загвинчувати доти, поки вони упруться в нижнє осердя. Щоб уникнути перекосу осердя, болти треба загвинчувати одночасно, даючи їм однакове число оборотів.

На схемі апарата СТ-2 (фіг. 33) *I*—схема сполучення первинних котушок, *II*—схема сполучення вторинних котушок, *III*—вмикання трансформатора на різні напруги сітки, *IV*—вмикання трансформатора на різні напруги зварювального струму.

Трансформатор СТ-2 розрахований на максимальну силу струму 250 *a*. Трансформатор і регулятор мають природне повітряне охолодження.

При трансформаторах перших випусків є амперметри; амперметр поміщається в спеціально для цього зробленому вирізі кожуха. Вторинна напруга трансформатора завжди незмінна, і сила зварювального струму регулюється виключно зміною індукційного опору регулятора, тому у вольтметрі немає потреби.

Потужність апарата СТ-2—15 *квa*, к. к. д.  $\eta = 0,83$ , коефіцієнт потужності  $\cos \varphi = 0,4$  при середній силі зварювального струму 180 *a*. Вага трансформатора—близько 100 *кг*, вага регулятора—близько 80 *кг*.

Габаритні розміри трансформатора: висота 608 *мм*, довжина—570 *мм*, ширина—436 *мм*. Габаритні розміри регулятора: висота—684 *мм*, довжина—456 *мм*, ширина—309 *мм*.

Зварювальний апарат типу СТЭ-22 заводу „Електрик“ складається з трансформатора СТЭ-22 і індукційного регулятора (дроселя) РСТЭ-22. До нього додається осцилятор (див. § 17).

Індукційний регулятор РСТЭ-22 відмінний трохи по конструкції (а не за принципом) від регулятора СТ-2.

Зварювальний струм регулюється обертанням рукоятки А (фіг. 34), поміщеної збоку регулятора. При обертанні рукоятки А змінюється відносно розміщення рухомого осердя. Обмотка регулятора зроблена з неізольованих мідних витків з повітряними проміжками між ними.

Для збільшення зварювального струму рукоятку А треба обертати за годинниковою стрілкою, для зменшення—в проти-



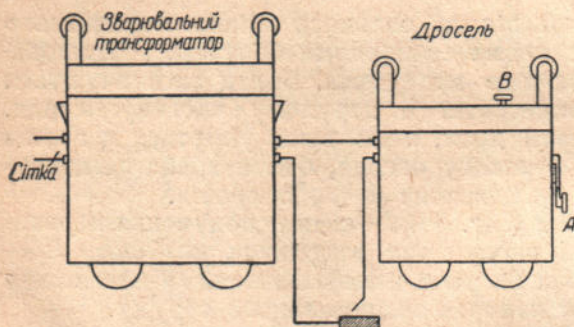
лежному напрямі. Маховичок *B* (фіг. 34), який знаходиться зверху регулятора, служить для затискування рухомого осердя, щоб уникнути його вібрації.

Перед обертанням рукоятки *A* треба раніше ослабити маховичком *B* затиск осердя.

На регуляторі є механічний вказівник сили струму. Покази сили струму проградуєвані при напрузі на дузі 30 в.

Трансформатор і регулятор змонтовані на колесах.

Трансформатор має такі дані: первинна напруга 220, 380 або 500 в, вторинна напруга 65 в, номінальний струм 200 а, потужність трансформатора 13,5 ква. По бочках трансформатора є дві борнові дошки: одна для первинного кола, друга — для вторинного.



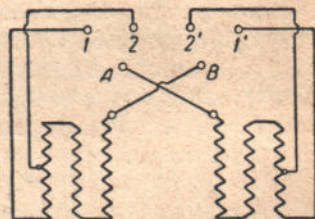
Фіг. 34. Зварювальний апарат типу СТЭ-22

Якщо трансформатор виконаний на 120/220 або 220/380 в, первинну обмотку перемикають за схемою, показаною на фіг. 35.

Щоб запобігти надмірному перегріву трансформатора і регулятора, установлюють залежно від процента ПКТР (повторно-короткочасової роботи) такі граничні величини зварювального струму.

Щоб запобігти надмірному перегріву трансформатора і регулятора, установлюють залежно від процента ПКТР (повторно-короткочасової роботи) такі граничні величини зварювального струму.

ПКТР %	Струм а
100	180
80	200
50	250
35	300



1 2 2' 1'	120	220
А В	220	380
1 2 2' 1'		
А В		

Фіг. 35. Схема первинної обмотки трансформатора СТЭ-22

Гранична дозволена температура для обмоток трансформатора 105° і для обмоток регулятора 160°.

Габаритні розміри трансформатора СТЭ-22: довжина 610 мм, ширина 311 мм, висота 682 мм, вага 117 кг. Розміри регулятора: довжина 597 мм, ширина 267 мм, висота 567 мм, вага 63 кг.

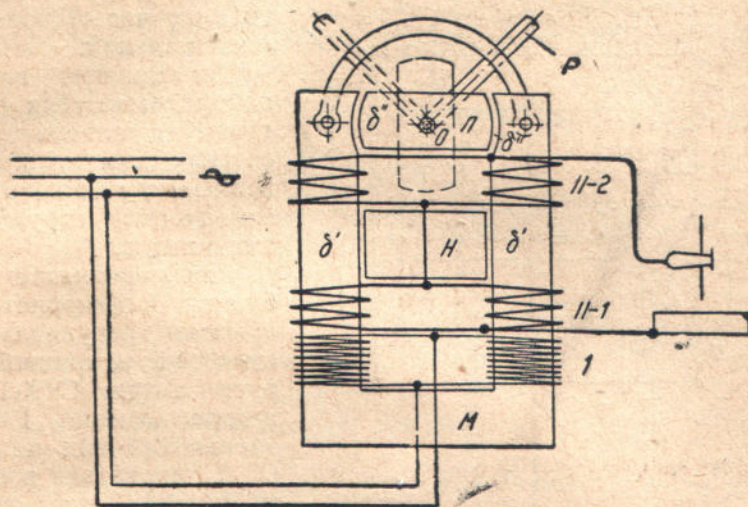
Завод „Електрик“ випускає зварювальний апарат такої самої системи типу СТЭ-32, який складається із зварювального трансформатора типу СТЭ-32 на 450 а (потужність трансформатора 30 ква, вага 185 кг) і індукційного регулятора типу РСТЭ-32 вагою 116 кг.



Зварювальний трансформатор СТХ-1 (системи проф. К. К. Хренова) виготовляє Промкооперативне електромеханічне об'єднання. Схема і конструкція цього трансформатора значно відрізняються від апарата СТ-2.

На фіг. 36 дані схема і конструкція апарата.

Трансформатор працює так.



Фіг. 36. Схема зварювального трансформатора СТХ-1

*M*—магнітопровід трансформатора; *H*—нерухомий пакет, вставлений в магнітопровід *M* із сталіми по величині міжзалізними зазорами  $\delta'$ ; *P*—рухомий поворотний пакет, вставлений в магнітопровід з міжзалізними зазорами  $\delta''$ , що змінюються величиною при повороті пакета *P* навколо осі *O* за допомогою ручки *P*; *I*—первинна обмотка трансформатора; *II-1*—вторинна обмотка; *II-2*—обмотка регулятора між пакетами *H* і *P*

При холостому ході трансформатора е.р.с. вторинної обмотки

$$E_2 = E'_2 + E''_2,$$

де  $E'_2$ —е.р.с. обмотки *II-1*,  $E''_2$ —е.р.с. обмотки *II-2*.

При навантаженні у вторинному колі з'явиться струм, який викличе вторинні магнітні потоки у вторинних обмотках. Магнітний потік  $\Phi''$  пакета *P* не збігатиметься щодо фази з потоком  $\Phi$  первинної обмотки, тому е.р.с. вторинної обмотки  $E_2$  дорівнюватиме геометричній сумі е.р.с.  $E'_2$  і  $E''_2$ , тобто з урахуванням зсуву фаз між ними. При короткому замиканні дуги е.р.с.  $E_2$  дорівнює майже нулеві, і тоді  $E'_2 \approx -E''_2$ , тобто е.р.с. обмотки *II-1* дорівнює (приблизно) і прямо протилежна е.р.с. обмотки *II-2*.

Змінюючи міжзалізні зазорами  $\delta''$  поворотом пакета *P* за допомогою важеля *P*, ми змінюватимемо е.р.с.  $E''_2$ , а значить, е.р.с.  $E_2$  і силу зварювального струму. Із збільшенням зазорів  $\delta''$  е.р.с.  $E'_2$ ,  $E_2$  і напруга холостого ходу зменшуються, а сила струму

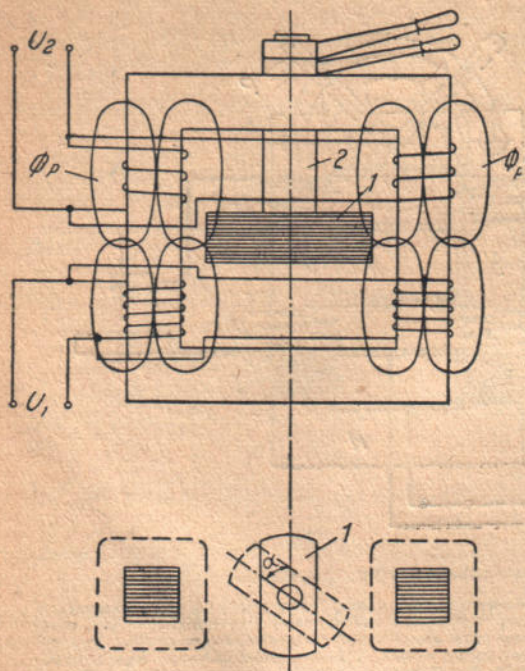


короткого замикання і сила зварювального струму збільшуються. Навпаки, із зменшенням зазорів  $\delta$  напруга холостого ходу збільшується, а сила струму короткого замикання і сила зварювального струму зменшуються.

Таким чином в цьому апараті здійснений принцип „ідеального“ трансформатора, коли при малих силах струму в наслідок високої напруги холостого ходу час відновлення  $t$  мінімальний.

Регулювання—плавне, поворотом важеля  $P$ . На дузі регулятора наносяться ділення, що дозволяють установити приблизну силу струму без амперметра.

Завдяки компактності будови і використанню обмотки регулятора в створенні вторинної напруги апарат СТХ-1 виходить легший і портативніший від апарата СТ-2 і міститься в одному кожуху. Загальна вага апарата—150 кг. Габаритні розміри в плані—580×450 мм. Апарат розрахований на 300 а струму короткого замикання. К.к.д.  $\eta=0,82$  і  $\cos \varphi=0,43$  при  $I_c=185$  а.



Фіг. 37. Схема трансформатора СТ-32

Зварювальні трансформатори СТ-32. Ці трансформатори завод „Електрик“ випустив в 1932 р. Схема трансформатора дана на фіг. 37. В цьому трансформаторі регулювання зварювального струму здійснюється за допомогою магнітного шунта (фіг. 31). Із збільшенням кута повороту  $\alpha$  магнітного шунта  $I$  (фіг. 37), тобто із збільшенням потоку магнітного розсіювання  $\Phi_r$  зменшується сила зварювального струму і, навпаки, із зменшенням кута повороту  $\alpha$  збільшується зварювальний струм.

Магнітний шунт повертають за допомогою осі 2 і виведеної наверх рукоятки. Друга рукоятка служить для закріплення рухомого шунта в потрібному положенні. Потоки розсіювання показані тонкими лініями і позначені  $\Phi_r$ .

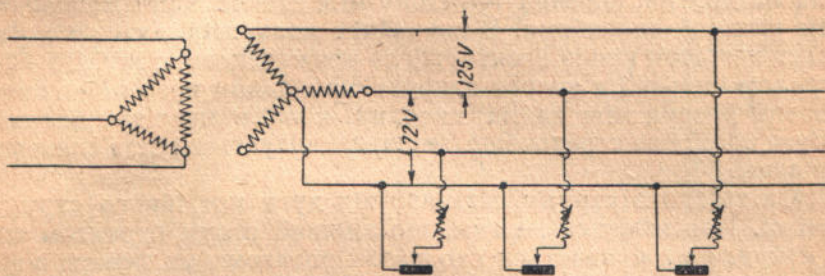
Регулювання цього трансформатора дуже плавне і зручне. Трансформатор із сторони вторинного (зварювального) кола має чотири виводи. При роботі на великих силах струму (до 300 а) зварювальні проводи підмикають до затисків 2—4. Між затисками



2—3 в цьому випадку ставиться перемичка. При роботі на невеликих силах струму (від 70 до 180 а) зварювальні проводи підмикаються до затисків 1—4. Первинне коло трансформатора розраховане на 220 в.

## § 16. Многопостові трансформатори

Питання про застосування многопостових зварювальних трансформаторів виникло в зв'язку з організацією великих зварювальних цехів, які працюють на змінному струмі. Досі, на жаль, на ринок спеціальних зварювальних многопостових трансформа-



Фіг. 38. Схема многопостового зварювання від трансформатора

торів не випущено. Проте здійснити таку установку можливо, маючи трифазний освітлювальний трансформатор з вторинною напругою в лінії в 125 в при сполученні вторинної обмотки зіркою з нульовим проводом. В цьому випадку зварювальні пости можна вмикати між фазовими проводами і нульовим, бо напруга між цими точками буде:

$$\frac{125}{1,73} = 72 \text{ в.}$$

Цієї напруги досить для запалювання дуги змінного струму, і водночас вона безпечна для зварювальника. Кожний пост вмикається через індукційний регулятор типу СТ-2. Схема такої установки показана на фіг. 38. Пости треба розподіляти рівномірно між фазами.

Початкові витрати на устаткування при многопостових трансформаторах на 20—30% нижчі, ніж при однопостових трансформаторах. Коефіцієнт використання устаткування при многопостових трансформаторах збільшується.

Число постів, які можна підімкнути до многопостового трансформатора, визначається за формулою:

$$n = \frac{1000 P \cdot \eta}{k \cdot I \cdot U_2},$$

де  $P$ —потужність трансформатора в *кВа*,  $\eta$ —к.к.д. трансформатора,  $k$ —коефіцієнт одночасності (залежно від умов роботи



дорівнює 0,6—0,8),  $I$ —середня сила струму поста,  $U_2$ —вторинна напруга трансформатора.

Не слід брати многопостові трансформатори потужністю більше 70—100 *кВА*, тобто на 10—20 постів, бо при більшій кількості постів потрібний надто великий переріз для основної магістралі.

## § 17. Апарати для стабілізації дуги змінного струму

Дугу можна розглядати як іонізований стовпчик газу, по якому з великою швидкістю рухаються електрони з одного електрода на другий. Іонізації простору між електродами можна досягти різними способами. В звичайній вольтовій дузі це досягається нагрівом кінців електродів до розжареного стану. Другим джерелом іонізації є висока напруга, прикладом чого може бути грозовий розряд між двома хмарами, коли в наслідок високої напруги проміжне середовище (повітря) іонізується і стає електропровідним.

Дуга змінного струму відмінно від дуги постійного струму нестійка. Пояснюється це тим, що змінний струм протягом однієї секунди переривається сто раз. Протягом цих перерв в наслідок певного охолодження електродів іонізація слабне, і напруги, яка є на електродах, уже недосить для подолання опору повітряного шару між електродами. Дуга через це гасне.

Для створення стійкої дуги змінного струму накладають струм високої напруги і високої частоти на зварювальний змінний струм. Це забезпечує постійну іонізацію міжелектродного простору. Струм високої частоти і високої напруги утворюється в спеціальних апаратах, що називаються осцилаторами, або активаторами.

У нас мають застосування осцилатори заводу „Буревестник“ і Московського рентгенівського заводу.

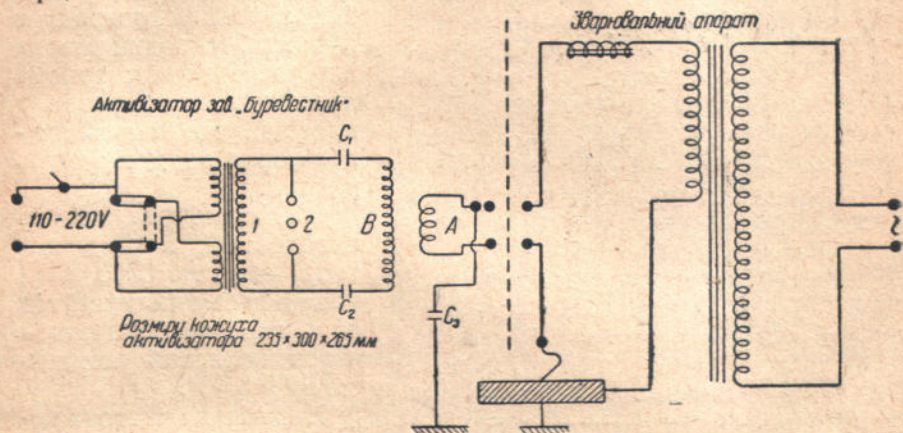
На фіг. 39 дана схема осцилатора „Буревестник“. Осцилатор складається з трансформатора високої напруги 1, іскрового розрядника 2, коливального контура і змінного контура. Трансформатор підвищує напругу сітки з 120 і 220 до 2700 *В*. Потужність трансформатора—150 *вт*.

Іскровий розрядник являє собою два іскрові проміжки між вольфрамовими дисками; іскрові проміжки—0,25 *мм*. Установлення цих проміжків провадиться повертанням дисків розрядника і проміром зазору щупом.

Коливальний контур має два конденсатори  $C_1$  і  $C_2$ . Ємність кожного 9000 *см*. Крім конденсаторів, у коливальний контур увімкнена котушка самоіндукції  $B$ , індуктивно зв'язана з приймальним контуром. Приймальний контур має одну котушку самоіндукції  $A$ , через яку здійснюється індуктивний зв'язок з коливальним контуром. Крім того, в приймальному контурі є блокувальний конденсатор  $C_3$ , який захищає зварювальний апарат від проникання в нього струму високої частоти.



Для осцилятора полягає в наступному. Трансформатор високої напруги 1 заряджає обкладки конденсаторів  $C_1$  і  $C_2$ , які розрядною напругою пробивають повітряні проміжки іскрового розрядника 2. Після цього конденсатори знову заряджаються і потім знову відбувається розряд і т. д. Таким чином у коливальному контурі устатковуються коливання струму високої напруги. Частота коливання залежить від розрахунку коливального контуру, тобто від величини ємності і самоіндукції. Частота власних коливань в осциляторі „Буревістник“ дорівнює 1 200 000 герців.



Фіг. 39. Схема осцилятора „Буревістник“

Коливання струму високої напруги в коливальному контурі передаються через індуктивний зв'язок котушок A і B в приймальний контур, увімкнений на вольтову дугу.

На клемовій дошці осцилятора є чотири затиски. До двох з них підмикаються проводи від сітки, при чому осцилятор може працювати від сітки 110 і 220 в.

Двома іншими затисками осцилятор вмикається в коло вольтової дуги послідовно, тобто провід, який іде від індукційного регулятора (апарат СТ-2), приєднують до товстої клемі осцилятора, а провід від електродотримача примикають до другої товстої клемі осцилятора.

В осциляторах заводу „Буревістник“ випуску 1935 р. є деякі зміни. Первинна обмотка трансформатора осцилятора примикається не до сітки з напругою 120 і 220 в, а до вторинної обмотки зварювального трансформатора напругою 65 в.

Крім того, приймальний контур вмикається не послідовно з вольтовою дугою, а паралельно.

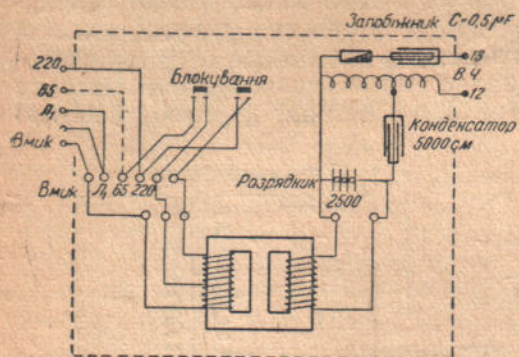
Габаритні розміри осцилятора—300 × 265 × 325 мм; вага — 17 кг.

На фіг. 40 дана схема осцилятора Московського рентгенівського заводу. Цей осцилятор має такі ча-



стини: трансформатор високої напруги, розрядник і коливальний контур.

Трансформатор при напрузі, яка підводиться, в 220 або 65 в має вторинну напругу 2500 в. Потужність його—400 вт.



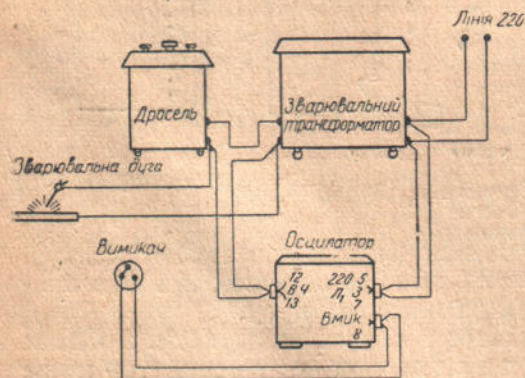
Обмотки розміщені на різних стрижнях осердя для одержання по можливості більшого розсіювання; це потрібно для того, щоб знищити перехід іскрового розряду в дуговий. Іскровий розряд відбувається між трьома парами вольфрамових пластин, що мають охолодження за допомогою ребер.

Коливальний контур складається з конденсатора ємністю 5000 см і котушки самоіндукції, від якої напруга знімається через захисний конденсатор 0,5  $\mu$  F.

Нормальна частота коливань в контурі—близько 300 000 пер/сек.

Прилади, за винятком трансформатора, укріплені на панелі, при чому конденсатор коливального контура, розрядник і клемі укріплені зверху.

Для захисту струмоведучі частини закриваються металічним кожухом



Фіг. 40. Схема осцилятора МРЗ

з блокувальними контактами первинного кола трансформатора.

На панелі, крім клем для приєднання кола, є два штепсельні гнізда, в які за допомогою шнура вмикається вимикач, поміщений поблизу від зварювальника; цей вимикач дає можливість вмикати осцилятор безпосередньо з місця роботи.

Осцилятор приєднується до сітки подвійним шнуром перерізом 1,5 мм<sup>2</sup>. При сполученні від зварювального трансформатора шнур має бути перерізом не менше 2,5 мм<sup>2</sup>. Кінці шнура підгортаються під відповідні клемі панелі.

Клемі з написом ВЧ (висока частота) приєднуються до проводів, що йдуть до зварювальної дуги. Приєднання бажано зробити спеціальним проводом високої ізоляції.

Габаритні розміри—350 × 270 × 290 мм; вага—20 кг.



При користуванні апаратом треба: 1) протирати панель осцилятора чистою ганчіркою не менше одного разу на п'ять днів, 2) берегти від сильних ударів ящик осцилятора, 3) при роботі спочатку вмикати осцилятор, а потім головний струм, 4) після закінчення зварювання не забувати вимикати осцилятор, 5) раз на місяць чистити робочі поверхні розрядника наждачною шкуркою 00 або 000, 6) не відкривати ящик без великої потреби (тільки тоді, коли поспується апарат).

На фіг. 40 внизу дана схема вмикання осцилятора МРЗ разом із зварювальним апаратом СТ-2.

## § 18. Апарати для атомно-водневого зварювання

Атомно-водневе зварювання ґрунтується на властивості водню дисоціювати, тобто розщеплюватися на атоми при високій температурі, і знову сполучатися в молекули у відносно холодному середовищі, виділяючи при цьому тепло.

При цьому способі зварювання дуга горить між двома вольфрамовими електродами. Вольфрамові електроди укріплені в соплах, через які з балона подається водень. Молекули водню, падаючи у вольтову дугу, розщеплюються на атоми ( $H_2 \rightleftharpoons 2H$ ), вбираючи при цьому тепло вольфової дуги. Стикаючись із зварюваним металом, атоми знову сполучаються в молекули, виділяючи тепло, яке і використовується для розтоплення металу при зварюванні. Таким чином дуга використовується для створення високої температури, і потужність її витрачається на те, щоб передати водню тепло, потрібне для дисоціації.

Зварні шви, виконані атомно-водневим зварюванням, своїми механічними властивостями не поступаються перед основним металом, бо водень є добрим відновним середовищем.

Цей метод був відкритий в лабораторії фірми Джіі Лангмюіром.

Вольтова дуга при зварюванні методом Лангмюіра потребує для свого горіння і запалювання значно вищої напруги, ніж при способі Славянова.

Для нормального зварювання електроди мають бути розсунуті на 2—3 мм, при цьому пропускається сильна струмина водню (від 800 л/год). Дуга дуже витягується в напрямі струмини газу і набуває форми віяла. Горіння дуги супроводиться різким дзвінким звуком. В наслідок збільшення довжини дуги і підсиленого охолодження її напруга горіння досягає 80—100 в. Напруга для запалювання дуги повинна бути в 2—5 раз вища від напруги горіння—порядку 200—250 в.

Завод „Електрик“ випускає для атомно-водневого зварювання апарати, які складаються з дроселя, що вмикається безпосередньо в сітку з напругою в 220 в.

На фіг. 41 дана схема апарата ГЭД-1-1. Апарат складається з дроселя *D*, контактора з котушкою *K* і додаткового опору *R*. Всі ці частини вміщені в залізний кожух, на якому укріплені



амперметр, два затиски для вмикання проводів від сітки і кнопки для вмикання апарата з шістьма клемами. З другого боку кожуха міститься розподільна коробка з трьома виводами. Один служить для приєднання шланга від водневого балона, два інші — для приєднання горілки.

При натисканні кнопки напруга в 220 в підводиться до вольфрамових електродів. При замиканні електродів накоротко або на вугільну пластинку струм пройде по дроселю, додатковому опорі  $R$  і котущі контактора. Всі ці три кола увімкнені між собою паралельно і кожне окремо послідовно з дугою. Внаслідок спадання напруги в дроселі напруга на електродах спаде до нуля. Паралельно увімкнений з дроселем опір зменшує загальний опір кола, тому струм короткого замикання збільшиться і дасть більший нагрів електродів, що полегшить запалювання дуги.

Струм, пройшовши по обмотці електромагніта контактора  $K$ , увімкне його. Тепер коло апарата замкнуте, і кнопку можна відпустити. Розвівши електроди на 2—3 мм, дістанемо вольтову дугу. Внаслідок спадання напруги в дроселі напруга на електродах знизиться до 80—120 в. Контактор буде автоматично увімкнений на весь час горіння дуги.

Перед запалюванням дуги в горілку треба пустити водень, бо коли водень пустити після запалювання дуги, можливе обгорання електродів. Якщо дуга обірветься, то струм не проходитиме через електромагніт контактора  $K$ , і він вимкне коло електродів.

Для вимикання апарата електроди розводять до розриву дуги, закривають кран на водневому ніпелі, після чого відмикають апарат від сітки.

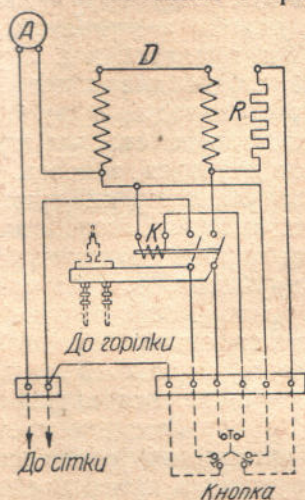
Другий апарат, який випускає завод „Електрик“, ГЭД-1-2, трохи відрізняється від першого. Схема його дана на фіг. 42. В цій схемі немає опору. Замість триполюсної кнопки поставлена однополюсна. В цьому апараті, крім того, добавлено електромагніт для автоматичного вмикання газового клапана  $KA$ . Робота в основному відбувається так само, як і в апараті ГЭД-1-1. При натисканні пускової кнопки до електродів підводиться напруга в 220 в, бо котушка електромагніта контактора під впливом струму, що проходить, увімкне його. Водневий клапан  $KA$  також відкриється під дією електромагніта. Після замикання електродів пускову кнопку можна опустити. Розвівши електроди, збуджують дугу. Внаслідок спадання напруги в дроселі напруга на електродах при горінні дуги знизиться до 70—120 в так само, як і в апараті ГЭД-1-1. При обриві дуги автоматично вимкнеться контактор і закриється водневий клапан, бо обірветься коло струму в електромагніті контактора і клапана. Клапан має пружину, яка протидіє електромагнітові. Таким чином в цьому апараті усувається зайва витрата водню при потуханні дуги.

Дроселі в цих апаратах регулюються так само, як і в апаратах СТ-2.

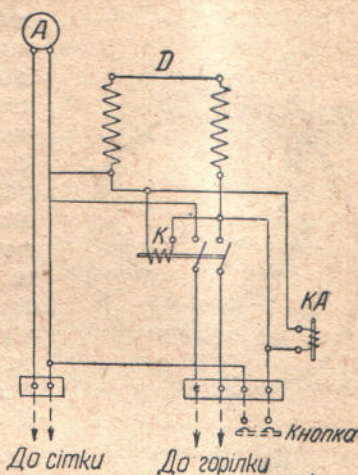


Для атомно-водневого зварювання завод „Електрик“ випустив два типи горілок.

Перший тип—горілка ГЭГ-1-1 (фиг. 43). Рукоятка горілки зроблена з алюмінію і прикрита прешпаном.



Фиг. 41. Схема атомно-водневого апарата ГЭД-1-1



Фиг. 42. Схема атомно-водневого апарата ГЭД-1-2

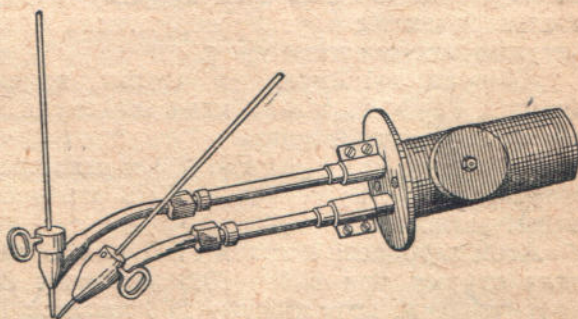
В рукоятці проходять дві сталеві трубки, по яких проводяться газ і струм до електродотримачів.

На виступаючі з рукоятки кінці сталевих трубок надягаються гумові шланги, через які водень підводиться до горілки. В середині шлангів проходить гнучкий ізолюваний кабель перерізом 10 мм<sup>2</sup>, кінець якого припаюється до сталеві трубки. Одна трубка пересувається за допомогою маховичка, що дає можливість зближувати і віддаляти електроди.

Сталеві трубки закінчуються соплами, в яких закріплюються вольфрамові електроди за допомогою стопорних гвинтів. Кут між електродами—приблизно 45°.

Гумові шланги з проводами від горілки приєднуються до розподільної коробки апарата.

Приєднання здійснюється за допомогою ніпелів, на які надягаються шланги з контактними кільцями від провода. Контактні

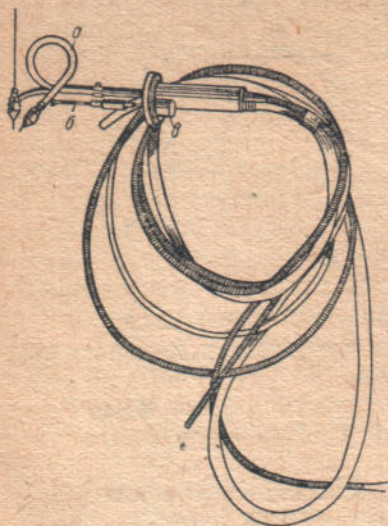


Фиг. 43. Горілка для атомно-водневого зварювання ГЭГ-1-1



кільця входять всередину ніпелів і мають прорізи для пропускання газу в шланги.

Другий тип—горілка ГЭГ-2-2 (фиг. 44). В цій горілці ручка зроблена з пластмаси і в неї вставлені дві мідні трубки, кінці яких виступають з рукоятки. До цих трубок припаяні два гнучкі ізолювані кабелі для підведення струму до електродів. В рукоятці запресована також стальна трубка, що закінчується ніпелем. На цей ніпель надягається гумовий шланг для водню. Двома каналами стальна трубка сполучається з мідними трубками, що йдуть до сопел горілки. Мідні трубки закінчуються стальними соплами, через які водень подається до дуги і в яких укріплюються електроди. До одного сопла підведена стальна трубка у вигляді пружного витка *a*, який пружинить при розведенні електродів. Ця трубка сполучена штангою *б* з головою *в*, поміщеною на рукоятці горілки. Якщо цю головку обертати, то за допомогою штанги трубка віддалятиме або



Фиг. 44. Горілка для атомно-водневого зварювання ГЭГ-2-2.

наближатиме (залежно від напрямку обертання головки) сопло з електродом від другого нерухомого сопла. Цим здійснюється регулювання довжини дуги.

Проводи, які йдуть до горілки, приєднуються до затисків апарата ГЭД-1-2, шланг надягається на ніпель, розташований поряд на борновій дошці.

Горілками ГЭГ-1-1 і ГЭГ-2-2 можна працювати з електродами діаметром 1,5; 2; 2,5 і 3 мм. На кожний діаметр електрода є змінні затиски.

Атомно-водневі апарати ГЭД мають такі дані: напруга 220 в, сила струму при ПКР—70% дорівнює 83 а, мінімальна сила струму—30 а, потужність—18,3 ква при ПКР—70%.

Зварювальний режим при атомно-водневому зварюванні наведений в табл. 6.

Таблиця 6

Товщина листів в мм	Зварювальний струм в амперах	Робоча напруга в вольтах	Споживана потужність із сітки в кіловатах
1	25—35	} 80 100 {	2,1—3,7
2	30—40		2,7—4,5
4	35—50		3,3—5,9
6	45—65		4,4—8,0
8	50—75		4,9—9,3
10	60—85		6,0—11,0







Для устаткування великих зварювальних цехів з великою кількістю постів можна брати такі варіанти: 1) однопостові зварювальні машини постійного струму, 2) многопостові зварювальні машини постійного струму, 3) однопостові апарати змінного струму, 4) мішана установка з машин постійного і змінного струму.

При виборі тієї або іншої системи в кожному окремому випадку доводиться робити економічний підрахунок для різних варіантів і спинятися на найбільш вигідному, зважаючи також на технічні якості і зручності різних систем.

Як приклад, підраховуємо для цеху на 60 зварювальних постів два варіанти. В першому випадку — однопостові агрегати постійного струму, в другому випадку — многопостові агрегати постійного струму.

Задамося такими примірними даними<sup>1</sup>. Вартість 1 *квт-г* — 3 коп. Вартість однопостового агрегата — 3000 крб. Вартість многопостового агрегата — 7000 крб. Середня сила зварювального струму 250 *а* при робочій напрузі 20 *в*. Коефіцієнт використання поста 0,7, тобто 70% пост працює, а 30% часу іде на холостий хід — на чистку шва, зміну електродів, кантування деталей і т. д.

При порівнянні двох варіантів порівнюватимемо вартість години роботи в обох випадках.

Перший варіант. Вартість устаткування 60 постів буде  $3000 \times 60 = 180\,000$  крб.

Під час холостого ходу однопостовий агрегат витрачає 1,8 *квт-г*.

Тоді за годину роботи однопостовий агрегат споживає електроенергії:

$$\frac{250 \cdot 20}{0,5 \cdot 1000} \cdot 0,7 + 1,8 \cdot 0,3 = 7,54 \text{ квт-г,}$$

де 0,5 — к. к. д. зварювального агрегата.

Вартість споживаної енергії  $7,54 \times 3 = 22,62$  коп.

Амортизація 9,21% (за нормами НКВП), тобто на пост потрібно:

$$\frac{3000 \cdot 9,21}{100} = 276 \text{ крб. 30 коп.}$$

Обслуговування і ремонт (масло, щітки, проточування колектора, зарплата монтера і ін.) — 400 крб. на рік на пост.

Разом витрат на рік на пост:

$$276 \text{ крб. 30 коп.} + 400 \text{ крб.} = 676 \text{ крб. 30 коп.}$$

Рахуючи 295 робочих днів на рік і двозмінну роботу, дістанемо:

$$295 \cdot 14 = 4130 \text{ год.}$$

На годину роботи поста припадає:

$$\frac{67630}{4130} = 16,37 \text{ коп.}$$

Повна вартість години роботи однопостового агрегата:

$$22,62 + 16,37 = 38,99 \text{ коп.}$$

<sup>1</sup> Вартість устаткування, коефіцієнт використання поста, вартість електроенергії, обслуговування і ремонту можуть змінюватися залежно від характеру машин і інших місцевих умов.



Другий варіант. Беремо многопостові агрегати СМ-1000. При тих же значеннях завантаження поста і сили струму визначимо потрібну кількість агрегатів при 60 постах:

$$\frac{250 \cdot 60 \cdot 1,7}{1000} \approx 11 \text{ машин.}$$

Одну машину треба мати в резерві, тому всього буде 12 агрегатів. Загальна вартість машин:

$$7000 \cdot 12 = 84\,000 \text{ крб.}$$

Вартість баластних опорів, рахуючи по 400 крб. за кожний:

$$400 \cdot 60 = 24\,000 \text{ крб.}$$

Разом устаткування коштує:

$$84\,000 + 24\,000 = 108\,000 \text{ крб.}$$

Рахуючи напругу в дузі 20 в, а напругу генератора 50 в, матимемо к. к. д. зварювального кола:

$$\frac{20}{50} = 0,4.$$

Приймаючи до уваги к. к. д. мотора 0,9 і коефіцієнт генератора 0,85, істанемо загальний к. к. д. всієї установки на пост:

$$0,4 \cdot 0,9 \cdot 0,85 \approx 0,3.$$

Витрата електроенергії за годину на пост буде:

$$\frac{250 \cdot 20 \cdot 0,7}{0,3 \cdot 1000} = 11,6 \text{ квт-г.}$$

Вартість електроенергії:

$$11,6 \cdot 3 = 34,8 \text{ коп.}$$

Амортизація—9,21% від 84 000—7736 крб., обслуговування і ремонт—4000 крб., а всього 11 736 крб.

На годину роботи припадає:

$$\frac{11\,736}{60 \cdot 4130} \approx 4,7 \text{ коп.}$$

Загальна вартість години роботи поста при многопостових машинах буде:

$$34,8 + 4,7 = 39,5 \text{ коп.}$$

Таким чином в даному випадку вигідніший буде варіант однопостових машин. При інших умовах вигіднішим може бути варіант многопостових машин. Наприклад, якщо в наведеному випадку підрахувати два варіанти при умові вартості електроенергії по 2 коп. за 1 квт-г, то для однопостових машин вартість години роботи буде 31,45 коп., а для многопостових—27,9 коп.

## § 20. Несправності зварювальних машин і їх усунення

Ремонт зварювальних машин, як і ремонт всіх інших електричних машин, мають виконувати спеціалісти-електрики. Проте



майстер по зварюванню повинен мати уявлення про можливі неполадки в роботі машин, про їх причини і способи усунення, що не потребують складного ремонту. Нижче ми перераховуємо неполадки в зварювальних машинах, які найчастіше зустрічаються, і описуємо способи їх усунення.

### Несправності в мотор-генераторах

1. Мотор (трифазний) обертається в супротивну сторону. Причина—переплутані фази.

Усунення несправності—змінити приєднання двох будь-яких фаз.

2. Мотор важко пустити в хід, він досягає приблизно тільки половини нормального числа оборотів. Причина—розрив у одній фазі обмотки мотора або в опорах пускового реостата, або поганий контакт щіток. Розрив фази визначається індуктором, для чого початок і кінець кожної фази приєднують до індуктора і перевіряють. У фази, при приєднанні якої стрілка гальванометра індуктора стоятиме на нулі, є розрив.

Усунення несправності—усунути розрив.

3. Мотор не бере з місця і при цьому ненормально гудить. Причина—розрив в обмотці статора або в опорі пускового реостата. Звичайно розрив як в статорі, так і в роторі має місце в головках котушок, а не всередині, тому після установалення обірваної фази легко знайти місце обриву уважним оглядом головок котушок.

4. Щітки на колекторі генератора дуже іскрять. Причини: а) підвищена твердість матеріалу щіток; б) щітки викришилися, в) поверхня колектора покрита брудом, г) виступає слюда над мідними пластинками колектора; д) щітки погано пришліфовані до поверхні колектора; е) колектор набув еліптичної форми.

Усунення несправностей: а) і б) замінити щітки; в) протерти колектор скляним папером, г) зчистити виступаючу слюду, тобто „продорожити“ спеціальним скребком слюду на колекторі на глибину близько 1 мм; д) пришліфувати щітки до поверхні колектора, для чого між щітками і колектором протягується тонкий скляний папір в напрямі обертання машини, при цьому щітки повинні знаходитися під нормальним тиском пружини щіткотримача; закінчивши шліфування, треба старанно здути вугільний пил; е) колектор слід проточити; проточування робиться при коловій швидкості від 25 до 40 м/сек стружкою не більше 0,1 мм.

5. Зварювальний генератор не збуджується (не дає напруги). Причини: а) порушений контакт в колі шунтової обмотки збудження; б) немає контакту в щітках збудника; в) обрив обмотки збудження; г) немає контакту в щітках генератора в наслідок забруднення поверхні колектора; д) обрив кола збудження в регулюючих реостатах; е) генератор розмагнітився (випадок можливий в машинах без незалежного збудження).



Усунення ненормальностей: а) виправити контакт; б) почи-  
стити колектор збудника і пришліфувати щітки; в) усунути  
обрив, перевіривши індуктором або лампою; г) прочистити ко-  
лектор полотняною ганчіркою; д) усунути обрив у реостаті,  
виявивши його індуктором або лампою; е) намагнітити гене-  
ратор, для чого обмотку збудження розмагніченого генератора  
приєднати до сусідньої зварювальної машини постійного струму.  
Необхідний правильний напрям струму, щоб не мати зворотного  
намагнічування.

6. Якір машини дуже нагрівається. Причини: а) зварюваль-  
ний струм тривалий час перевищує допустимий струм для даної  
машини; б) коротке замикання між витками якоря; в) коротке  
замикання між колекторними пластинами.

Усунення несправностей: а) дати машині прохолонуту і після  
цього працювати тільки допустимим для даної машини зварю-  
вальним струмом; віддати в ремонт якір машини; б) те саме.

7. Перегрівається обмотка збудження. Причини: а) великий  
струм збудження в наслідок малого опору регулюючого ре-  
остата; б) коротке замикання між витками обмотки; в) коротке  
замикання між двома обмотками збудження (між шунтовою і  
серієсною).

Усунення несправностей: а) замінити регулюючий реостат  
більшим опором або ж додати опір до того реостата, який є;  
б) ремонт обмотки збудження.

8. Дуже гріються підшипники. Причини: а) масло надто  
густе; б) рівень масла надто низький; в) змащувальне кільце  
не обертається; г) брудне масло; д) вал туго обертається у  
вкладнях; е) вкладні зносилися.

Усунення несправностей: а) замінити масло більш підходя-  
щим рідким сортом; б) долити масла; в) полагодити кільце або  
замінити новим; г) профільтрувати масло або замінити іншим;  
д) перевірити положення вала в підшипниках, бо можливо, що  
вкладні погано пришабрені або вал косо проходить у вкладнях;  
е) перезалити вкладні.

### Несправності в зварювальних трансфор- маторах

1. Регулятор при зварюванні ненормально гудить. Причини:  
а) слабо затягнуті стопорні болти; б) перекошене верхнє  
осердя; в) загальне кріплення регулятора ослабло.

Усунення несправностей: а) затягти тугіше болти; б) усунути  
перекіс, опустивши болти і затягнувши їх знову рівномірно;  
в) перевірити кріплення регулятора, ослаблі болти і зв'язки  
підтягти.

2. Трансформатор дає надто великий струм. Регулювання  
струму регулятором не ослаблює зварювального струму. При-  
чини: а) коротке замикання в обмотці регулятора; б) замикання  
між затисками регулятора.



Усунення несправностей: а) усунути замикання у витках регулятора; б) усунути замикання між затисками регулятора.

3. Обмотки трансформатора дуже нагріваються. Причини: а) неправильне вмикання трансформатора із сторони первинної сітки; б) замикання між витками обмотки.

Усунення ненормальностей: а) перевірити вмикання первинної обмотки за схемою і зробити правильне вмикання; б) провести ремонт обмоток трансформатора.

#### РОЗДІЛ IV

### ТЕХНОЛОГІЯ ДУГОВОГО ЗВАРЮВАННЯ МАЛОВУГЛЕЦЕВОЇ СТАЛІ

#### § 21. Металургічні процеси при зварюванні

При дуговому електрозварюванні кромки основного металу і присадковий метал доводяться до рідкого стану в наслідок високої температури вольтової дуги. Таким чином при дуговому електрозварюванні відбувається металургічний процес, бо метал проходить всі стадії нагрівання і охолодження—від розтопленого стану до затвердіння—і протягом дуже короткого проміжку часу спостерігаються в основному ті самі фізико-хімічні явища, які мають місце в електрометалургії, тобто при одержанні сталі в електричних печах.

В умовах електрозварювання методом Славянова металургічний процес відбувається протягом дуже малого проміжку часу і має такі три періоди: 1) розтоплення основного і присадкового металу, 2) перенесення і сполучення присадкового металу з основним, 3) охолодження металу.

При зварюванні топленням у металі відбуваються фізико-хімічні явища, які змінюють метал з погляду хімічного складу і його фізичних властивостей до і після зварювання.

Основним елементом маловуглецевих сталей є залізо Fe; крім заліза, в сталі як домішки містяться такі елементи: вуглець С, марганець Mn, силіцій Si, сірка S, фосфор P, а також кисень O (у вигляді оксидів) і азот N (у вигляді нітридів). Елементи, які входять як домішки в тій або іншій кількості, впливають на механічні і хімічні властивості сталі.

Збільшення вмісту вуглецю збільшує твердість і міцність, але підвищує і крихкість. В процесі зварювання в умовах високої температури звичайно вуглець частково вигорає, що не завжди бажано, бо зневуглецьований метал менш міцний.

Для компенсації вигорання вуглецю з металу електрода до складу електродних обмазок вводять деревне борошно, деревне вугілля і інші органічні речовини, які, згораючи в дузі, насичують дуговий проміжок вуглець-оксидом CO, що захищає розтоплений метал від дії повітря і сприяє зменшенню вигорання вуглецю з нагрітого металу. Добираючи відповідним чином кількість цих компонентів (складових частин) в обмазках,



можна одержати нагрітий метал навіть з підвищенням протік електродів вмістом вуглецю.

Марганець є корисною домішкою, бо видаляє з розтопленого металу кисень. Марганець збільшує твердість і міцність, як і вуглець. Співвідношення між марганцем і вуглецем має велике значення для властивостей сталі.

Із збільшенням вмісту марганцю в розтопленому металі дуже зменшується вміст кисню. Проте підвищення вмісту марганцю можливе тільки до певної границі, бо метал, дуже легірований марганцем, має великий нахил до гартування і перегріву.

Марганець вводять в обмазки електродів у вигляді феро-марганцю, вміст якого не повинен перевищувати 11—12% від ваги чистого дроту; взагалі бажано мати в нагрітому металі марганцю не менше 0,35—0,40%.

Щоб запобігти вигоранню марганцю, як і для того, щоб запобігти вигоранню вуглецю, до складу обмазок вводять органічні газоутворюючі речовини (деревне борошно, крохмал і ін.).

Сірка і фосфор—шкідливі домішки. Сірка надає металові червоноламкості, тобто він стає крихкий при температурах червоного жару, а фосфор надає холодноламкості, тобто властивості розламуватися при холодній обробці.

В маловуглецевій сталі вміст фосфору і сірки, що є шкідливими домішками, не повинен перевищувати: сірки 0,05% і фосфору 0,06%. В металі електродів сірки і фосфору (за ОСТ 20032) повинно бути не більше 0,04% кожного.

Силіцій—не шкідлива домішка при невеликому вмісті (не більше 0,2—0,3%); присутність силіцію в більшій кількості сприяє підвищенню крихкості і твердості.

Азот—шкідлива домішка. Він вбирається з повітря і утворює в металі азотисті сполуки заліза у вигляді феронітридів, які роблять метал більш крихким, підвищують твердість і міцність, дуже зменшуючи в'язкість. Уберегти від азоту нагрітий метал можна застосуванням товстих обмазок, які покривають дугу захисним шаром газів, а метал—шлаком, що утворюється при розтопленні покриття.

Кисень, будучи теж шкідливою домішкою, подібно до азоту, при дуговому електрозварюванні вбирається з навколишнього повітря і входить до складу нагрітого металу у вигляді оксидів, які погіршують механічну якість металу шва, зменшуючи його міцність і в'язкість.

Боротьба з оксидацією така сама, як і з нітрируванням—застосування товстих обмазок для захисту металу від дії повітря.

Процес переходу і сполучення присадкового металу з основним при електрозварюванні металічним електродом—досить складне явище, яке вивчило німецьке товариство металургів за допомогою кінознімання вольтової дуги, при чому знімки робилися в кількості 1600 на секунду.



Ці знімки показали, що перенесення розтопленого металу з електрода в кратер відбувається краплями, при чому за секунду переходить 20—30 крапель. При кожному переході краплі з електрода в кратер відбувається коротке замикання, і дуга гасне. Дослідження Гільперта і Туна показали, що при зварюванні голими електродами в нижньому положенні час, зайнятий переходом металу з електрода в кратер, становить в середньому близько 15% від загального часу чистого зварювального процесу.

Явище перенесення металу в дузі з електрода в кратер відмінне великою складністю і різноманітністю. Крапля металу переходить з електрода у ванну при будьякому положенні шва в просторі, в тому числі і стельовому, при будьякій полярності на електроді і при змінному струмі. Перенесення краплі пояснювалося електронним потоком, який має певний напрям, проте це пояснення не пов'язується з дійсністю і його не можна вважати задовільним. Так само незадовільні пояснення перенесення крапель іншими причинами: а) притяганням краплі масою виробу, бо сила цього притягання мізерно мала, б) магнітним притяганням, бо при температурах вище 768° магнітні властивості заліза пропадають.

Проф. Хренов запропонував нове теоретичне пояснення цьому явищу, вважаючи, що перенесення крапель і утворення заглибини в кратері (дугтя дуги) відбувається в наслідок наявності електромагнітних сил в дузі, що обумовлюють стискуючу дію електричного струму на провідник, так званий пінч-ефект. Це явище не залежить від напрямку струму і має один і той же характер як при змінному, так і при постійному струмі будь-якої полярності.

Не вдаючись тут в деталі досить складної теорії цього ефекту, відзначимо тільки, що він оснований на законі взаємодії струмів в двох паралельних провідниках: при проходженні струмів в одну сторону по двох паралельних провідниках між ними виникає сила притягання, що прагне зблизити провідники, зберігаючи паралельність, тобто створюється стискуюча дія струму. Крапля рідкого металу на кінці електрода є провідником, тому на неї діє стискуючий осьовий тиск, який деформує краплю і примушує її подаватися вперед по осі дуги, в результаті чого створюється розтягуюче зусилля, метал краплі подається вперед і з розривом шийки переходить в кратер.

## § 22 Структура металу і металографія зварного шва

Для вивчення будови сталі, або, як кажуть, структури її виготовляють шліфи.

Шліф являє собою зразок металу, старанно відшліфований і відполірований до дзеркального блиску, щоб навіть під мікроскопом на ньому не було помітно ніяких штрихів. Щоб можна було розрізнити складові частини сталі, шліф травлять спе-



ціальними реактивами, наприклад розчином нітратної або пікрової кислоти. Тоді складові частини сталі набувають різного забарвлення, і в мікроскопі ясно буде видна картина структури даного шліфа.

При розгляді шліфа в мікроскоп видно зернисту будову металу, при чому світліші зерна—ферит—чисте залізо, а темніші—перліт. М'які сорти сталі (Ст. 1, Ст. 2) складаються із світлих зерен фериту, між якими помітні прошарки перліту (фіг. 45); твердіші сорти сталі, навпаки, мають інший вигляд—темніші зерна перліту оточені світлими прошарками фериту.

Величина зерен структурних складових сталі буває різна, залежно від різних обставин, і дуже впливає на механічні якості сталі. Чим більше зерно, тим нижчі механічні якості сталі, і, навпаки, чим дрібніше зерно, тим міцніша сталь.

У повільно охолоджених виливках, які не піддавали механічній обробці (куванню або прокатуванню), зерна дуже великі; якщо таку сталь прокувати, то вона набуде дрібнозернистої структури. Якщо проковану сталь з дрібним зерном знову нагріти до температури, близької до температури топлення ( $1300-1400^{\circ}$ ), то сталь набуде великозернистої будови. Якщо температура буде піднята не так високо, але все-таки досягне  $1000-1100^{\circ}$ , при чому при цій температурі сталь буде витримана достатній час, то зерна теж виростуть, хоч і не в такій мірі, як у першому випадку. Така сталь називається перегрітою.

Від перегріву треба відрізати перепал, який полягає в тому, що при сильному і тривалому нагріві кисень проникає всередину сталі і утворює навколо зерен плівки оксидів, що зменшують зчеплення між зернами і роблять перепалений метал дуже неміцним. Перепал не можна виправити, тоді як структуру перегрітого металу можна виправити механічною або термічною обробкою.

Металографічні дослідження зварного шва проводять для з'ясування структурних особливостей металу зварного шва, перехідної зони та основного металу і для визначення того, як впливають той або інший зварювальний режим, склад електродів, обмазки і інші моменти на характер структури, а значить, і на якість зварювання.



Фіг. 45. Мікрошліф сталі



Металографічний аналіз має два види—макроаналіз і мікроаналіз. Макроаналізом вивчають макроструктуру. При макроструктурі шліф розглядають неозброєним оком або при невеликому збільшенні (в 1,5—2 рази). Для кращого виявлення різниці в структурі нагрітого і основного металу шліф протравлюють спеціальними реактивами Гейна або Фрі, нітратною або пікриною кислотою. Макроструктура виявляє наявність навару, глибину протоплення, пори, пустоти, шлакові включення, а також зону термічного впливу зварювання.

Зоною термічного впливу зварного шва називається та ділянка в основному металі, в якій відбулися структурні зміни від нагріву при зварюванні. В цій зоні сталь піддається нагріву в межах від  $720^{\circ}$  до температури топлення. Охолодження цієї зони відбувається досить швидко, в наслідок відведення тепла в холодні маси основного металу. Зону термічного впливу ясно видно на травленому макрошліфі, бо вона відрізняється своїм кольором. Глибина, на яку поширюється вплив нагріву, тим більша, чим товстіше наварюється шво за один прохід, що пояснюється великим виділенням тепла; якщо зварювання багатошарове, зона термічного впливу зменшується. В середньому глибина зміни структури дорівнює 3—5 мм.

Мікроаналіз, тобто аналіз структури під мікроскопом при великому збільшенні (100—200—500 раз) провадиться для виявлення структури нагрітого металу і змін, які відбуваються в структурі основного металу при зварюванні. Мікроаналіз дає можливість виявити перегрів металу, перепал, включення нітридів, оксидів, найдрібніші пори і тріщини і т. д.

Якщо розглядати під мікроскопом шліф зварного шва малоуглецевої сталі в різних точках, ідучи від основного металу до шва, то можна виявити таку картину. Основний метал поза зоною нагріву має типічну структуру прокатаного металу—світлі зерна фериту з темними прошарками перліту. Зерна дещо витягнуті в напрямі прокатки (фіг. 46)—так звана рядкова структура. Тому що тут нагрів був нижче  $700^{\circ}$ , то ніяких структурних змін після зварювання не відбулося.

Далі йде основний метал в першій ділянці зони впливу нагріву. Тут температура при зварюванні перейшла через  $720^{\circ}$ , в наслідок чого відбулася певна зміна структури. На мікроструктурі помітно утворення нових перлітних ділянок дуже малої величини разом з дрібними зернами фериту.

В другій ділянці температура при зварюванні підіймалася ще вище—до  $1000-1100^{\circ}$ . Тут сталь набула дрібнозернистої будови, в якій перлітові ділянки розподілені рівномірно між зернами фериту. Ця структура відповідає нормальному відпалові.

Третя ділянка відмінна тим, що в ній уже є відпал з перегрівом, бо температура тут при зварюванні була від  $1000-1100^{\circ}$  до температури топлення, і помічається збільшення зерна.

Перегрів сталі на межі стоплення—найшкідливіший, бо він значно погіршує механічні властивості металу і особливо опір



ударному навантаженню. Але при дуговому електрозварюванні ця ділянка з великим зерном не набуває сильного розвитку і звичайно не перевищує 0,5—1 мм, а іноді у маловуглецевих сталях її і зовсім може не бути, якщо нагрів був недовготривалий і охолодження було швидке, що саме і має місце при електрозварюванні.

Далі йде вже натоплений метал шва, який має структуру литого металу. Проте лита структура шва дещо відрізняється від структури звичайного сталюого литва, що пояснюється

*Зона термічного впливу*



Фіг. 46. Мікрошліф зварного шва

короткочасовістю періоду розтоплення і охолодження натопленого металу шва.

Величина зерна в литому металі залежить від таких умов:

1. Чим швидше охолодження металу, тим меншого розміру зерна утворюються при охолодженні.

2. Чим вища температура нагріву, тим швидше відбувається ріст зерна; при нагріві металу до температури топлення досить витримати його при цій температурі лише кілька секунд, щоб величина зерна дуже збільшилася.

3. Наявність в металі певних домішок (сірки і оксидів) сприяє збільшенню росту зерна.

4. Чим швидше проходить метал критичні температури, які впливають на ріст кристалів, тим більш дрібнозернистою буде його структура.

При електрозварюванні структура шва звичайно виходить дрібнозернистою в наслідок вищого концентрованого нагріву і швидкого охолодження.

### § 23. Зварювання на постійному і змінному струмі

Дугове електрозварювання виконується як на постійному, так і на змінному струмі. При зварюванні на постійному струмі до виробу звичайно приєднується плюс (позитивний полюс)



машини, а до електрода мінус (негативний полюс) машини. Таке сполучення, що називається прямою або нормальною полярністю, застосовується при зварюванні маловуглецевих сталей при товщині металу більше 3 мм. Пояснюється це тим, що при постійному струмі на полюсах при утворенні вольтової дуги виділяється, як було сказано вище, неоднакова кількість тепла.

Таким чином при нормальній полярності дається більша кількість тепла на анод, тобто на зварюваний виріб, з тих міркувань, що звичайно зварюваний виріб своїм об'ємом набагато більший, ніж електрод, і для кращого розігрівання його потрібна більша кількість тепла, ніж для топлення електрода. При зварюванні ж тонких виробів небажано давати більшу кількість тепла виробові, бо тоді його легко перепалити.

Тому іноді при зварюванні тонких виробів застосовують обернену полярність, тобто до виробу приєднують мінус. Обернена полярність застосовується також в деяких випадках при зварюванні спеціальних сталей і при зварюванні тонких сталей так званими абсорбованими електродами.

При зварюванні на змінному струмі байдуже, до якого застосування зварювального трансформатора приєднати виріб і до якого електрод, бо кількість тепла, що виділяється при змінному струмі, буде однакою як на виробі, так і на електроді.

Питання про переваги і вибір роду струму довго було суперечливим, бо обидва види струму для зварювання мають свої переваги і хиби. Тепер на основі численних науково-дослідних робіт і великого практичного досвіду встановлено, що обидва види струму з технологічного погляду для дугового зварювання мають однакове право на поширення. І постійний і змінний струми, особливо із застосуванням осциляторів, дають зварні шви однакової якості. З економічного погляду вигідніше зварювання на змінному струмі в наслідок трохи меншої витрати електроенергії, меншої вартості апаратів змінного струму і простішого догляду за ними порівняно з генераторами постійного струму.

## **§ 24. Протоплення і добір сили струму. Стахановські режими зварювання**

Умова доброго дугового зварювання металічним електродом полягає в тому, щоб мати повне стоплення основного металу з металом електрода. Для цього треба, щоб поверхня основного металу була добре розтоплена, тобто кратер повинен бути відповідної глибини. Якщо основному металові буде надано недостатню кількість тепла, то кратер і глибина протоплення будуть недостатні, в наслідок чого краплі металу з електрода не всі стопляться з основним металом, а частина з них ляже на нерозтоплену поверхню, сполучення вийде немідним.

Глибина, на яку розтоплюється основний метал в кратері, називається протопленням. Щоб мати добре зварювання,



протоплення повинно бути не менше 1,5–2 мм. В середньому величина протоплення залежно від сили струму коливається в межах від 1,5 до 5 мм. Про величину протоплення можна судити з вигляду кратера. Якщо швидко перервати дугу, то кратер після застигання своїми розмірами залишиться таким, яким він був під час зварювання. Визначивши глибину кратера, тобто вимірявши віддаль від поверхні основного металу до дна кратера (фіг. 6), можна приблизно визначити величину протоплення, яка завжди трохи глибша дна кратера (на 1–2 мм). Особливо ясно глибина протоплення виявляється при розгляді макроструктури зварки.

Величина протоплення залежить від тієї кількості тепла, яка виділяється дугою при утворенні нею кратера. Кількість же тепла, виділена дугою, в свою чергу, залежить від сили струму. Із збільшенням сили струму збільшується кількість тепла, а значить збільшується і величина протоплення і кількість розтопленого металу. Вибір правильної сили струму для зварювання даного виробу має велике значення не тільки з точки зору міцності зварки, але і з точки зору продуктивності зварювання і швидкості його, бо і з збільшенням сили струму збільшується кількість розтопленого металу за одиницю часу і швидкість зварювання<sup>1</sup>.

Найкраща для даних сортів і розмірів основного металу та електрода сила струму може бути встановлена практичним шляхом дослідних наварювань валиків при різних силах струму і потім уважного розгляду валиків, глибини протоплення, кратерів, макроструктури шва, а також спостереження за зварюванням.

Питання про найкращу силу струму для певної товщини зварюваних елементів і діаметра електродів—надзвичайно важливе. До початку стахановського руху в зварюванні існували так звані нормальні величини сили струму, які встановлювалися залежно від товщини основного металу і діаметра електродів. Ці нормальні величини сили струму давали добрі результати з погляду якості зварного шва при зварюванні електродами невеликого діаметра (до 6–7 мм) при силах струму не більше 200–280 а. Вся технологія дугового електрозварювання була побудована саме на цих нормальних режимах. Електроди за стандартом випускалися діаметром тільки до 7 мм, зварювальні агрегати могли давати найбільшу силу струму при тривалому зварюванні в 200–250 а, перегріваючись і псуючись при збільшенні сили струму за ці межі.

Стахановський рух в зварюванні, який бурхливо розвинувся з вересня 1935 р., перекинув ці нормальні режими і висунув нові. Стахановці-зварювальники стали варити товстими електродами діаметром 8–10 мм при силах струму, в 1,5–2,5 раза

<sup>1</sup> Про величину цієї залежності див. на стор. 202.



більших від нормальних, і при цьому мали велике збільшення продуктивності зварювання порівняно із звичайним режимом.

Застосування великих сил струму і товстих електродів до стахановського руху зустрічалося як виняток і в деяких випадках навіть заборонялося, наприклад НКШС забороняв застосовувати електроди товстіше 5 мм. Це пояснювалося головним чином побоюванням перепалити метал при великих силах струму, що зменшувало б механічну міцність зварного сполучення.

Проте дослідження, які провадилися кілька років тому як за кордоном (Лефрінг в 1927—1928 р.), так і у нас, і практичні роботи (досвід заводу ім. Марті в Миколаєві в 1929—1930 р.) ще тоді показали, що побоювання перепалу при зварюванні на підвищених силах струму—не обгрунтовані.

Новітні дослідження, проведені в зв'язку з блискучими результатами роботи стахановців-зварювальників, підтвердили повністю не тільки можливість, але і необхідність переходу на підвищені сили струму.

Дослідження КрМММІ ім. Баумана показали, що при підвищеній силі струму механічні властивості нагрітого металу значно поліпшуються з погляду тимчасового опору і кута загину, зменшується кількість непроварів, газових пазирів і шлакових включень порівняно із зразками, звареними струмом нормальної сили.

Таблиця 8

Товщина листів мм	Діаметр електродів мм	Сила струму в амперах	Примітка	
2—4	{	3	Ст. 1—3	
		5		190
4—8	{	4		190
		5		240
8—12	{	5		240
		6		300
		7		340
12—20	{	8		375
		7		340
		8		375
		10	420	

Сектор зварювання Інституту залізничного транспорту знайшов, що найкраща якість зварювання буває для електродів діаметром 6 мм при силі струму 300 а і для електродів діаметром 9 мм при 450 а; швидкість зварювання при цьому зростає в 2—2,5 раза.

Досвід роботи на підвищених силах струму на Уральському заводі важкого машинобудування показав, що залізо товщиною 10 мм

зварюється встик без скосу кромки електродами діаметром 9 мм при силі струму 400—450 а, при цьому зразки показали високі механічні якості (тимчасовий опір 48,2—49,1 кг/мм<sup>2</sup>, здовження—19—20%), а швидкість зварювання збільшилася в 2,5—3 раза.



При цьому для електродів застосовувалася спеціальна товста обмазка ОММ-3, виготовлена за рецептом зварювального комбінату Оргметалу. Дані про цю обмазку наведені в § 46.

Випробування, проведені бригадою НІТО зварювальників Азовсталі, показали, що при зварюванні струмом 400 а електродами діаметром 5 мм продуктивність зварювання збільшується вдвоє проти нормальної сили струму в 180 а при добрій якості зварки. Результати, яких досягли деякі стахановці-зварювальники при роботах на підвищених режимах, наведені на стор. 11—13.

Дальші дослідні роботи і практика стахановців-зварювальників дадуть можливість добрати найкращі режими зварювання при підвищених силах струму і товстих електродів. В таблиці 8 наведені підвищені режими; таблиця складена на основі даних, які вже є і які треба розглядати покищо як орієнтовні. Поряд з цим наводимо табл. 9, в якій подано режими, що раніше застосовувалися, так звані нормальні режими.

Таблиця 9

Товщина листів, мм	Сила зварювального струму в амперах	Діаметр електродів мм
2	40—60	2
3	80—100	2—3
4—6	100—120	3—4
7—8	130—150	
9—10	160—170	4—5
11—15	170—200	
16—20	200—230	5—6

## § 25. Термічні і усадочні напруги при зварюванні

З фізики відомо, що всі тіла при нагріванні збільшуються в об'ємі, тобто розширюються, а при охолодженні стискаються. Цю властивість мають також і всі метали, при чому одні в більшій мірі, інші в меншій. Хоч збільшення об'єму металів при нагріванні незначне, проте його завжди треба враховувати в різних спорудах, які під час своєї роботи зазнають коливань температури. Для цього роблять так звані температурні стыки, тобто дають розрив через певну віддасть стінам, балкам, рейкам і т. д., що безперервно йдуть, залишаючи зазор для вільного розширення при підвищенні температури, або влаштовують різні компенсатори для трубопроводів, проводів і т. д.

Якщо вільному скороченню нагрітого тіла при його охолодженні перешкоджатимуть якінебудь зовнішні або внутрішні зусилля, то в самому тілі утворюються усадочні термічні (теплові) напруги; в зварювальних виробках ці напруги викликають жолоблення і деформації окремих елементів, а в деяких випадках доводять до зруйнування шви і зварні сполучення.

Явища термічних і усадочних напруг дуже складні. Не зважаючи на численні дослідження цього питання, дати цілком



ясну і точну характеристику термічних напруг і кількісно оцінити вплив різних обставин на загальні результати покищо немає можливості. З проведених спроб і досліджень виявилось, що головний вплив на величини термічних напруг при зварюванні чинять такі фактори: 1) площа поверхні основного металу, на яку натоплюється шво, 2) геометричні розміри і форма зварюваної деталі, 3) зона розігріву основного металу. Об'єм нагрітого металу в шві, якість і діаметр електродів, сила струму і швидкість зварювання (при ручному зварюванні) на величину усадочних напруг впливають значно менше. Якщо натопити цілком однакові валики однаковим зварювальним режимом на два листи заліза, з яких перший значно більший від другого, то явища жолоблення будуть помітніші на другому; або якщо на два однакові листи натопити валики так, що площа, яку займає валик, на першому листі буде більша, ніж на другому, то жолоблення буде сильніше на першому.

Усадка основного металу, викликана місцевим нагрівом і далішим охолодженням, залежить від теплопровідності зварюваного металу, коефіцієнта лінійного розширення і інших обставин. Усадка нагрітого металу в середньому для сталі становить 1,2—1,5%.

Усадка може бути поздовжня і поперечна. Поперечні усадочні напруги зростають в міру збільшення поперечного перерізу шва. В усяких зварених елементах електрозварні шви викликають явища і поздовжньої і поперечної усадок, але в одних конструкціях помітніше виявляється поздовжня усадка, в інших — поперечна.

Прикладом поперечної усадки може бути зварювання встик з V-подібною підготовкою двох пластин, які вільно лежать на зварювальному столі. Після нагріття шва метал буде охолоджуватися і стискуватися, в наслідок чого зварні пластини трохи підіймуться і утворять між собою кут, тобто пожолобляться. Нехай ті самі пластини перед зварюванням притиснуті до стола тягарями або затисками і в такому положенні зварені. Пластини після зварювання зберігають це саме положення, бо затиски не дозволяють їм пожолобитися, зате в шві утворюються внутрішні напруги від поперечної усадки. Якщо через якийсь час після зварювання затиски прибрати, то пластини пожолобляться примірно так само, як це було при зварюванні без затисків. Це явище покаже, що в шві залишилися внутрішні напруги, які викликали усадку і жолоблення.

Прикладом поздовжньої усадки є усадка при зварюванні довгих швів, коли листи сполучаються встик. Тут явище усадки обов'язково треба врахувати заздалегідь, інакше при зварюванні може утворитися брак. Якщо два листи для зварювання встик, складені кромками з потрібним зазором (2—4 мм) паралельно один одному, зварюються з одного кінця, то в міру накладання шва зазор між листами буде все зменшуватися. При дальшому зварюванні листи зійдуться щільно і можуть найти

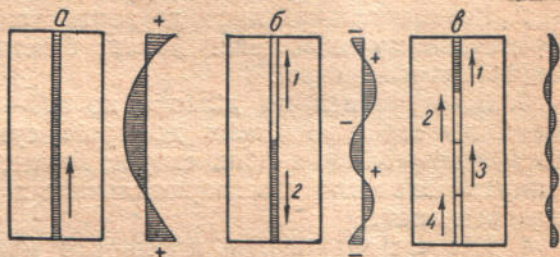


один на другий подібно до ножиць і пожолобитися. Це явище відбувається в наслідок поздовжньої усадки, яка поступово стягує листи. Запобігти цьому можна двома способами.

Перший спосіб полягає в тому, що перед зварюванням дається розходження кромки із сторони, протилежної початковій зварювання, на величину від  $\frac{1}{100}$  до  $\frac{1}{30}$  довжини листа залежно від товщини і ширини листів, наприклад, для листа довжиною 1 м розходження кромки треба взяти 10–30 мм. Перед зварюванням між кромками вставляють клин, який в міру просування шва подають на кінець, регулюючи величину зазору. Зварювання ведеться з одного кінця до другого.

Другий спосіб, який дозволяє уникнути жолоблення листів, полягає в тому, що перед зварюванням кромки листів розміщують паралельно з потрібним зазором (2–4 мм) і прихватують короткими швами (прихватками) один з одним в точках, які поділяють все шво на різні відрізки по 150–200 мм довжиною.

Зварювання виконується по ділянках, при чому кожну ділянку варять в напрямі, супротивному загальному напрямові зварювання, як показано на фіг. 47 в стрілками.



Фіг. 47. Діаграма усадочних напруг

Такий спосіб зварювання називається зварювання супротивно-ступінчастим швом. При цьому способі листи майже не жолобитимуться, бо завдяки коротким швам усадочні напруги, величина яких зростає в міру збільшення довжини шва, тут не досягнуть значної величини і будуть рівномірно розподілені по всьому шву, тоді як при зварюванні підряд ці напруги досягли б значної величини.

Сказане пояснюється фіг. 47, де зображені графічно напруги, які виникають в листах при неперервному зварюванні (фіг. 47 а), при зварюванні від середини шва до його кінців (фіг. 47 б) і при зварюванні супротивно-ступінчастим швом (фіг. 47 в). Напруги, які відмічені знаком плюс,—стискуючі, а знаком мінус—розтягуючі. Зварювання супротивно-ступінчастим швом—добрий засіб боротьби з поздовжнім жолобленням, тому вказаним способом слід завжди варити довгі шви, звертаючи увагу на старання зварювання кратерів в місцях сполучення відрізків швів.

Тому що усадочні напруги залежать від величини зони розігріву основного металу, то для зменшення нагрівання основного металу, особливо при зварюванні тонких листів, рекомендується використовувати підкладки з червоної міді під шви під час їх зварювання. Мідь має велику теплопровідність, отже вона добре відводить тепло від залізних листів і шва при



зварюванні і зменшуватиме нагрів зварюваних листів, в наслідок чого усадочні напруги і жолоблення значно зменшаться.

На явища жолоблення особливо доводиться зважати при зварюванні довгих конструкцій, наприклад двотаврових балок або колон з трьох листів. В цих випадках неправильним порядком зварювання можна викликати таке сильне жолоблення, що виріб доведеться забракувати, бо іноді правка після жолоблення буває така важка і дорога, що вигідніше зробити виріб заново. При додержанні певного порядку зварювання двотаврові балки можна зварити без усякого жолоблення.

При зварюванні довгих двотаврових балок і колон треба додержувати таких правил:

1. Перед зварюванням всі елементи прихватити прихватками через 500—600 мм.

2. Горизонтальний лист до вертикального приварювати при вертикальному положенні балки; бажано, щоб остання була закріплена в пристрої.

3. Шво розбити на ділянки по 300—400 мм і вести зварювання від середини балки до країв супротивно-ступінчастим швом, поперемінно з обох сторін; краще, якщо зварювання вестимуть одночасно два зварювальники з кожної сторони вертикального листа.

4. Під час зварювання перевіряти прямолінійність балки по шнуру або струні; якщо намітиться згин балки у вертикальній площині, то із сторони опуклості проти згину покласти підсилене шво, яке своєю усадкою може виправити невеликий згин.

Коли при зварюванні складних стрижнів шви розміщуються по обидві сторони від центра ваги перерізу, то при правильному порядку зварювання і при відповідно добрих розмірах швів (це вже лежить на обов'язку конструктора) жолоблення можна цілком уникнути. Якщо шви розміщуються по одну сторону від центра ваги, наприклад при зварюванні стрижня таврового перерізу з двох листів, то в цьому випадку жолоблення, не зважаючи на правильний метод зварювання, все-таки матиме місце, при чому такий зварний Т-подібний стрижень вигнеться після зварювання опуклістю в ту сторону, де немає шва (фіг. 48 а). Усунути жолоблення можна такими способами: 1) правкою після зварювання в холодному або гарячому стані; 2) нагріванням валика на опуклу сторону листа; цей спосіб неекономічний і до того ж псує вигляд виробу; 3) попереднім вигином вертикального листа опуклістю в сторону майбутніх швів; тоді при зварюванні такий вигнутий лист в наслідок усадки швів випрямиться.

Останній спосіб рекомендує акад. Е. О. Патон<sup>1</sup>, при чому він дає такий метод визначення стріли прогину  $f$ , тобто величини, на яку треба попередньо вигнути вертикальний лист.

<sup>1</sup> Е. О. Патон и проф. Б. И. Горбунов. Сварка тавров с предварительным выгибом, „Автогенное дело“, № 12, 1936 р.



Треба зварити спробний тавр того самого перерізу довжиною  $l_0 = 1-1,5$  м і виміряти його стрілу прогину  $f_0$  в мм (фіг. 48 а). Тоді для виготовлюваного тавра довжиною  $l$  м стріла прогину  $f$  мм може бути знайдена із формули:

$$f = f_0 \cdot \frac{l^2}{l_0^2}$$

Приклад. Визначити, який треба дати попередній вигин  $f$  для стінки таврового стрижня довжиною  $l = 4,5$  м, якщо у спробного стрижня довжиною  $l_0 = 1,2$  м стріла прогину після зварювання  $f_0 = 3$  мм.

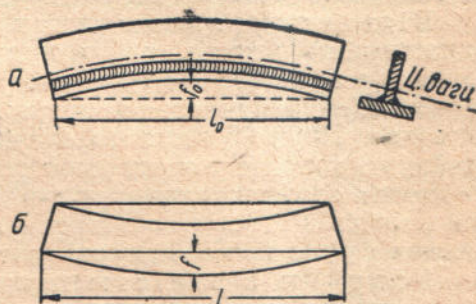
Шуканий прогин буде:

$$f = 3 \cdot \frac{4,5^2}{1,2^2} = \frac{3 \cdot 20,25}{1,44} = 42 \text{ мм.}$$

Попередній вигин роблять вхолонду ударами кувалди по одній кромці стінки тавра, покладеній на плиту.

Внутрішні напруги тієї або іншої величини завжди залишатимуться в зварних швах, бо можливості вільної усадки в більшості зварних конструкцій немає в наслідок того, що намагаються робити конструкції цупкішими, щоб вони менше жолобилися. Величина цих напруг може бути різна, від зовсім незначних до настільки великих, що вони перевищують міцність металу і викликають тріщини по шву або іноді по цілому місцю. Усадочні напруги—шкідливі, бо вони зменшують міцність конструкції, через те що шви зазнають, крім напруг від передачі зовнішніх зусиль, які діють на конструкцію, ще внутрішніх усадочних напруг, що в сумі можуть перевищити дозволений межі. Крім того, внутрішні усадочні напруги ведуть до жолоблення виробів, про що вже говорилося вище.

Усадочні напруги в зварних швах знищуються відпалом, який полягає в нагріві всього виробу до  $650^\circ$  з витримуванням при цій температурі протягом певного часу, з дальшим повільним охолодженням. Відпал застосовується для зварних котлів і посудин під тиском з товщиною стінок більше 20 мм.



Фіг. 48. Деформація Т-подібного стрижня

## § 26. Властивості зварних швів

Різним виробам, виготовлюваним електрозварюванням, доводиться працювати в дуже різноманітних умовах, що визначаються призначенням даного виробу. Парові котли працюють при високих температурах і при тискові, газифікатори для рідкого



кисню працюють при дуже низьких температурах, порядку—120°, багато апаратів хімічної промисловості зазнають корозії і т. д. Для надійності цих конструкцій треба, щоб і метал зварного шва також був міцний і надійний в умовах роботи даного виробу.

Про міцність зварних швів судять за їх механічними властивостями. Механічні властивості зварного шва і натопленого металу визначають такими трьома основними показниками: 1) тимчасовим опором, 2) відносним здовженням, 3) ударною в'язкістю.

Величина тимчасового опору зварного шва залежить головним чином від якості натопленого металу (електрод, обмазка) і від правильного ведення технологічного процесу (довжина дуги, провар, шлакові включення і т. д.). Для маловуглецевих сталей (Ст. 0—Ст. 3) при зварюванні їх електродами з тонкою обмазкою тимчасовий опір при доброму зварюванні для металу шва має середню величину від 30 до 35  $\text{кг/мм}^2$ , для електродів з товстою обмазкою—від 35 до 45  $\text{кг/мм}^2$ .

Відносним здовженням визначається в'язкість або пластичність металу, тобто здатність його піддаватися в холодному вигляді згину, висадженню і іншим деформаціям без зламу. Про вимірювання величини відносного здовження сказано в розділі „Випробування зварних швів“. Для натопленого металу голими і тонкопокритими електродами з маловуглецевої сталі відносне здовження дорівнює в середньому від 4 до 8%, для електродів з товстою обмазкою—від 15 до 25%. Відносне здовження спадає при збільшенні азоту в металі шва.

Ударною в'язкістю характеризується здатність металу витримувати динамічні навантаження (поштовхи, удари, вібрацію) без зруйнування. Ударна в'язкість визначається величиною роботи удару в кілограмометрах, яку треба прикласти для зруйнування зразка з поперечним перерізом в 1  $\text{см}^2$ . Ударну в'язкість визначають на спеціальній випробувальній машині—копрі Шарпі. Чим нижча ударна в'язкість, тим метал крихкіший і легше ламається при ударах. Для натопленого голими або тонкопокритими електродами металу шва ударна в'язкість дорівнює в середньому від 0,5 до 1,5—2,0  $\text{кгм/см}^2$ , для швів, зварених електродами з товстою обмазкою—від 6 до 12—16  $\text{кгм/см}^2$ . На величину ударної в'язкості також впливає термічна обробка металу шва, при чому цей вплив різний для різних сортів обмазок. Для обмазки ЛИМ відпал різко знижує ударну в'язкість, для інших сортів товстих обмазок, навпаки, підвищує.

Вивченням механічних властивостей зварного шва при різних умовах його роботи займається цілий ряд дослідників і у нас і за кордоном. В цьому параграфі ми розглянемо коротко деякі висновки, до яких привели ці дослідження.

Над дослідженням впливу високих температур на механічні властивості зварного шва працював інж. Наймушин<sup>1</sup> (сектор зварювання Науково-дослідного інституту НКШС), який прийшов

<sup>1</sup> „Автогенное дело“ № 8, 1933 р.



до таких висновків (при зварюванні сталі Ст. 1 електродами марки І з крейдяною обмазкою):

1. Тимчасовий опір зварювання зростає (по відношенню до міцності зразків, одержуваних при нормальній температурі) при підвищенні температури і досягає максимуму при  $300^{\circ}$ ; вище  $300^{\circ}$  міцність спадає і при температурі  $600^{\circ}$  має мінімальне значення.

2. Здовження нагрітого металу при підвищенні температури спадає і при  $300^{\circ}$  досягає мінімуму, зрівнюючись із здовженням при цій температурі основного металу. При дальшому підвищенні температури здовження зростає.

Загалом, як основний, так і нагрітий метал при високих температурах зберігає те саме співвідношення своїх механічних властивостей, що і при нормальній температурі, що дозволяє безперешкодно застосовувати зварювання для виробів, які працюють при високих температурах. Практика застосування зварювання в котлобудуванні наочно підтверджує це положення.

Корозію зварних швів вивчали в ЦНДІМАШ; автори досліджень, інж. Кузмак і Сломянська <sup>1</sup>, при дослідженні стійкості проти корозії зварних сполучень в сульфатній кислоті ( $5\%$   $\text{H}_2\text{SO}_4$ ) і лугу ( $\text{NaOH}$ ) прийшли до таких висновків:

1. Зварні сполучення в лугу незалежно від покриття електрода обмазками мають стійкість проти корозії, яка дорівнює стійкості основного металу.

2. При корозії в сульфатній кислоті шво, зварене електродами з товстою обмазкою, має стійкість проти корозії в 2,5—3 рази більшу, ніж при зварюванні голими електродами, які дають безумовно негативні результати.

3. Нормалізація підвищує опір шва корозії в сульфатній кислоті.

4. Шлакові включення і газові пузири, розположені близько до поверхні шва, знижують корозійну стійкість.

Важливою обставиною, що впливає на якість і властивості зварного шва, є низька температура навколишнього повітря при зварюванні в зимову пору. Дослідження, проведені за цим способом на заводі „Красное Сормово“ інж. Маркушевим <sup>2</sup>, привели до таких висновків.

1. Механічна міцність зварних виробів, зварених при низьких температурах ( $-18^{\circ}$ ), значно (до 23%) поступалася перед міцністю виробів, зварених при нормальній температурі ( $+15^{\circ}$ ).

2. Зменшення міцності при зварюванні в умовах низьких температур пояснюється різницею в величині усадочних напруг, яка зростає при зниженні температури навколишнього повітря при зварюванні.

3. Температура в інтервалі від 0 до  $-10^{\circ}$  не впливає на міцність зварювання, при інтервалі від  $-10^{\circ}$  до  $-25^{\circ}$  можна прова-

<sup>1</sup> „Автогенное дело“ № 2, 1936 р.

<sup>2</sup> „Автогенное дело“ № 8, 1934 р.



дити зварювання менш відповідальних виробів і при температурах нижче—25° зварювання не треба провадити зовсім.

Дослідження з цього питання інж. Кузмака (ЦНДІМАШ) показали<sup>1</sup>, що при зварюванні, виконаному при температурі до—20°, ніяких помітних погіршень механічних властивостей шва, що залежать від температури навколишнього середовища, не виявлено. Ці висновки дозволяють проводити зварювальні роботи зимою при температурі не нижче—20° без побоювання за значне погіршення якості зварки.

Питання про вплив на зварне шво дуже низьких температур (до—183°), що мають місце в апаратах хімічної і холодильної промисловості, вивчала лабораторія 1-го Автогенного заводу ВАТ. Дослідження, проведені цією лабораторією, показали, що зміни механічних властивостей нагрітого металу при електродуговому або газовому зварюванні маловуглецевої сталі відповідають загалом змінам тих самих властивостей основного металу. Найкращі результати дає газове зварювання, потім електродугове електродами з товстою обмаскою (ВЭТ № 26); на останньому місці стоїть зварювання електродами з крейдяною обмаскою.

В міру зниження температури міцність зварного сполучення зростає для електродів ВЭТ-26. Так, при температурі +20° тимчасовий опір  $\sigma_b = 35 \text{ кг/мм}^2$ , при —30°  $\sigma_b = 42 \text{ кг/мм}^2$  і при —183°  $\sigma_b = 55 \text{ кг/мм}^2$ .

Для електродів з крейдяною обмаскою відповідні числові дані будуть: при +20°  $\sigma_b = 35 \text{ кг/мм}^2$ , при —30°  $\sigma_b = 37 \text{ кг/мм}^2$  і при —183°  $\sigma_b = 37 \text{ кг/мм}^2$ .

Відносне здовження при низьких температурах різко спадає, доходячи до 0 при—183° як для зварних швів, так і для основного металу. Найбільше здовження і нагрітий і основний метал дають при—60°, але і тут кращі результати дає обмаска ВЭТ-26 (21%) порівняно з крейдяною обмаскою (12%).

Таким чином результати цих досліджень дозволяють застосовувати електродугове зварювання електродами з товстою обмаскою (ВЭТ-26) для виготовлення апаратів із сталей Ст. 1 і Ст. 2, які працюють при дуже низьких температурах<sup>2</sup>.

## РОЗДІЛ V

### ДУГОВЕ ЕЛЕКТРОЗВАРЮВАННЯ КОНСТРУКЦІЙ

#### § 27. Типи зварних конструкцій

Конструкції і виробы, виготовлювані тепер дуговим електрозварюванням, настільки різноманітні, що дати вичерпний опис всіх типів, особливостей проектування і виготовлення в цій книзі немає можливості. Тому в цьому розділі ми розглянемо

<sup>1</sup> „Новости техники“ № 2, 1935 р.

<sup>2</sup> Див. статтю інж. В. Черняк, „Машиностроитель“, 1937, № 9/10.



тільки деякі, найбільш характерні, з існуючих типів конструкцій, виготовлюваних з будівельних сталей.

Основні типи, на які можна поділити зварні конструкції, такі:

1. Посудини і апарати, які працюють під тиском понад 0,5 ат або при високих температурах. До числа їх належать: парові котли, нафтоперегонні і крекінг-апарати, різноманітні апарати хімічної промисловості. Основний матеріал для них—листова сталь від Ст. 1 до Ст. 3 і спеціальні сталі. Товщина стінок досягає значних величин—до 40—50 мм і більше. Потрібні, безумовно, висока якість зварювання і застосування спеціальних методів зварювання, контролю і випробування.

2. Резервуари і листові вироби, які працюють без тиску. Характерними представниками цього типу є різні резервуари для зберігання рідин, газгольдери, газопроводи великих діаметрів, конструкції доменних цехів—пиловловлювачі, скрубери, каупери і т. д., димові труби, тендери паровозні, холодильники нафтоперегонних і крекінг-заводів і т. д.; сюди ж можна залічити і корпуси річкових і морських суден. Основними особливостями більшості цих конструкцій є, поперше, відносно великі габаритні розміри, що досягають кількох десятків метрів (діаметри резервуарів і газгольдерів, висота димових труб, довжина газопроводів); подруге, застосування листової сталі невеликих товщин—в середньому 8—12 мм; потретє, складання і зварювання з окремих габаритних елементів на місці їх установа.

3. Гратчасті конструкції—ферми кроквові, мостові, кранові, гратчасті опори для газопроводів, електропроводів, прожекторів, стріли підіймальних пристроїв, каркаси трубчастих печей нафтоперегонних заводів, металічні свердлові вишки, гратчасті підкранові колони і балки, кліті сходи і ін. Основний матеріал для гратчастих конструкцій—профільне залізо: косинці, швелери, двотаври, полосове, квадратне і кругле залізо і труби діаметром до 8—10".

4. Листові конструкції будівельного типу—балки із суцільною стінкою, важкі підкранові колони, гідротехнічні споруди (щити). Основний матеріал для них—листова сталь від Ст. 0 до Ст. 5, універсальне залізо і в менших кількостях профільне залізо (косинці, швелери і двотаври). Розміри і вага цих виробів досягають дуже значних величин (вага—до кількох десятків тонн).

5. Машинобудівельні конструкції—фундаментні рами, станини різних верстатів, корпуси електричних генераторів і двигунів, шків, візки кранів і вагонів та інші деталі паровозів і вагонів. Різноманітність виробів як щодо форми, так і щодо розмірів та ваги надзвичайно велика. Матеріал використовується найрізноманітніший—листова сталь і профільне залізо всіх сортів та розмірів; окремі ковані і сталіні литі деталі зустрічаються в машинобудівельних конструкціях в найрізноманітніших сполученнях.



Які б не були різноманітні зварні конструкції, існують певні загальні вимоги, які треба виконувати для всіх конструкцій в процесі їх заготовки, складання і зварювання, щоб забезпечити їх високу якість і надійність. Вимоги ці такі:

1. Старанна заготовка і складання елементів зварних конструкцій під зварювання. Всі зазори між зварюваними частинами повинні точно відповідати установленим допускам і вказівкам рисунків. При складанні всі частини повинні підходити одна до одної вільно, без усяких сильних підтискувань, підтягувань і підбивок у холодному стані, бо цим створюються додаткові напруги в металі ще до зварювання, при чому, додавшись до внутрішніх напруг від усадки металу при зварюванні, величину яких важко врахувати, вони в сумі можуть дати вже небезпечну для міцності конструкції величину напруг.

Якщо при складанні виявиться, що одна частина не підходить до другої, то підгонку можна робити тільки при нагріванні або підрізкою, або іншим способом, що забезпечує від появи додаткових напруг.

2. Очищення поверхні металу. Зварювати треба тільки по цілком очищеній до металічного блиску поверхні в місці накладання шва. Бруд, іржа, окалина і ін. дуже погано впливають на якість шва, окислюючи метал шва; до того ж дуга на брудному металі тримається гірше, що веде до частих обривів її. Очистку перед зварюванням можна виконувати: а) ручною сталюю щіткою, б) механічною дисковою сталюю щіткою, яка обертається на гнучкому валу від електродвигуна або пневматичної машини, в) наждачним кругом, г) піскоструминним апаратом, в якому пісок з посудини стиснутим повітрям по шлангу подається сильною струминою на очищуване місце, д) напилком (для дрібних деталей) і наждачним папером.

3. Старанне протоплювання прихваток. Тому що прихватки іноді кладуть малодосвідчені зварювальники або складальники, що не гарантує доброго протоплювання, то при накладанні шва поверх прихватки без розтоплення її під нею залишається непроварене місце. Теча при випробуванні посудин виявляється часто саме в місці накладення прихваток. Щоб запобігти цьому, треба при накладанні шва розтопити прихватку цілком до основного металу або ж, якщо прихватка товста і не може бути протоплена до основного металу, її слід вирубати і варити вже по основному металу.

4. Відсутність жолоблення. Для цього процес зварювання даного виробу має бути проведений так, щоб усадочні напруги були мінімальними, тобто при зварюванні треба враховувати положення швів відносно центра ваги і розмір їх, порядок зварювання та положення виробу при зварюванні.

## § 28. Зварні котли і апарати, які працюють під тиском

Вироби цього типу — надзвичайно відповідальні, тому виготовлення їх зварюванням можна провадити тільки при додер-



жанні певних технічних умов і правил, що забезпечують надійність виробу. Ці „Технічні умови і правила на проектування, виготовлення і приймання зварних парових котлів та посудин, які працюють під тиском“ опубліковані наказом НКВП № 176 від 29 січня 1936 р. і є обов'язкові для всіх підприємств, які виготовляють зварні котли і посудини під тиском.

Основні положення цих правил такі:

1. Поділ всіх котлів і посудин під тиском на два класи залежно від їх відповідальності, при чому для посудин першого класу установлюються вищі вимоги.

2. Певні вимоги, які ставляться до основного матеріалу і до електродів. Від натопленого металу вимагається, щоб для виробів першого класу тимчасовий опір натопленого металу цілком відповідав тимчасовому опорю основного металу: здовження—не менше 18% і ударна в'язкість—не менше 8  $\text{кгм/см}^2$ ; для другого класу відповідно тимчасовий опір—не менше 90% від основного металу, здовження—не менше 12%, ударна в'язкість—не менше 6  $\text{кгм/см}^2$ .

3. Зварювальники повинні відзначати всі шви своїм знаком і проходять періодичні іспити по своїй кваліфікації.

4. Сполучення поздовжніх і поперечних швів барабана допускаються тільки встик по можливості з двобічним зварюванням. Застосування складальних отворів не дозволяється.

5. При зварюванні слід варити тільки при нижньому положенні шва, що є особливо необхідним при застосуванні електродів з товстою обмазкою.

6. Всі посудини і котли повинні пройти певні випробування: механічні—на зразках швів з планок, рентгенівські—на просвічування швів, гідравлічні—на тиск.

Технологічний процес складання і зварювання котлів та інших листових конструкцій діаметром до 3—4 м звичайно такий.

Спочатку із звальцьованих листів складаються окремі пояси (царги, обичайки), які зварюють поздовжніми швами. Сполучення листів встик при складанні здійснюється за допомогою різних пристроїв, з яких найбільш жививаними є два косинці з отворами для стяжного болта. Косинці прихвачуються до листів перед складанням в двох-трьох місцях по довжині шва і підтягуванням гайок на болтах установлюється потрібний зазор між кромками листів, після чого листи схвачуються короткими прихватками (не довше 25—30 мм) через 300—400 мм. Після прихватки косинці з болтами можна відбити для використання на складанні других обичайок.

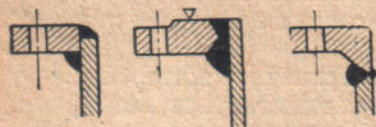
Для вирівнювання кромки у випадку неправильного вальцювання листів користуються струбцинами, клинами і іншими пристроями.

Складені і схвачені обичайки установлюють на спеціальні стелажі з роликами. Ролики використовуються для того, щоб можна було легше і швидше повертати виріб при зварюванні і



виконувати цю операцію завжди при нижньому положенні шва. Складання кільцевих швів виконується за допомогою тих самих пристроїв. Прямолінійність складених обичайок перевіряють натягнутим шнуром або по лінійці.

Днища апаратів під тиск роблять здебільшого опуклі, сферичні і приварюють встик або внапустку. При зварюванні встик бажана обробка кромки у днища на лобовому або на карусельному верстаті або зрубування кромки пневматичним зубилом.



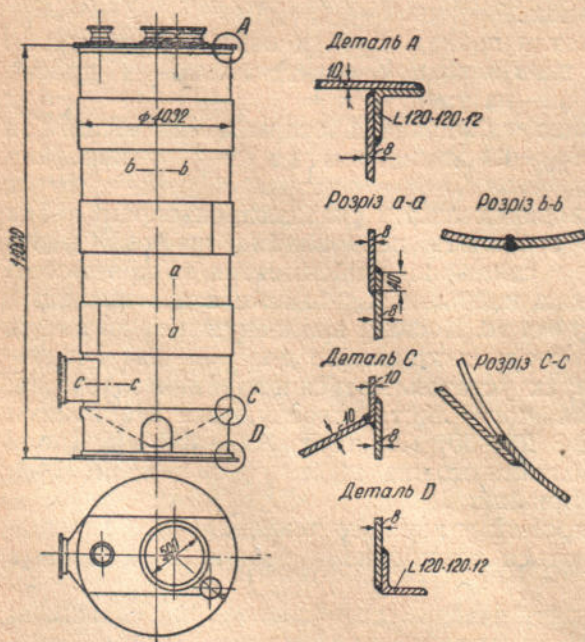
Фіг. 49. Способи приварювання фланців

Сухопарники, люки і патрубкі приварюють без відбортовування; сполучення роблять Т-подібне з підсиленням ребрами і з накладанням швів з двох сторін. Для підсилення вирізу в стінці котла приварюють підсилюючі кільця. Фланці для патрубків приварюють, як показано на фіг. 49.

Трубні ґрати котлів з жаровими трубами приварюють без відбортовок Т-подібним сполученням.

## § 29. Резервуари і листові конструкції, які працюють без тиску

Ці вироби можна поділити на два види—габаритні, тобто такі, розміри яких дозволяють їх в цілому вигляді перевозити із заводу, що їх виготовив, на місце, і негабаритні. Останні виготовляють на заводі у вигляді окремих секцій або заготовок (листи для великих резервуарів) габаритних розмірів, які перевозять на місце установлення виробу і вже там складають і зварюють.



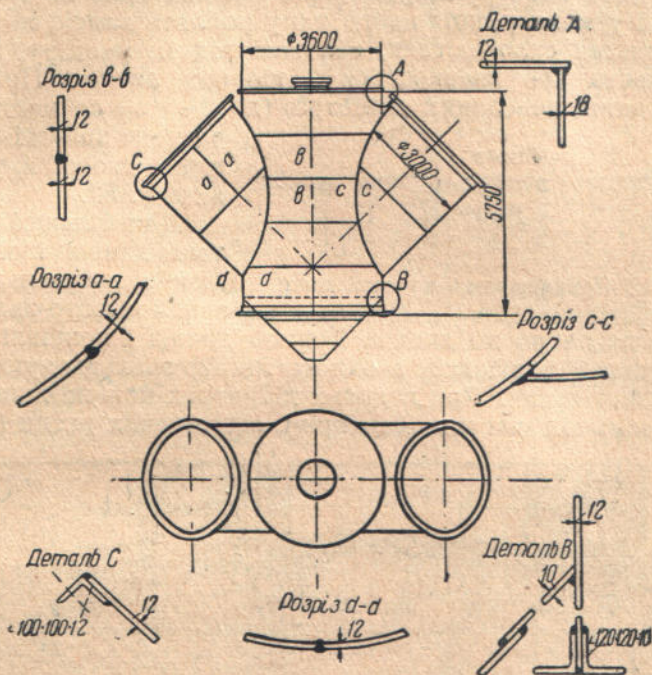
Фіг. 50. Водовідокремлювач газоочистки доменного цеху Азовсталі

Прикладом листових конструкцій може бути водовідокремлювач газоочистки доменного цеху Азовсталі (фіг. 50) діаметром 4032 мм і висотою 11000 мм. Він зварений з листового заліза товщиною 8 мм; верти-



кальні шви — встик з V-подібною підготовкою і двостороннім зварюванням, горизонтальні—внапустку.

Складання внапустку виконувалося в вертикальному положенні водовідокремлювача окремими листами з використанням складальних напрямних планок і прихваткою листів електрозварюванням. Показники для водовідокремлювача такі: загальна



Фіг. 51. Мішок газопровода доменного цеху

вага—14 т, нагріто металу 1,5% від ваги конструкції, довжина зварних швів на 1 м—26 м.

При складанні подібних конструкцій внапустку іноді використовують складальні болти, які ставлять в отвори, пробиті в листах через 500—800 мм. Це дозволяє вести складання незалежно від зварювання і не займати зварювальні машини на прихватку, але викликає потребу в зайвій роботі по заварюванню отворів.

При товщинах заліза більше 8 мм сполучення як поздовжніх, так і кільцевих швів робиться встик з підварюванням із зворотної сторони. Прикладом такої конструкції може бути мішок газопровода доменного цеху (фіг. 51) діаметром 3600 мм і висотою 5750 мм. В конструкції цього мішка є типові зварні сполучення, а саме: 1) приварювання покрівлі до корпусу Т-подібним сполученням без косинців (деталь А), 2) приварювання бічних патрубків до корпусу без відбортовок, а впритул



з двостороннім зварюванням (розріз по С—С), 3) приварювання конічного днища до корпусу без відбортовок двома швами (деталь В).

Мішок склали окремими обичайками, які зварювали по-здовжніми швами, а потім стиковими кільцевими швами. Показники мішка такі: вага з патрубками—8,8 т, нагріто металу—1,4% від ваги конструкції, довжина зварних швів на 1 т—20 м.

Днища у конструкції цього типу роблять плоскі або конічні. Плоскі днища складаються, залежно від їх розміру, з одного цілого листа або зварюються з кількох листів. Приєднання плоских днищ невеликих діаметрів (до 2—4 м) до циліндричної

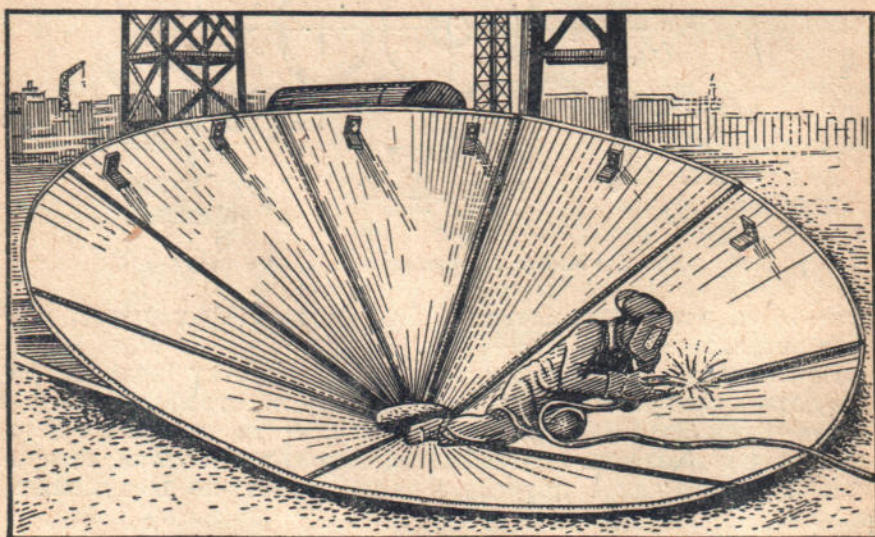
частини здійснюється одним із способів, указаних на фіг. 52.

Для більшої цупкості такі днища іноді укріплюють ребрами цупкості з пологового заліза, привареного на ребро до днища.



Фіг. 52. Приварювання плоских днищ

Конічні днища і покрівлі при малих діаметрах вирізають з одного листа, звальцюють і зварюють швом встик. При великих діаметрах конічні днища складають з кількох частин (секторів), зварюваних встик (фіг. 53).



Фіг. 53. Зварювання днища із секторів

Приєднання їх до циліндричної частини робиться одним із способів, указаних на фіг. 54.

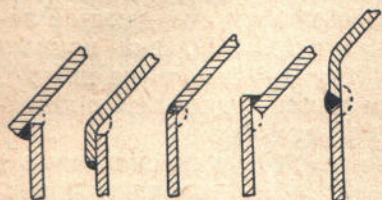
Негабаритні вироби можуть бути двох видів: 1) великої висоти (до 30 м) при відносно невеликому діаметрі (4—8 м), наприклад, каупери, ректифікаційні колони нафтозаводів, водона-



порні башти і т. д., 2) великого діаметра (до 30—40 м) і відносно невеликої висоти (6—15 м), наприклад резервуари для зберігання пального, газгольдери з плаваючим дзвоном і т. д.

Вироби першого виду (колони, каупери) виготовляють на заводі у вигляді окремих обичайок (діаметром до 4—5 м) абож пересилають на місце монтажу окремими звальцьованими листами з підготовленими кромками.

При виготовленні окремими обичайками застосовуються кондуктори, що забезпечують правильність обичайки і її розміри



Фіг. 54. Приварювання конічних дниць

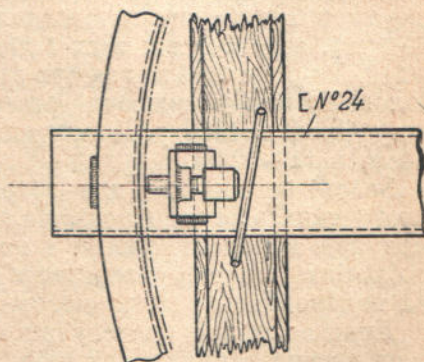
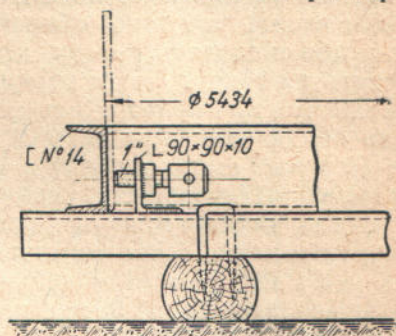
по діаметру з потрібним ступенем точності. Один з типів кондукторів показано на фігурі 55.

Кондуктор являє собою кільце з швелера, зігнуте точно по діаметру, що відповідає зовнішньому діаметру складаної обичайки. Кільце укріплюється на залізних балках прихватками і має гвинтові або клинові затиски для притискування листів обичайки, які вставляються всередину кондуктора. Після вивірки зазорів і перевірки довжини кола обичайки сталлю ролеткою провадиться прихватчування і зварювання вертикальних швів з обох сторін.

Зварені обичайки виймають краном з кондуктора після відтискування клинів або гвинтів і відправляють на складання.

Для складання цілої конструкції з обичайок застосовують два способи:

1. Нарощування однієї обичайки на другу. При цьому способі на фундамент ставиться перша обичайка з дном і на неї за допомогою монтажних стріл або інших підймальних пристроїв ставиться друга обичайка. Для зручності складання встик (виріб цього типу майже завжди робиться встик при товщині заліза від 10 до 20 мм) до верхнього краю нижньої обичайки



Фіг. 55. Деталі пристрою для складання обичайок



приварюють напрямні планочки, між якими заводяться нижні кромки установлюваної обичайки. Для утворення зазору між кромками листів підкладаються куски заліза або дроту, відповідної (3—4 мм) товщини. Після зварювання кільцевого шва ставиться слідуюча обичайка і т. д.

2. Підрошування знизу. Цей спосіб полягає в тому, що спочатку складають верхню обичайку з куполом або покрівлею, потім цю обичайку підіймають на телях, підвищених до стояків, установлюваних навколо місця складання, на висоту, яка відповідає висоті слідуючої обичайки. Цю обичайку складають з листів або підводять готову під верхню обичайку, яка покищо висить на телях. Потім верхню обичайку опускають на нижню, прихвачують і приварюють кільцевим швом, і далі вже підіймають обидві обичайки для складання слідуючої.

Перевага цього способу в тому, що всі роботи по складанню і зварюванню ідуть знизу і виконуються зручно і безпечно в умовах.

Цим способом монтували зварні каупери на Азовсталі в 1935 р. Для підймання були установлені два стояки з труб діаметром 800 мм і висотою 35 м, сполучені вгорі балкою, до якої підвищуються дві талі по 50 т вантажністю. Діаметр каупера—7,8 м, висота—30,5 м, вага—113 т.

Спосіб підрощування можна застосовувати також і для складання невеликих резервуарів. Стояки для підймання ставлять навкруги резервуара на віддалі 0,7—1 м від нього в кількості 4—6 шт. залежно від ваги і діаметра резервуара і вантажності талей. Вперше цей метод був застосований на пропозицію проф. Вологдіна при зварюванні резервуара ємністю 300 м<sup>3</sup> на Далекому Сході в 1929 р. Діаметр цього резервуара—7,7 м, висота—6,4 м, вага—12 т.

Зварні резервуари для зберігання нафтопродуктів виготовляють яких завгодно розмірів. Великою перевагою зварних резервуарів перед клепаними є повна непроникивість зварних швів, що робить зварні резервуари герметичними; цим зберігаються від випаровування легкі погони нафтопродуктів.

Днища зварних резервуарів роблять з листів товщиною 6—8 мм, зварюваних встик або внапустку. Останнє сполучення застосовують частіше, бо воно позбавляє від необхідності робити точне обрізання листів днища по кромках, що здешевлює заготовку.

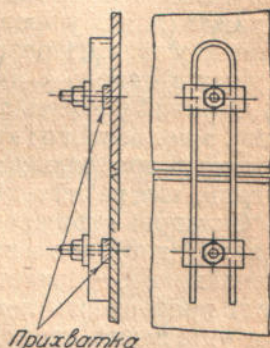
Стінки резервуара складаються з кількох поясів, товщина яких зменшується знизу вгору. Звичайно застосовувана товщина листів для резервуарів діаметром 20—30 м—від 10—12 мм знизу до 4—5 мм вгорі. Пояси сполучають горизонтальними швами рідше встик, а здебільшого внапустку з тих же міркувань, що і для днища.

В цьому випадку розміщення листів дається телескопічне: кожний дальший пояс входить всередину попереднього нижнього. Зовнішнє кутове шво (нижнє) кладеться суцільне, а внутрішнє (стельове)—переривчасте.



Вертикальні шви для товстих листів зварюють встик з двостороннім приварюванням, а іноді з накладками Хена, а для тонких листів (менше 8 мм)—внапустку. Покрівлю роблять з листів товщиною 3 мм, які вільно розкладають в обрешітці крокв і зварюють один з одним внапустку зверху. Покрівля приварюється до корпусу тільки по обводу до верхнього упорного косинця, і таким чином вона має можливість трохи підійматися, „дихати“, при утворенні в резервуарі певного тиску (наприклад при нагріванні резервуара сонячним промінням).

Великі резервуари складають так. Спочатку на клітках високою близько 0,7 м з дерев'яних брусків розкладають листи днища і схвачують один з одним. Потім вкладають нижній кільцевий упорний косинець, який також прихвачується до днища, ставиться і прихвачується перша лінія листів, яка утворює замкнутий пояс. Після цього провадиться зварювання днища супротивним кроком від середини до країв, приварювання нижнього упорного косинця до днища і листів пояса і зварювання вертикальних швів нижнього пояса на висоту 20—30 см. Днище потім заливають водою на висоту 10—15 см і уважно оглядають всі шви днища знизу для визначення місць пропуску. Після виправлення всіх дефектних місць підварюванням або зачеканкою (у випадку потіння шва) днище знизу обсмолюють, воду спускають, і днище разом з першим поясом за допомогою домкратів поступово, в міру прибирання кліток, опускають на піщану основу.



Фіг. 56. Пристрій для складання листів стінок резервуарів

Складання поясів здійснюється підйманням і установленням окремих листів, які ставлять на складальні болти (при кільцевих швах внапустку) або на прихватці з використанням напрямних планок. Для укріплення листів між собою при складанні встик іноді користуються простим пристроєм, який складається з двох болтів, прихвачених до верхнього і нижнього листів (фіг. 56). На ці болти надягається скоба, зігнута з полосового заліза; за допомогою гайок скобу притискають до листів і сполучають їх. Після схвачування листів одного з одним скобу знімають і болти відбивають.

Підймання листів здійснюється дерев'яним або металічним копром з лебідкою, які пересуваються всередині резервуара по днищу на котках, абож, що далеко зручніше і швидше, за допомогою підймальних пересувних кранів, що пересуваються навколо резервуара на гусеничному ході.

Зварювання йде зверху в міру складання резервуара. Спочатку зварюють вертикальні стики, а потім горизонтальні (кільцеві) шви.

Корпус резервуарів випробовують, наливаючи в них воду до



верхнього упорного косинця. Щільність покрівлі випробовують стисненим повітрям при тискові не більше 0,03—0,05 ат, що накачується в простір між рівнем води, наливої в резервуар доверху, і покрівлею. Шви покрівлі змазують мильною водою і по пузирках визначають місця пропуску.

### § 30. Гратчасті конструкції

Всі гратчасті конструкції поділяють на два види—плоскі і просторові. Типічним зразком плоскої конструкції є крокова ферма. Прикладом просторової конструкції є шогла для підвішування електропроводів. В гратчастих конструкціях є основні стрижні (пояси у ферм і стояки в опор) і стрижні грат (розкоси і стояки у ферм і розпірки і зв'язки у опор). Місця сполучення стрижнів одного з одним називаються вузлами.

Стрижні роблять з профільної сталі (косинців, швелерів, двотаврів), з полосового і круглого заліза та труб. Стрижні складаються з одного або кількох профілів залежно від роду і величини зусиль, що на них діють, і мають дуже різноманітний переріз.

Складові стрижні складають за допомогою скоб або струбцинок (фіг. 57) або в різних пристроях. Зварюють складові стрижні звичайно переривчастим швом, при чому проміжки між швами іноді проварюють легким нитковим швом, щоб закрити щілини для уникнення проходження всередину перерізу вологи. Зварені стрижні іноді жолобляться, тоді їх після зварювання треба виправити за допомогою правильних вальців, пресів і скоб або на правильній плиті. Технологічний процес виготовлення плоских зварних гратчастих конструкцій такий:

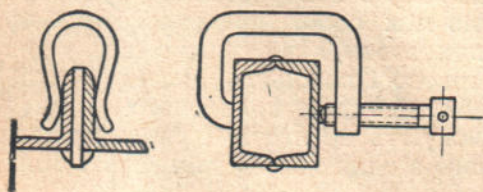
1. Заготовляють окремі стрижні, вузлові косинки, сполучні планки і інші деталі відповідно до рисунка.

2. На складальних стелажах або плацу провадиться розбивка конструкції по рисунку і до стелажів прихвачують або приболчують напрямні коротуни з косинців, які визначають місце кожного стрижня.

3. Розкладають стрижні, планки і інші елементи конструкції по напрямних коротунах, прихвачують їх один до одного і обварюють всі стрижні у вузлах, при

чому шви накладають так, що товщина і розміщення їх повинні відповідати вказівкам на рисунку.

4. Зваривши конструкцію з однієї сторони, її перевертають на другу сторону (кантують), після чого складають стрижні грат з цієї сторони (якщо грати складаються з двох перерізів) і зв'язують їх.



Фіг. 57. Струбцина і скобка для складання стрижнів

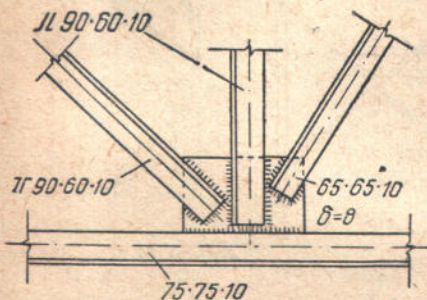


Готову конструкцію перевіряє контролер, далі її зафарбовують і здають на склад готової продукції.

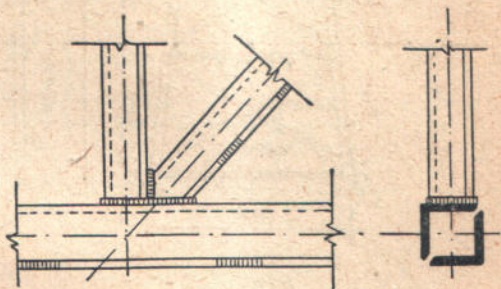
Вузлові сполучення ґратчастих зварних конструкцій відмінні великою різноманітністю і водночас простотою. Вигляд вузла залежить від перерізу стрижнів і роду діючих в них зусиль, бо величиною зусилля визначаються кількість і розміри зварних швів.

Наведемо деякі типи вузлів.

На фіг. 58 показано вузол зварної кроквової фери, стрижні якої складаються з двох розташованих тавром косинців. Стрижні ґрат приварені до косинки; при відсутності косинки ніде було б розмістити потрібну за розрахунком довжину швів при умові



Фіг. 58. Вузол зварної кроквової фери



Фіг. 59. Зварний вузол трубчастого перерізу

додержання перетину центрів ваги стрижнів в одній точці, що обов'язкове для ґратчастих конструкцій.

На фіг. 59 показано зварний вузол з стрижнів трубчастого перерізу, зварених з косинців. Такі стрижні добре працюють на стиск. Вузол утворений зварюванням стрижнів впритул.

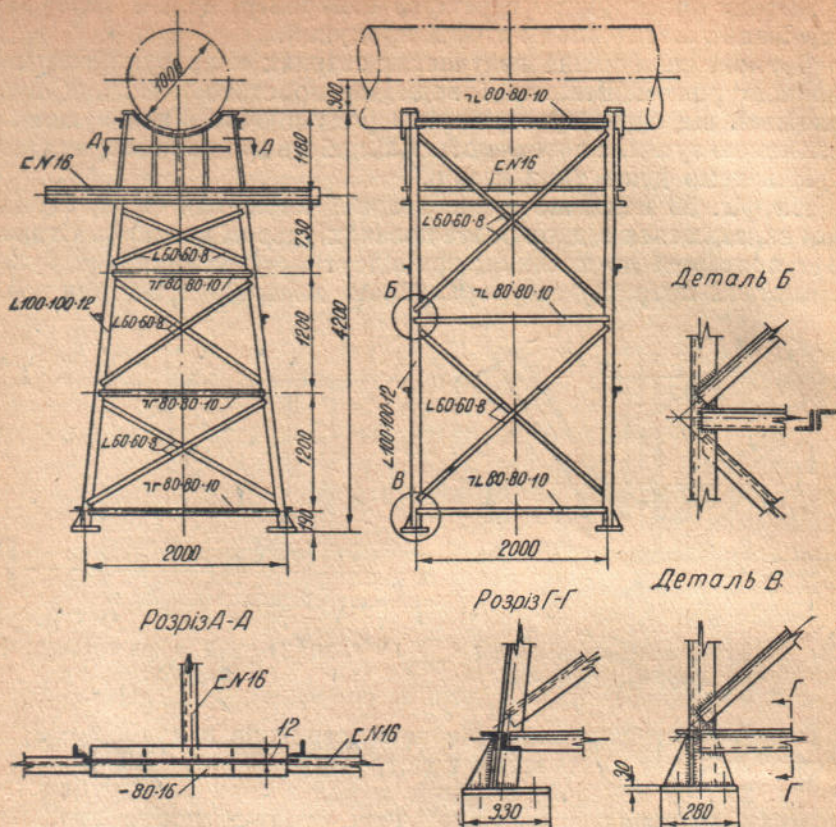
Фіг. 1 (див. розд. I) зображує простий вузол, утворений зварюванням стрижнів без косинок. Тут широка полиця пояса дозволяє розмістити необхідну кількість швів без використання косинки.

Просторові ґратчасті конструкції габаритних розмірів при їх виготовленні поділяють на дві плоскі конструкції, які зварюють звичайним для плоских конструкцій способом. Потім обидві плоскі конструкції ставлять вертикально на потрібній віддалі, сполучають зв'язками і зварюють.

На фіг. 60 показана зварна просторова опора під газопровід Магнітогорського заводу. Вузли опори не мають косинок; тут це досягнуто тим, що умову перетину центрів ваги стрижнів ґрат в одній точці не додержано. Для даної конструкції це можливо зробити з огляду на достатньо сильні стрижні, ґрат і малі зусилля в них. Вага цієї опори—1,43 т; вага нагрітого металу 2%, довжина зварних швів на 1 м—40 м.

Великі просторові конструкції виготовляють на заводі окремими плоскими елементами габаритних розмірів і складають на місці установа.





Фіг. 60. Зварна просторова опора під газопровід

### § 31. Листові конструкції будівельного типу

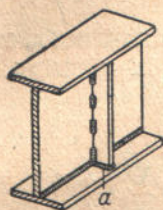
Основним видом конструкцій цього типу є балки двотаврового перерізу із суцільною стінкою, виготовлювані з листів.

Звичайно зварні балки складаються з трьох листів (фіг. 61)—двох горизонтальних листів, поясів або полиць, і одного вертикального листа, або стінки. Іноді горизонтальні листи роблять з двох і рідко з трьох листів, які мають різну ширину для зручності накладання шва. Для стійкості стінки балки підсилюють ребрами цупкості, приварюваними звичайно переривчастим швом до стінок і полиць.

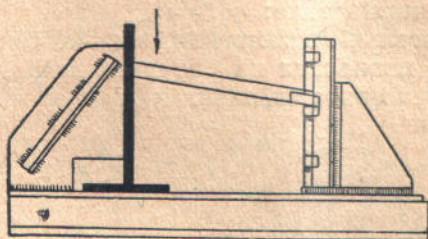
Технологічний процес виготовлення зварних двотаврових балок такий. На горизонтальний лист ставиться вертикально стінка, яка утримується в цьому положенні відповідними пристроями. Один з цих пристроїв, застосовуваний в цехові залізних конструкцій Азовсталі, показано на фіг. 62.



Вертикальний лист після перевірки правильності його положення прихвачується до горизонтального листа з обох боків. Для стійкості вертикального листа до нього також з обох боків прихвачують ребра цупкості, потім їх приварюють до горизонтального листа швами *a* (фіг. 61). Приварювання це треба провадити рівномірно і одночасно з обох боків двом зварювальникам, інакше балка може пожелобитися. Потім приварюють вертикальний лист до горизонтального кутовими швами. Цю роботу треба виконувати двом або чотирьом зварювальникам одночасно



Фіг. 61. Зварна балка з трьох листів



Фіг. 62. Пристрій для зварювання двотаврових балок

з обох боків і з обох кінців. Зварювання ведеться супротивноступінчастим швом в 300—400 мм від середини до країв.

Коли приварювання горизонтального листа буде закінчено, балку повертають на 180°, ставлять на другий горизонтальний лист, і далі операції по зварюванню здійснюються тим самим порядком, як і для першого горизонтального листа. Ребра цупкості приварюють до вертикальної стінки після того, як закінчено зварювання загальних поясів, для чого балки кладуть на стелажі лежма, щоб можна було зварювати ребра нижніми швами.

Вказаний порядок зварювання гарантує від пожелоблень і викривлень балок після зварювання. При невмілому веденні зварювання балка може дуже пожелобитися, і виправлення її зв'язане з великими труднощами.

Показники зварних балок із суцільною стінкою за даними Азовсталі такі: вага натопленого металу—від 1,44 до 2,52% від загальної ваги, довжина швів на 1 м—від 31 до 45 м.

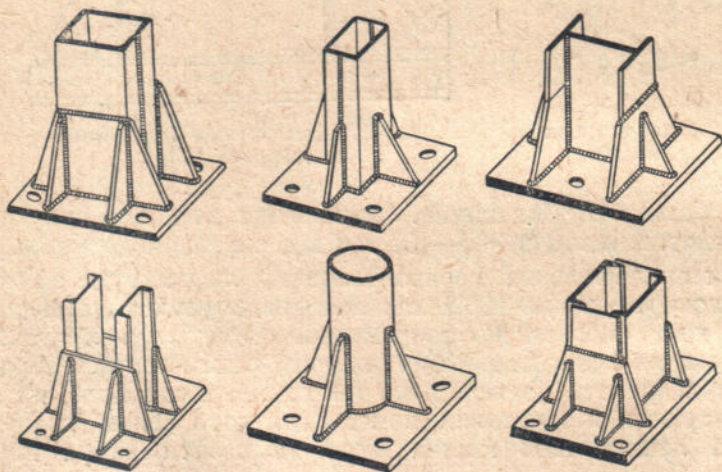
Зварні підкранові колони мають дуже різноманітні конструкції. Легкі колони під невеликі навантаження складаються з прокатних швелерів або двотаврів, зварених між собою в різних комбінаціях, залежно від навантажень, які сприймаються колоною; застосовуються також цільнотягнуті труби діаметром від 6 до 12". На фіг. 63 дано кілька типів перерізів таких колон і конструкцій їх башмаків. Колони середнього типу складаються з двох віток балок, зв'язаних ґратами з косинців, листів або частин швелерів і двотаврів. Колони важкого типу, використовувані в



цехах металургічних заводів (мартенівських, прокатних), несуть навантаження 125—250-тонних кранів і є найважчими будівельними конструкціями. Вага їх досягає 15—30 т, висота до 25—30 м. Конструкція їх в основному нагадує двотаврові балки, тільки трохи складніша.

Щоб поставити виготовлення зварних конструкцій на рівень високих вимог, які виставляються до них сучасною технікою, тепер вироблені технічні умови на виготовлення і приймання металічних зварних конструкцій для промислових споруд. Затверджені наказом НКВП № 96 від 14 січня 1936 р. ці правила передбачають таке:

1. Загальні положення, в яких окремо відзначається необхідність позначати на рисунках зварні шви і їх розміри, окремо виділяючи монтажні шви.



Фіг. 63. Конструкція колон і їх башмаків

2. Вимоги, які ставляться до основного металу і металу шва. Зварне шво, виконане голими і тонкопокритими електродами, повинно мати тимчасовий опір не менше  $30 \text{ кг/мм}^2$  і кут загину не менше  $50^\circ$ .

3. Методи виготовлення зварних металічних конструкцій. При обробці установлені такі допуски по ширині і довжині: 1) при зварюванні внапустку—2—5 мм, 2) при зварюванні встик—1—0 мм. При складанні допуски в зазорах при зварюванні встик установлені в 1—2 мм; зазори між поверхнями, які дотикаються, при зварюванні внапустку допускаються не більше 1 мм. Всі шви зварювальники повинні клеймувати.

4. Допуски в розмірах готових конструкцій установлені для перетину осей елементів (ексцентриситет не більше 10 мм), для відхилення від прямої (не більше 0,001 довжини), для діаметрів (не більше  $\pm 0,002$  від діаметра по рисунку) і т. д.

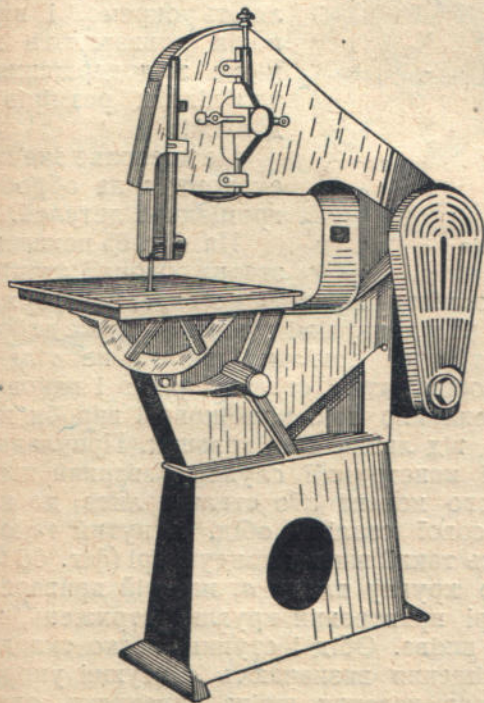


5. Огляд і приймання готових конструкцій. Вказані методи випробування (гасом, гідравлічні і стиснутим повітрям), обмір швів шаблонами, виправлення дефектів.

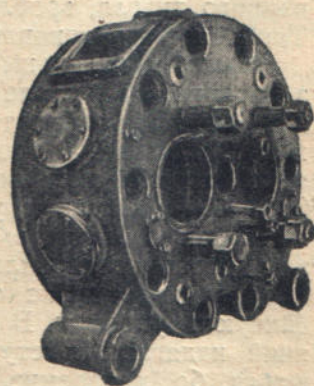
Пункт 6 говорить про зафарбування, маркірування і відправлення готових конструкцій.

### § 32. Машинобудівельні конструкції

Машинобудівельні деталі і конструкції, виготовлювані зварюванням, такі різноманітні, що дати якийнебудь типовий технологічний процес їх виготовлення тут неможливо. Спільним для них буде те, що більшість таких конструкцій складається з окремих частин, часто досить складної форми, вирізаних переважно газовою різкою з листової сталі відповідної товщини. Потім ці окремі частини складають за рисунком і сполучають прихватками. Скла-



Фіг. 64. Станина стрічкової пили



Фіг. 65. Зварна головка двигуна Дізеля

дати можна в спеціальних пристроях—кондукторах, що забезпечують правильне положення окремих частин. Кондуктори завжди використовуються при виготовленні великого числа однакових деталей.

Зварювання провадиться тільки після старанної перевірки правильності складання за рисунком і шаблоном. В цих конструкціях найбільш поширені—кутові шви, суцільні і рідше переривчасті.

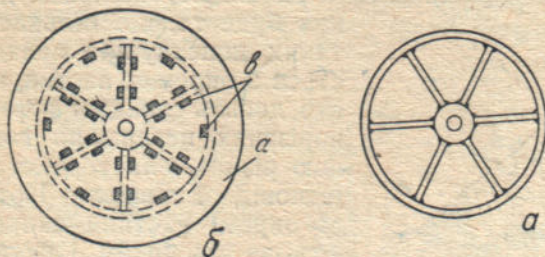
Зварювання в машинобудуванні почали застосовувати значно пізніше, ніж в інших галузях, і тут воно стало замінити і витіс-



няти вже не клепання, а головним чином виливання, створюючи більш досконалі, дешеві, легкі і міцні конструкції.

На фіг. 64, як приклад, показана станина стрічкової пили, виготовлена зварюванням з листової сталі; вага її—160 кг, тоді як така ж лита станина важила 370 кг, отже, тут при заміні виливання зварюванням дістаємо економію на вазі до 57%.

Особливо широко застосовується зварювання в електромашинобудуванні. Корпуси (станини) електричних генераторів великих потужностей, які досягають до 15 м в діаметрі, виготовляють електрозварюванням з необхідним ступенем точності.



Фіг. 66. Зварний шків

Деталі, які мають підлягати обробці, обробляють окремо, і вже потім приварюють на місце з додержанням необхідних розмірів і допусків.

Це дозволяє значно економити на обробці громіздких деталей.

На фіг. 65 показана зварна головка стаціонарного дизеля, зроблена замість литої дуже складної форми.

Такі головки установлені на ряді двигунів і працюють дуже добре.

Машинобудівельні конструкції доцільно робити не тільки з листової сталі, але застосовувати і сталеве литво і вивокки для окремих елементів. Звичайно такі комбіновані вироби виходять дешевші і простіші від литих або кованих. Прикладом такої простої комбінованої конструкції служить зварний шків (фіг. 66а). Ступиця у нього кована або стальна лита, до неї приварюють спиці з полосової сталі і обід, зігнутий також з полосової сталі. Складають такий шків у кондукторі (фіг. 66 б).

Кондуктор являє собою круглу плиту *a*, на якій приварені фіксуючі упори *в*. В центрі приварений круглий стрижень, на який надягається ступиця шківів. Обід і ступиці легко складаються, бо їх взаємне розміщення визначають фіксуючі упори. Закладені в такий кондуктор частини шківів схвачують одну з одною електрозварюванням. Складання подібних виробів без кондуктора було б досить трудомною операцією.

## РОЗДІЛ VI

### ОСНОВИ РОЗРАХУНКУ ЗВАРНИХ ШВІВ І СПОЛУЧЕНЬ

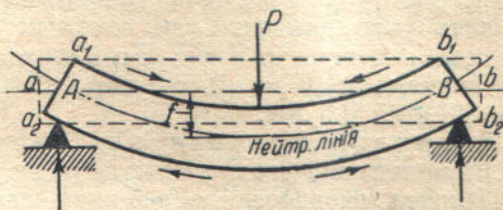
Розрахунок зварних швів і сполучень провадиться: 1) для визначення розмірів і кількості швів проектованої конструкції з тим, щоб конструкція відповідала умовам міцності і економічності; 2) для перевірки міцності виконаної зварної конструкції відповідно до діючих на конструкцію зусиль.



Нижче викладені основні методи розрахунку найбільш поширених зварних сполучень. Знання цих методів дає можливість уміти виконувати нескладні розрахунки, потреба в яких нерідко зустрічається у виробничих умовах.

### § 33. Види зусиль

Кожна конструкція повинна бути міцною. Під міцністю розуміється властивість всієї конструкції в цілому і її окремих елементів чинити опір без зруйнування і в межах допустимих деформацій<sup>1</sup> зусиллям, які діють на цю конструкцію і її окремі елементи. Зусилля можуть діяти по різному. Основні види зусиль такі:



Фіг. 67. Згин балки на двох опорах

#### 1. Розтягання.

Сили прикладені до елемента так, що викликають деформацію здовження, діючи по одній прямій в різні сторони.

#### 2. Стиснення.

При стисненні зусилля на елемент діють так, що прагнуть його вкоротити, тобто викликати деформацію стиску. Сили при цьому діють по одній прямій і напрямлені одна до одної.

#### 3. Згинання.

При згинанні зусилля діють на елемент так, що намагаються його зігнути в площині дії сил. Наприклад балка  $AB$  на двох опорах (фіг. 67) під дією тягара  $P$  зазнає згинання. Деформації, яких набуває балка при згинанні, такі: в верхніх частинах балка вкорочується порівняно з початковою довжиною  $ab$  (довжина  $a_1 b_1$  менша від довжини  $ab$ ), тобто тут діють сили стиснення, в нижніх частинах балка здовжується порівняно з початковою довжиною  $ab$  (довжина  $a_2 b_2$  більша від довжини  $ab$ ), тобто тут діють сили розтягання. Крім того, вісь балки  $ab$  під впливом тягара  $P$  при згинанні з прямої перетворюється на криву. Величина  $f$ , на яку прогнулася балка, називається стрілою прогину. Середня лінія  $ab$ , довжина якої залишилася після згинання незмінною, називається нейтральною лінією. Нейтральна лінія збігається з центром ваги перерізу балки.

#### 4. Зріз.

При зрізі зусилля діють в площині поперечного перерізу елемента і прагнуть його зруйнувати з деформацією зсуву, тобто так, що одна частина елемента зсувається при зруйнуванні по відношенню до другої.

#### 5. Кручення.

Кручення полягає в тому, що елемент скручується навколо своєї поздовжньої осі під впливом діючої на нього пари сил. Прикладом роботи на кручення можуть бути вали

<sup>1</sup> Деформацією називається зміна початкової форми елемента під дією на нього зусиль.



трансмiсій, моторів, двигунів внутрішнього згорання і т. д. В зварних конструкціях розрахунки на кручення зустрічаються дуже рідко. Розрахунки зварних швів провадяться головним чином на розтягання або стиснення і на зріз, а також і на згинання.

### § 34. Напряга і тимчасовий опір

Величина зусилля, яке діє на якийнебудь елемент конструкції, визначається за напрягою, створюваною цим зусиллям в елементі. Сама собою величина зусилля ще нічого не говорить про міцність того елемента, до якого це зусилля прикладено. Наприклад, розтягуюче зусилля в 6 т для косинця  $25 \times 25 \times 3$  мм є руйнуюче, тоді як це ж саме зусилля вільно витримає косинець  $45 \times 45 \times 5$  мм.

Напряго називається зусилля, яке припадає на  $1 \text{ см}^2$  площі поперечного перерізу елемента.

Напряга визначається діленням величини зусилля, вираженого в кг, на площу елемента, виражену в  $\text{см}^2$ , тобто

$$R = \frac{P}{F} \text{ кг/см}^2,$$

де— $R$  напряга в  $\text{кг/см}^2$ ,  $P$ —сила в кг,  $F$ —площа поперечного перерізу в  $\text{см}^2$ .

Приклад 1. Визначити напрягу, яку зазнають косинці  $25 \times 25 \times 3$  і  $45 \times 45 \times 5$  мм при дії на них розтягуючої сили  $P$  в 6 т на кожний.

По сортаменту за ОСТ знаходимо, що для косинця  $25 \times 25 \times 3$  площа поперечного перерізу  $F_1 = 1,43 \text{ см}^2$ , для косинця  $45 \times 45 \times 5$   $F_2 = 4,30 \text{ см}^2$ . Таким чином напряга для косинця  $25 \times 25 \times 3$  бує:

$$R_1 = \frac{P}{F_1} = \frac{6000}{1,43} \approx 4200 \text{ кг/см}^2,$$

а для косинця  $45 \times 45 \times 5$  напряга бує,

$$R_2 = \frac{P}{F_2} = \frac{6000}{4,30} \approx 1400 \text{ кг/см}^2.$$

Якщо прикласти до стрижня якенебудь розтягуюче зусилля, яке цей стрижень витримає, і потім почати поступово збільшувати це зусилля, то, очевидно, напряга в стрижні також зростатиме, і нарешті настане такий момент, коли матеріал стрижня не витримає діючого на нього зусилля, що зросло, і стрижень розірветься, тобто відбудеться зруйнування.

Найбільша напряга, після якої настає зруйнування стрижня при розтяганні, називається тимчасовим опором на розтягання і позначається буквою  $\sigma_b$ .

Таким чином величиною тимчасового опору визначається міцність матеріалу і зробленого з нього елемента конструкції. З двох сортів конструкційної сталі з тимчасовим опором  $\sigma_{b1} = 3800 \text{ кг/см}^2$  і  $\sigma_{b2} = 4200 \text{ кг/см}^2$  друга сталь міцніша від першої.



Таблиця 10

Матеріал	Марка матеріалу	Найменший тимчасовий опір кг/см <sup>2</sup>
Конструкційна прокатна сталь за ОСТ 4125	Сталь марки Ст. 5 підвищ. . . . .	5000
	„ „ „ 4 норм. . . . .	4200
	„ „ „ 3 норм. . . . .	3800
	„ „ „ 3 зниж. . . . .	3800
	„ „ „ 2 норм. . . . .	3400
	„ „ „ 2 зниж. . . . .	3400
Стальне литво	„ „ „ 1 норм. . . . .	3200
	Лита сталь Л <sub>2</sub> . . . . .	5000
	„ „ „ Л <sub>2</sub> зниж. . . . .	4800
Чавун	„ „ „ Л <sub>1</sub> . . . . .	3600
	Чавун { стиснення . . . . .	6000
Метал зварювального дроту ОСТ 20-32	{ згинання . . . . .	3200
	Нагрітий { розтягання . . . . .	3000
	метал { зріз . . . . .	2400

В табл. 10 дано величини найменшого тимчасового опору для різних сортів сталі і чавуну.

### § 35. Допустимі напруги

Цілком очевидно, що не можна піддавати елементи конструкцій таким напругам, які дорівнювали б або були б близькі до тимчасового опору, бо це викликало б при найменшому перенавантаженні зруйнування конструкції. Тому найбільші розрахункові напруги приймаються нижчі від тимчасового опору в кілька раз, тобто конструкції дається певний запас міцності.

Допустимою напругою називається та найбільша напруга, що приймається при розрахунку конструкцій для даного матеріалу, роду навантаження і зусилля, яке можна допустити без появи в конструкції небезпечних для її міцності деформацій.

Відношення величини тимчасового опору до величини допустимої напруги називається запасом міцності або коефіцієнтом міцності.

Отже

$$n = \frac{\sigma_b}{R}$$

де  $n$ —запас міцності,  $\sigma_b$ —тимчасовий опір,  $R$ —допустима напруга.

Приклад 2. Визначити запас міцності для Ст. 3 норм., для якої  $\sigma_b = 3800$  кг/см<sup>2</sup>,  $R = 1400$  кг/см<sup>2</sup>.

$$n = \frac{3800}{1400} = 2,7.$$

Величини прийнятих допустимих напруг мають велике значення для економіки країни. Чим нижчі допустимі напруги, тим, очевидно, для даного навантаження потрібний більший переріз



елементів конструкції; конструкція виходить важча, дорожча, менш вигідна. З другого боку, надто високі допустимі напруги викликають перевантаження конструкцій, роблять їх небезпечними і скорочують строк їх роботи.

Величини допустимих напруг установлюються законодавчим порядком як обов'язкові при розрахунках конструкцій для даного роду матеріалів, навантажень і зусиль. Для зварювання металічних конструкцій і споруд тепер допустимі напруги приймаються по „Технічних умовах і нормах проектування металічних конструкцій та споруд“, затверджених наказом № 198 по Головбудпрому НКВП від 5 жовтня 1934 р.

Таблиця 11

**Допустимі напруги для конструкційних сталей, кг/см<sup>2</sup> (§ 21 ТУ і Н)**

Характер дії навантаження	Рід зусилля	Марки сталей		
		Ст. 5 підвищ.	Ст. 3 норм. Ст. 4 норм.	Ст. 3 зниж. Ст. 2 норм. Ст. 1 норм.
При дії основних навантажень	Розтягання, стиснення, згинання . . . . .	1750	1400	1200
	Зріз . . . . .	1300	1050	900
	Змінання торцевих поверхонь	2600	2100	1800
При спільній дії основних і випадкових навантажень	Розтягання, стиснення, згинання . . . . .	2100	1700	1450
	Зріз . . . . .	1600	1300	1100
	Змінання торцевих поверхонь	3150	2550	2200

В табл. 11 дано допустимі напруги для сортів конструкційних сталей (прокатного металу) залежно від різних навантажень і зусиль. Числа, обведені рамкою (1750, 1400 і 1200), корисно запам'ятати, бо знання їх полегшує швидкий розрахунок, який нерідко може бути потрібний у виробничих умовах.

Для нагнаного металу зварного шва також установлені допустимі напруги залежно від характеру навантажень і роду зусиль. В табл. 12 даються ці допустимі напруги.

Числа, обведені рамкою (1000, 900 і 720), бажано запам'ятати, бо знання їх буде дуже часто потрібне у виробничих умовах.

Таблиця 12

Рід навантаження	Рід зусилля	Допустимі напруги при $\sigma_b = 3000$ кг/см <sup>2</sup>	Допустимі напруги при $\sigma_b$ кг/см <sup>2</sup>		
			2900	2700	2500
При дії основного навантаження	Стиснення . . . . .	1000	970	900	830
	Розтягання . . . . .	900	870	810	750
	Зріз . . . . .	720	700	650	600
При спільній дії основних і випадкових навантажень	Стиснення . . . . .	1200	1160	1080	1000
	Розтягання . . . . .	1100	1060	990	920
	Зріз . . . . .	870	840	780	720



Примітки: 1. Наведені в таблиці допустимі напруги для зварного шва стосуються зварних конструкцій, виготовлюваних із Ст. 3 норм. і знижених матеріалів до Ст. 1 включно і при застосуванні голих або тонкообмазаних електродів.

2. Для стельових швів допустимі напруги приймаються в розмірі 0,8 від наведених в цій таблиці значень.

3. Для швів, виконуваних на монтажі, допустимі напруги приймаються в розмірі 0,9 від наведених у цій таблиці значень.

## § 36. Розрахунок стикових швів і сполучень

Розрахунок стикових швів провадиться за формулою (§ 57 ТУ і Н):

$$P = m \cdot l \cdot R, \quad (1)$$

де  $P$ —сила, яка діє на шво, в кг,  $m$ —розрахункова висота робочого перерізу шва, що дорівнює найменшій товщині зварюваних частин, в см,  $l$ —розрахункова довжина шва в см,  $R$ —допустима напруга матеріалу шва на розтяг або стиснення в кг/см<sup>2</sup>.

За цією формулою, знаючи три величини, можна визначити четверту, отже, можна визначити такі, крім сили  $P$ , величини:

1) довжину шва  $l$ , знаючи силу  $P$ , товщину  $m$  і допустиму напругу  $R$ , за формулою:

$$l = \frac{P}{m \cdot R}; \quad (2)$$

2) потрібну товщину  $m$ , знаючи силу  $P$  і допустиму напругу  $R$  за формулою:

$$m = \frac{P}{l \cdot R}; \quad (3)$$

3) перевірити напругу  $R$ , яка є в шві, знаючи величину сили  $P$  і розміри шва  $l$  і  $m$ , за формулою:

$$R = \frac{P}{l \cdot m} \text{ кг/см}^2. \quad (4)$$

Напруга, одержана за формулою (4), повинна бути рівною або трохи меншою від допустимої напруги. В противному разі шво буде перевантажене і треба буде збільшити його розміри  $m$  або  $l$  або зменшити силу  $P$ , яка діє на нього.



Фіг. 68. Стикове шво, яке працює на розтягання

опір шва  $\sigma_p = 3000$  кг/см<sup>2</sup>. За табл. 12 приймаємо допустиму напругу  $R = 900$  кг/см<sup>2</sup>. Тоді за формулою (1) маємо:

$$P = m \cdot l \cdot R = 1,4 \cdot 20 \cdot 900 = 25\ 200 \text{ кг} = 25,2 \text{ т.}$$

Приклад 4. Визначити товщину стикового шва при довжині  $l = 150$  мм і розтягуючій силі  $P = 21$  т.



За формулою (3) маємо:

$$t = \frac{P}{l \cdot R} = \frac{21000}{15 \cdot 900} = 1,55 \text{ см} = 15,5 \text{ мм}; \text{ приймаємо } t = 16 \text{ мм.}$$

Приклад 5. Перевірити напругу в стиковому шві довжиною 300 мм і товщиною 8 мм, розтягуваному силою  $P = 20 \text{ т}$ .

За формулою (4) маємо:

$$R = \frac{P}{l \cdot t} = \frac{20000}{30 \cdot 0,8} = 833 \text{ кг/см}^2 < 900 \text{ кг/см}^2.$$

Напруга вийшла менше допустимої, отже, шво відповідає вимогам міцності.

Приклад 6. Нехай дві планки із сталі марки Ст. 1 зварені встик. Розміри планок такі: ширина  $l = 200 \text{ мм}$  і товщина  $t = 14 \text{ мм}$ . Визначимо, яке зусилля  $P$  на розтягання може витримати сама планка. Користуючись формулою стор. 100, маємо:  $P_0 = R \cdot F$ , де  $R$  — допустима напруга основного металу,  $F$  — площа поперечного перерізу планки;  $F = t \cdot l = 1,4 \cdot 20 = 28 \text{ см}^2$ .

Приймаємо за табл. 11 для Ст. 1  $R = 1200 \text{ кг/см}^2$ . Тоді маємо:

$$P_0 = 1200 \cdot 28 = 33600 \text{ кг} = 33,6 \text{ т.}$$

Порівнюючи силу  $P_0$  з одержаною в прикладі 3 силою  $P = 25,2 \text{ т}$  для зварного шва встик тих самих розмірів, що і зварювані планки (основний метал), ми бачимо, що шво може витримати менше навантаження, ніж основний метал, тобто стикове шво за розрахунком виходить менш міцне, ніж основний метал. Це цілком зрозуміло, бо допустима напруга на зварне шво установлена менша, ніж на основний метал.

При рівних поперечних перерізах шва і основного металу розрахункова міцність стику залежить тільки від відношення допустимих напруг на зварне шво і основний метал. Для розглядуваного прикладу маємо:

$$\frac{R_{\text{зварн. шва}}}{R_{\text{основн. мет.}}} = \frac{900}{1200} = 0,75,$$

тобто зварне шво дає тільки 75% розрахункової міцності основного металу.

При зварюванні стикового шва майже завжди робиться підсилення його з однієї або з обох сторін на висоту від 2 до 5 мм з кожної сторони. Це підсилення, яке не приймається до уваги при розрахунку, дуже сильно (в позитивному розумінні) впливає на міцність шва. Численні експериментальні дослідження, виконані різними дослідними організаціями (наприклад робота проф. Г. А. Ніколаєва в Інституті інженерних досліджень НКШС), підтверджують, що при підсиленні шва, рівному 30% і більше від товщини основного металу, зразки, як правило, дають розрив по цілому металу, тобто в цьому випадку міцність зварного сполучення не менше 100%. Якщо при розрахунку прийняти до уваги і підсилення, то розрахунок також покаже, що стикове зварювання має міцність 100%.



Для підвищення міцності стикового шва можна, не вдаючись до підсилення його або постановки накладок, збільшити довжину шва порівняно з довжиною (шириною) основного металу, зробивши косий стик. В практиці такі стики часто застосовують, наприклад, в поясах і стінках зварних балок.

Норми допустимих напруг на зварні шви (табл. 12) дані для металу шва, натопленого електродами з крейдяною обмазкою, при яких тимчасовий опір металу шва прийнято в  $3000 \text{ кг/см}^2$ . Тепер електроди з якісними обмазками, які дають метал шва з більшим тимчасовим опором і не нижчим від основного металу. Для таких електродів допустимі напруги на зварне шво, розуміється, треба брати підвищені. Застосування якісних електродів у нас в Союзі тепер має поширення головним чином в котлобудуванні, де зварні шви треба розраховувати за спеціальними нормами, з урахуванням підвищеної якості зварних швів.

### § 37. Розрахунок кутових швів

При розрахунку умовно приймають профіль кутового (валикового) шва у вигляді прямокутного трикутника  $AOB$  (фіг. 69) з катетами  $OA$  і  $OB$ , по яких відбувається стоплювання натопленого металу з основним. Гіпотенуза  $AB$  є лінією вільної поверхні шва; ця вільна поверхня шва при розрахунках приймається за площину. Катети  $OA$  і  $OB$  здебільшого при зварюванні кутового шва робляться рівними, і тоді переріз шва являє рівнобедрений прямокутний трикутник.

Зруйнування кутового шва відбувається по площині  $OCC_1O_1$  (заштрихованій), що збігається з перпендикуляром  $OC$ , опущеним з вершини кута  $O$  на гіпотенузу  $AB$ . Довжина перпендикуляра  $OC = m$  називається висотою шва або небезпечним перерізом шва.

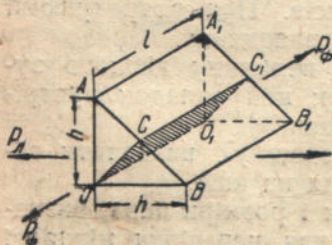
Розрахункова довжина шва  $l = AA_1 = BB_1 = OO_1 = CC_1$  приймається рівною повній дійсній довжині з вирахуванням  $10 \text{ мм}$  (на кратер в кінці шва і непровар на початку). Площа площини зруйнування шва  $OCC_1O_1$  дорівнює добуткові висоти шва (небезпечного перерізу)  $m$  на розрахункову довжину шва  $l$ , тобто

$$\text{пл. } OCC_1O_1 = m \cdot l. \quad (5)$$

Тому що в рівнобедреному прямокутному трикутнику висота ( $OC = m$ ) дорівнює  $0,7$  катета ( $OB = OA = h$ ), то

$$m = 0,7 \cdot h. \quad (6)$$

$$\text{пл. } OCC_1O_1 = 0,7 \cdot h \cdot l. \quad (7)$$



Фіг. 69. Профіль кутового шва

З формули (5)



Ця площина і приймається при розрахунках кутових швів при визначенні напруг на шво.

Якщо зусилля діють на шво в напрямі його довжини (сили  $P_{\phi}$  на фіг. 69), то розрахунок ведеться по допустимих напругах на зріз.

Якщо зусилля на шво діють по лінії, перпендикулярній до напрямку довжини шва (сили  $P_a$  на фіг. 69), то в цьому випадку розрахунок ведеться по допустимих напругах на розтягання або стиснення, залежно від напрямку діючих на шво зусиль.

При флангових швах зусилля діє вздовж шва, паралельно до напрямку його довжини. Тому флангові шви розраховуються на зріз за формулою (§ 58а, ТУ і Н):

$$P_{\phi} = 0,7 h \cdot l \cdot t, \quad (8)$$

де  $P_{\phi}$  — діюче зусилля на флангове шво в кг,  $h$  — розмір катета шва в см,  $l$  — розрахункова довжина шва в см,  $t$  — допустима напруга матеріалу шва на зріз в кг/см<sup>2</sup> (приймається за табл. 12).

При торцевих (лобових) швах зусилля діє перпендикулярно до напрямку довжини шва, і тому лобові шви розраховують на розтягання або стиснення за формулою (§ 58б ТУ і Н):

$$P_a = 0,7 h \cdot l \cdot R, \quad (9)$$

де  $P_a$  — допустиме зусилля на лобове шво в кг,  $h$  — розмір катета шва в см,  $l$  — розрахункова довжина шва в см,  $R$  — допустима напруга матеріалу шва на розтягання або стиснення в кг/см<sup>2</sup> (за табл. 12).

Перейдемо до розгляду деяких окремих випадків розрахунку кутових швів.

### § 38. Розрахунок флангових швів

Флангові шви в практиці виготовлення зварних металічних конструкцій дуже поширені, наприклад їх застосовують у вузлах ґратчастих конструкцій (кроквових і мостових ферм і т. д.), при приварюванні стрижнів ґрат і поясів. При розрахункові флангових швів можуть зустрітись такі випадки:

1. Визначити довжину шва, знаючи величину діючого зусилля і товщину шва (розмір катета  $h$ ); цей випадок зустрічається головним чином при конструюванні.

2. Знаючи розміри шва (довжину і товщину), визначити величину найбільшого допустимого зусилля на шво.

3. Знаючи величину діючого зусилля і розміри шва, визначити напругу, яка утворюється в шві, для перевірки міцності зварного сполучення.

Для першого випадку маємо за формулою (8):

$$l = \frac{P_{\phi}}{0,7 h \cdot t} \quad (10)$$



Для другого випадку маємо формулу (8) і для третього випадку маємо за формулою (8):

$$t = \frac{P_{\phi}}{0,7 h \cdot l} \quad (11)$$

Розглянемо приклади розрахунку на ці випадки. В усіх прикладах приймаємо тимчасовий опір металу шва в  $3000 \text{ кг/см}^2$ .

**Приклад 7.** Визначити довжину флангових швів, якими приварено полове залізо перерізом  $150 \times 12 \text{ мм}$ , розтягуване силою  $P_{\phi} = 21 \text{ т} = 21\,000 \text{ кг}$  (фіг. 70). Товщину шва по катету  $h$  беремо рівною товщині приварюваної полоси, тобто  $h = 1,2 \text{ см}$ . Допустиму напругу  $t$  на зріз беремо за табл. 12,  $t = 720 \text{ кг/см}^2$ . За формулою (10) матимемо:

$$l = \frac{P}{0,7 \cdot h \cdot t} = \frac{21000}{0,7 \cdot 1,2 \cdot 720} = 34,7 \text{ см} = 347 \text{ мм.}$$

До одержаної розрахункової довжини в  $347 \text{ мм}$  додамо ще по  $10 \text{ мм}$  на кратери з кожної сторони, тобто матимемо фактичну довжину обох швів:

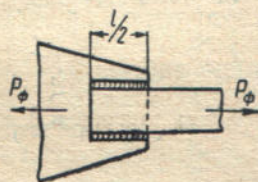
$$l_{\phi} = 347 + 20 = 367 \text{ мм,}$$

округляємо до  $l_{\phi} = 370 \text{ мм}$ .

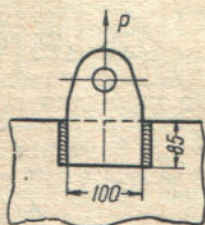
Отже, на кожну сторону маємо шво довжиною

$$\frac{l_{\phi}}{2} = \frac{370}{2} = 185 \text{ мм.}$$

**Приклад 8.** Для монтажу конструкції вагою  $9,6 \text{ т}$  до неї приварили для захвату підймальних строп дві скоби із заліза товщиною  $16 \text{ мм}$  фланговими швами довжиною по  $85 \text{ мм}$  з кожної сторони (фіг. 71). Перевірити міцність приварки скоб.



Фіг. 70



Фіг. 71

Тому що при підйманні може зустрітись такий випадок що навантаження все передається на одну скобу (при нерівномірному підйманні), то приймемо, що весь тягар  $P$  в  $9,6 \text{ т}$  сприймається однією скобою, тобто двома фланговими швами.

Іх розрахункова довжина  $l = 2(8,5 - 1) = 15 \text{ см}$ . Товщину шва по катету  $h$  приймаємо рівною товщині скоби, тобто  $h = 1,6 \text{ см}$ . Тоді за формулою (11) маємо:

$$R_s = \frac{P_{\phi}}{0,7 h \cdot l} = \frac{9600}{0,7 \cdot 1,6 \cdot 15} = 570 \text{ кг/см}^2.$$

Тому що допустима напруга на зріз для монтажного зварювання (за табл. 12)  $R_{sm} = 720 \cdot 0,9 = 650 \text{ кг/см}^2$ , а одержано напругу в шві в  $570 \text{ кг/см}^2$ , тобто меншу від допустимої, то приварювання скоби такими швами допустиме.

Для полегшення і прискорення розрахунків кутових швів можна наперед обчислити зусилля, які передаються  $1 \text{ лін. см}$  шва кожної товщини. Тоді весь розрахунок для випадків, по-



дібних до розглянутих, зведеться тільки до множення або ділення одного числа на друге. Нормальні розміри кутових швів по катету такі: 4, 6, 8, 10, 12, 14, 16, 18, 20, 22 і 24 мм.

Розміри кутових швів визначаються в основному залежно від товщини зварюваних елементів; товщина шва приймається звичайно рівною товщині основного металу, не менше половини товщини його і не більше подвійної товщини (для Т-подібних сполучень). Взагалі кажучи, товсті шви менш економічні, ніж тонкі<sup>1</sup>, тому рекомендується при визначенні розмірів швів віддавати перевагу швам тоншим і довшим перед товстими і коротшими (при умові, що розвиток шва в довжину не буде надмірним і не погіршить конструкції).

В табл. 13 дано допустимі зусилля в кг на 1 лін. см довжини кутового шва товщиною від 4 до 24 мм для роботи на стиснення, розтягання і зріз при допустимій напрузі шва: на стиснення 1000 кг/см<sup>2</sup>, розтягання 900 кг/см<sup>2</sup> і зріз 720 кг/см<sup>2</sup>. Зусилля ці обчислені за формулами (8) і (9), де довжина шва *l* прийнята рівною 1 см.

Таблиця 13

**Допустимі зусилля в кг на 1 лін см довжини кутового шва**

Рід зусилля	Розміри кутових швів по катету в мм										
	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24
Стиснення	280	420	560	700	840	980	1120	1260	1400	1540	1680
Розтягання	252	378	504	630	756	882	1008	1134	1260	1386	1522
Зріз	202	302	403	504	605	706	806	907	1008	1109	1210

Наведемо приклади користування цією таблицею.

Приклад 9. Визначити довжину кутового шва товщиною 8 мм, що передає зусилля на зріз в 6 т.

$$l = \frac{6000}{403} = 15 \text{ см.}$$

Приклад 10. Визначити навантаження, яке може витримати кутове шво товщиною 14 мм і довжиною 25 см, працюючи на розтягання.

$$P = 882 \cdot 25 \approx 22000 \text{ кг} = 22 \text{ т.}$$

У флангових швах напруги розподіляються нерівномірно по довжині шва, збільшуючись до кінців шва і зменшуючись до середини. Ця нерівномірність зростає із збільшенням довжини шва. Розрахунок же за формулами (8) і (9) ведеться в припущенні рівномірного розподілу напруг по всій довжині шва, що з певним допущенням можна прийняти для не дуже довгих швів, довжина яких не перевищує 25-кратної товщини шва. При більшій довжині допустима напруга зменшується по-

<sup>1</sup> Це пояснюється тим, що при збільшенні товщини шва, наприклад в два рази, його міцність зростає також в два рази, тоді як площа перерізу шва, а значить, об'єм його і вага нагрітого металу зростуть в чотири рази.



множенням на коефіцієнт  $C$ , величина якого залежить від відношення довжини шва до його товщини  $\frac{l}{h}$ .

Значення коефіцієнта  $C$  для флангових швів наведені для відношення  $\frac{l}{h}$  від 25 до 75 в табл. 14 (додаток 9 до § 60 ТУ і Н).

Таблиця 14

Значення коефіцієнта  $C$  для довгих кутових швів при  $\frac{l}{h}$  від 25 до 75

$\frac{l}{h}$	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75
$C$	1	0,97	0,93	0,90	0,87	0,83	0,80	0,77	0,73	0,70	0,67

Приклад 11. Розрахувати зусилля, яке може передати флангове шво товщиною 12 мм і розрахункової довжини 530 мм. Для цього шва маємо відношення:

$$\frac{l}{h} = \frac{53}{1,2} = 44,2$$

Приймаємо коефіцієнт  $C = 0,87$ . Тоді, користуючись табл. 13, маємо:

$$P = 605 \cdot 53 \cdot 0,87 = 27900 = 27,9 \text{ т.}$$

### § 39. Розрахунок лобових і комбінованих швів

Розрахунок лобових швів в суті нічим не відрізняється від розрахунку флангових швів, тільки допустимі напруги беруться не на зріз, а на розтягання або стиснення. Для розрахунку лобових швів користуються формулою (9). Розглянемо на прикладі випадок розрахунку лобових швів.

Приклад 12. Визначити, яке зусилля на розтягання може передати зварне сполучення двох полос внапустку, і порівняти із зусиллям, що передається основним металом. Ширина полос  $a = 180$  мм, товщина  $b = 12$  мм (фіг. 72).

Розрахункова довжина одного шва:

$$l = a - 1 \text{ см} = 18 - 1 = 17 \text{ см.}$$

Товщину шва  $h$  беремо рівною товщині основного металу, тобто  $h = b = 1,2$  см.

Тому що зусилля  $P$  передають два шви, то за формулою (9) маємо:

$$P = 2 \cdot 0,7 \cdot h \cdot l \cdot R = 2 \cdot 0,7 \cdot 1,2 \cdot 17 \cdot 900 = 25700 \text{ кг} = 25,7 \text{ т.}$$



Фіг. 72

$P$

Основний метал передає зусилля (для Ст. 1):

$$P_0 = a \cdot b \cdot R_0 = 18 \cdot 1,2 \cdot 1200 = 25900 \text{ кг} = 25,9 \text{ т,}$$

тобто сполучення вийшло майже однакової міцності.

Сполучення за допомогою самих лобових швів зустрічається порівняно рідко, бо воно здебільшого значно слабше від при-



варюваного елемента. Всяке зварне сполучення, як правило, повинно бути рівномірним із сполучуваними елементами. Тому найбільшим поширенням при сполученні внапустку користуються флангові шви, які при розвиткові в довжину можуть дати більшу міцність, а також комбіновані, тобто шви, які складаються з лобових і флангових швів.

При спільній роботі одночасно лобового і флангового швів розрахунок всіх швів ведеться за допустимими напругами на зріз (§ 61. ТУ і Н), бо дослідження показали, що при комбінованому сполученні лобове шво працює трохи гірше.

Приклад 13. Визначити, яке навантаження може витримати скоба в прикладі 8 (фіг. 71), приварена фланговим і лобовим швами. Ширина скоби 100 мм.

Загальна довжина швів буде  $(2 \cdot 85) + 100 = 270$  мм.

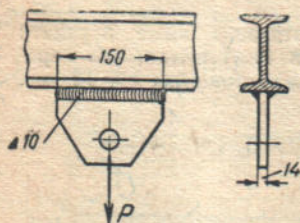
Розрахункову довжину швів приймемо рівною  $27 - 1 = 26$  см, бо все приварювання йде безперервно і в цього комбінованого шва буде тільки один кратер. Приймаючи, що всі шви працюють на зріз, маємо за табл. 13 для швів товщиною 16 мм:

$$P = 806 \cdot 26 = 21000 \text{ кг} = 21 \text{ т.}$$

#### § 40. Розрахунок Т-подібних сполучень

Розрахунок швів Т-подібних сполучень в суті нічим не відрізняється від розрахунку сполучень, зварених лобовими і фланговими швами, бо в обох випадках ми маємо справу з кутовими (валиковими) швами, метод розрахунку яких розглянуто в § 37. Тут потрібно тільки визначити рід діючого на шво зусилля (розтягання, стиснення або зріз) і за цим зусиллям брати допустимі напруги.

Приклад 14. До нижньої полиці двотавра приварена планка для підвищення талі вантажністю в 5 т. Вага талі 250 кг. Перевірити міцність зварювання. Товщина швів — 10 мм. Довжина планки — 150 мм (фіг. 73). Шви піддаються розтяганням силою  $P$ , яка дорівнює найбільшому тягареві і вазі талі, тобто:



Фіг. 73

$$P = 5000 + 250 = 5250 \text{ кг.}$$

Розрахункова довжина швів буде:

$$l = 2(15 - 1) = 28 \text{ см.}$$

Напряга в шві буде (за формулою 9):

$$R = \frac{P}{0,7 \cdot h \cdot l} = \frac{5250}{0,7 \cdot 1 \cdot 28} = 268 \text{ кг/см}^2,$$

тобто напряга вийшла дуже низька, і сполучення має великий запас міцності, але неекономічне внаслідок зайвої витрати нагрітого металу.

#### § 41. Розрахунок пробкових сполучень (електрозаклепок) і прорізів

Пробкові сполучення в практиці виготовлення зварних відповідальних конструкцій зустрічаються досить рідко, і галузь їх застосування обмежується сполученнями, які не несуть вели-



ких навантажень; при розрахунку вони приймаються тільки в комбінаціях з іншими швами.

Розрахунок пробкових сполучень ведеться на зріз, за площею поперечного перерізу звареного отвору. Зусилля  $P$ , яке припадає на одну пробку, визначається за формулою (§ 61, ТУ і Н):

$$P = \frac{\pi d^2}{4} \cdot R_s,$$

де  $d$  — діаметр отвору в см (для роззенкованих отворів діаметр брати найменший),  $R_s$  — допустима напруга на зріз на зварне шво в кг/см<sup>2</sup>.

**Приклад 15.** Визначити міцність одностороннього зварювання внапустку двох планок  $100 \times 10$ , підсиленого двома пробками діаметром  $d = 2$  мм (фіг. 74):

Зусилля  $P_n$ , яке передається лобовим швом розрахункової довжини  $l = 10 - 1 = 9$  см і товщиною  $h = 1$  см, буде:

$$P_n = 0,7 \cdot h \cdot l \cdot R = 0,7 \cdot 1 \cdot 9 \cdot 900 = 5670 \text{ кг.}$$

Зусилля  $P_p$ , яке передається двома пробками діаметром  $d = 2$  см, за формулою (12) буде:

$$P_p = 2 \cdot \frac{\pi d^2}{4} R_s = 2 \cdot \frac{3,14 \cdot 2^2}{4} \cdot 720 = 4520 \text{ кг.}$$

Загальне зусилля, яке передається сполученням, буде:

$$P = P_n + P_p = 5670 + 4520 = 10190 \text{ кг} = 10,19 \text{ т.}$$

Зусилля, яке передається основним металом (Ст. 2), буде:

$$P_0 = 1 \cdot 10 \cdot 1200 = 12000 \text{ кг.}$$

Міцність сполучення становить:

$$\frac{10,19 \cdot 100}{12} = 850\%.$$

Сполучення прорізами застосовується в зварних конструкціях для підсилення сполучення внапустку. Якщо проріз зварено суцільно, то розрахунок його ведеться на зріз за площиною наоплення металу через проріз на сполучуваний елемент за формулою (§ 62 ТУ і Н):

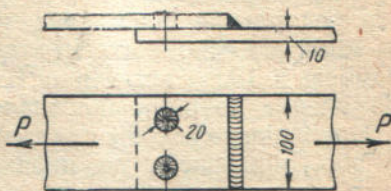
$$P = l \cdot a \cdot R_s,$$

де  $P$  — зусилля, яке сприймається прорізом, в кг,  $l$  — довжина прорізу в см,  $a$  — найменша ширина проріза (по низу).

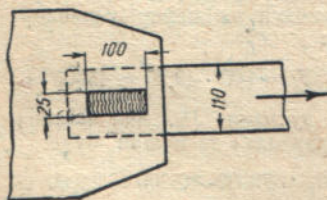
**Приклад 16.** Визначити зусилля, яке передається приварюванням полоси з перерізом  $110 \times 12$  мм за допомогою закритого проріза довжиною  $l = 100$  мм і шириною  $a = 25$  мм (фіг. 75).

Зусилля, яке передається прорізом, буде

$$P = l \cdot a \cdot t = 10 \cdot 2,5 \cdot 720 = 18000 \text{ кг} = 18 \text{ т.}$$



Фіг. 74



Фіг. 75



Якщо проріз має ширину  $a$ , більшу від подвійної товщини елемента, в якому він зроблений, то враховується ослаблення перерізу цього елемента на величину проріза. Проріз може бути заварений не суцільно, а по краях кутовим швом. В цьому випадку розрахунок проріза нічим не відрізняється від розрахунку флангових швів.

## § 42. Розрахунок стикових сполучень з накладками

Як відзначено в § 36, розрахункова міцність стикового шва (без урахування підсилення напливом) завжди виходить менша від міцності основного металу. Для одержання розрахункової міцності в 100% від міцності основного металу для стикового сполучення потрібне підставлення на шво накладок.

Накладки (кускові) приварюють або тільки фланговими швами або обварюють по периметру, тобто комбінованим швом. Розрахунок їх ведеться за таким основним методом: спочатку визначається розрахункове зусилля  $P_c$ , яке передається стиковим швом (без підсилення), а потім визначається зусилля  $P_n$ , яке повинна сприйняти накладка, як різниця між всім зусиллям  $P_0$ , яке передається стиком, відповідно до розмірів і міцності основного металу, і зусиллям  $P_c$ , що передається стиковим швом:

$$P_n = P_0 - P_c.$$

Розміри накладки та її швів визначаються за зусиллям  $P_n$  способом, аналогічним розрахунку флангових і лобових швів.

Приклад 17. Визначити розміри накладки для зварювання встик двох швелерів № 26 із Ст. 3. Швелери працюють на розтягання. Площа перерізу швелера № 26  $F_0 = 49,95 \text{ см}^2$  (фіг. 76).

Зусилля  $P_0$  на розтягання, яке може передати швелер № 26, буде:

$$P_0 = R_{L_0} \cdot F_0 = 1400 \cdot 49,95 \approx 70000 \text{ кг.}$$

Зусилля  $P_c$ , яке може передати зварне шво встик, рахуючи його площу перерізу рівною площі перерізу швелера № 26, буде:

$$P_c = R_{L_c} F_c = 900 \cdot 49,95 \approx 45000 \text{ кг.}$$

Звідси зусилля  $P_n$ , яке повинні сприйняти накладка та її шви, буде:

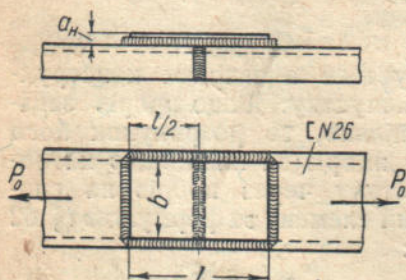
$$P_n = P_0 - P_c = 70000 - 45000 = 25000 \text{ кг.}$$

Переріз накладки визначимо, виходячи з того, що він повинен передати зусилля  $P_n = 25000 \text{ кг}$ . Приймемо ширину накладки  $b = 23 \text{ см}$ , матеріал — Ст. 3. Тоді товщина накладки  $a$  визначиться з формули:

$$P_n = R_{L_0} a \cdot b,$$

$$a = \frac{P_n}{R_{L_0} b} = \frac{25000}{1400 \cdot 23} = 0,78 \text{ см.}$$

Приймемо  $a \approx 0,8 \text{ см} = 8 \text{ мм}$ .



Фіг. 76



Зусилля з накладки на швелер передається фланговими і лобовими швами половини накладки, тобто при приварюванні комбінованим (фланговими і лобовими) швом, довжина швів  $L_k$ , яку треба визначити, буде

$$L_k = 2 \cdot \frac{l}{2} + b = l + b.$$

Користуючись табл. 13, для товщини шва в 8 мм для роботи на зріз маємо:

$$L_k = \frac{25000}{403} \approx 62 \text{ см},$$

тобто  $l + b \approx 62 \text{ см}$ .

Звідси довжина накладки  $l$ , якщо  $b = 23 \text{ см}$ , визначиться так:

$$l = L_k - b = 62 - 23 = 39 \text{ см}.$$

Закінчуючи розділ про розрахунки зварних швів і сполучень, треба відзначити, що наведеними прикладами далеко не вичерпуються всі випадки розрахунку, які можуть зустрітися при конструюванні або виготовленні різноманітних зварних конструкцій.

Тут наведені тільки ті основні види розрахунків, знання яких обов'язкове для цехового керівного робітника, щоб мати критичний підхід до оцінки міцності зварної конструкції, в чому часто виникає необхідність в повсякденній практиці виробничника.

Вперше в СРСР методи розрахунку зварних швів були опубліковані в 1931 р. у вигляді „Технічних умов і норм проектування і спорудження металічних конструкцій та споруд“. Застосування цих норм в практиці, дослідні роботи, які продовжуються, і прогрес техніки зварювання висунули вимогу внесення ряду поправок і змін в методи розрахунку зварних сполучень, які і були внесені в дальше видання норм.

Підвищення якісних вимог до зварних конструкцій в окремих галузях і застосування зварювання до дедалі відповідальніших споруд викликали необхідність видання спеціальних технічних умов і правил проектування, виготовлення і приймання зварних металічних конструкцій для промислових споруд (наказ по НКВП № 96 від 14 січня 1936 р.), зварних парових котлів, посудин, які працюють під тиском, зварних трубопроводів, корпусів, річкових суден і вагонів (наказ по НКВП № 176 від 29 січня 1936 р.). Детальне знання цих технічних умов і застосування їх в практиці заводів та підприємств, що виготовляють зварюванням перелічені вище об'єкти, — безумовно, обов'язкове для кожного технічно грамотного і передового робітника-виробничника.

## РОЗДІЛ VII

### ЕЛЕКТРОДИ

#### § 43. Класифікація електродів

При дуговому електрозварюванні використовуються металічні і вугільні електроди. Металічні електроди, використовувані при електрозварюванні методом Славянова, поділяються залежно від



роду зварювання на електроди для ручного зварювання—у вигляді окремих прутків дроту—і на електроди для автоматичного зварювання, які випускаються у вигляді кругів дроту.

За родом покриття металічні електроди поділяються на голі і покриті.

Покриті електроди в свою чергу поділяються залежно від їх властивостей на: стабілізуючі, захисні і легіруючі, а залежно від способу виготовлення на: припудрені, обмазані зануренням, обмазані тиском, обмотані, обплетені і з неметалічним осердям.

Основна вимога, яка ставиться при виборі металічних електродів, полягає в тому, щоб механічні властивості зварного шва і нагрітого металу задовольняли технічні умови, що ставляться до даної конструкції.

З огляду на велику різноманітність металів, зварюваних тепер дуговим електрозварюванням, металічні електроди і присадкові матеріали повинні також бути достатньо різноманітні щодо свого хімічного складу, щоб можна було зварювати відповідно добрими електродами які завгодно метали, сорти і стопи їх, що використовуються в сучасній техніці. Таким чином питання про якість і сорти електродів тепер виросло в проблему виключної важливості для розвитку зварювальної справи в СРСР і вимагає до себе якнайбільшої уваги.

Нижче ми розглядаємо металічні електроди для зварювання маловуглецевих сталей (від Ст. 0 до Ст. 6). Електроди для зварювання чавуну, кольорових металів і спеціальних сталей розглядаються в розділах про зварювання відповідних металів.

#### § 44. Голі електроди

Голими металічними електродами називаються електроди, які мають чисту металічну, нічим не прикриту поверхню. Хібною голих електродів є те, що ці електроди дають нагрітий метал малої ударної в'язкості і малого відносного здовження, яке дорівнює 3—5% при зварюванні будівельних сортів сталі. Тому застосування голих електродів обмежується тільки тими виробами, які не потребують від шва в'язкості, тобто працюють в спокійних умовах, не зазнаючи динамічних навантажень<sup>1</sup>, високих температур, тисків і ін.

При зварюванні голими електродами користуються або тільки постійним струмом або змінним із застосуванням осцилятора, бо при змінному струмі без осцилятора дуга при голих електродах дуже нестійка і не дає можливості мати якісне шво.

У нас, в СРСР, на голі електроди є установлений в 1939 р. загальносоюзний стандарт (ОСТ 20032), за яким металічні голі електроди поділяються на чотири марки (I, II, III і IV). Основ-

<sup>1</sup> При динамічному навантаженні на конструкцію діють перемінні, що часто змінюються щодо величини і напрямку зусилля (поштовхи, удари і т. д.).



ною відмінністю цих марок є вміст вуглецю і марганцю в сталі, з якої прокатаний даний сорт електрода.

Електроди марки I дають м'яке шво, що легко піддається обробці зубилом, напилком і різцем.

Електроди марки II дають твердіше і міцніше, ніж марка I, шво; проте і електроди цієї марки також легко обробляються тими самими засобами. Електроди марок I і II мають найбільше поширення при зварюванні різноманітних металічних конструкцій, трубопроводів, резервуарів, при котельних роботах і холодному зварюванні чавуну.

Електроди марки IV дають дуже тверде шво, що важко обробляється, вони використовуються тільки для наплення зношених поверхонь, від яких при роботі вимагається велика твердість і опір зношуванню (наприклад хрестовини залізничних і трамвайних колій, ковші землечерпалок і екскаваторів, шийки валів і т. д.). Марка III, середня між II і IV, використовується рідко. Хімічний склад електродів за ОСТ дано в табл. 15.

Таблиця 15

Марка	Умовний колір зафарбування	C %	Mn %	Si % не більше	S % не більше	P % не більше
I	Білий	До 0,10	0,35—0,6	0,03	0,04	0,04
II	Зелений	0,11—0,20	0,4—0,6	0,03		
III	Жовтий	0,11—0,20	0,6—0,9	0,03		
IV	Блакитний	0,6—0,75	0,5—0,8	0,12		
					S і P в сумі не більше 0,07	

Щоб легко було розрізнити марки електродів, кінці їх в пачках зафарбують в умовний колір (табл. 15).

Голі електроди за ОСТ 20032 виготовляють діаметром: 0,8; 1; 1,6; 2; 2,6; 3; 4; 5; 6; 7; 8; 10; 12 мм і випускають у вигляді кругів дроту або в прутках довжиною 300—450 мм, пов'язаних у пачки. Поверхня дроту і електродів повинна бути рівною, гладкою і чистою, вільною від іржі, масла і бруду.

Електроди, які випускаються у вигляді бухт або прутків, повинні бути запаковані і транспортуватися способом, що забезпечує від зовнішніх пошкоджень та іржавіння, а також мати сертифікат (у вигляді металічної пластинки), в якому зазначаються: завод-постачальник, номер витопу, марка за стандартом, діаметр дроту, вага нетто.

Виготовленням електродів в СРСР займається Белорецький завод на Уралі і заводи ім. К. Лібкнехта і ім. Петровського в Дніпропетровську, які випускають голі електроди згідно з установленим стандартом.



## § 45. Стабілізуючі електроди

Стабілізуючими називаються електроди, покриті обмазкою для одержання стійкої (стабільної) дуги при зварюванні. Обмазка на стабілізуючі електроди наноситься тонким (0,1—0,4 мм) шаром. Стабілізуючі електроди тепер є найбільш поширеними і використовуються при зварюванні як на постійному, так і особливо на змінному струмі, при якому, як відомо, стійкість дуги досягається тільки при наявності відповідної обмазки електродів (при зварюванні без осцилятора).

Механічні якості металу, напленого стабілізуючими електродами, майже такі самі, як і металу, напленого голими електродами: тимчасовий опір—3000—3600 кг/см<sup>2</sup>, кут загину до 50°. Область застосування цих електродів достатньо широка, але повинна обмежуватися зварюванням маловідповідальних виробів, які працюють під статичним навантаженням (посудин без тиску і ін.).

Розглянемо найбільш поширені сорти тонких покриваючих матеріалів, що застосовуються в СРСР.

Крейдяна обмазка—з дрібно просіяної крейди (пудри) рідкого скла і води. Крейда (80—85% за вагою) розводиться в рідкому склі (15—20% за вагою), що розбавляється водою до такого стану, щоб обмазка мала густину рідкої сметани. При ручному процесі нанесення обмазки на електроди розведenu обмазку наливають у вертикальну посудину і час від часу перемішують її. Електроди занурюють в обмазку, потім дають обмазці стекти з електродів, після чого сушать їх у вертикальному положенні при кімнатній температурі або при підігріві 40—50°. Один кінець кожного електрода на довжині 30—40 мм має бути вільний від обмазки для вставляння в електродотримач.

На деяких заводах СРСР використовують як варіант тонкої крейдяної обмазки так звані пудрені крейдою електроди. Процес виготовлення таких електродів слідує (з практики Ворошиловградського паровозобудівельного заводу ім. Жовтневої революції). Електроди протрують в гарячому розчині соляної кислоти і каустичної соди, потім сушать на сушарці, обтирають ганчіркою, змоченою в 20% рідкому склі і занурюють в сухий порошок крейди, просіяної крізь сито з 144 отворами на 1 см<sup>2</sup>.

Електроди зберігають дуже тонкий рівний шар крейди, цілком достатній для стійкості дуги при змінному струмі.

Обмазка ВЭТ № 3 сіра використовується для зварювання звичайних виробів при всіх положеннях шва. Якість металу, напленого електродами з такою обмазкою, за своїми показниками близько стоїть до металу, напленого крейдяною обмазкою.

Склад обмазки такий (у вагових одиницях): каолін—34, крейда—34, барій-карбонат—34, ільменіт—68<sup>1</sup>, окалина—17, рідке скло—47, вода—35.

<sup>1</sup> Ільменіт—мінерал, в якому міститься 35—43% титан-оксиду (TiO<sub>2</sub>) і 40—47% залізо-оксиду (FeO) у хімічному зв'язку, решта—домішки піску, марганцю, кальцію і магнію.



Обмазка ВЭТ № 3 виготовляється і наноситься на електроди на Московському електродному заводі так. Нарізані стандартні електроди марки I або II довжиною по 400 мм відмивають від масла і бруду в 5% розчині кальцинованої соди, споліскують водою, заряджають в рамки по 25—30 шт. і затискають клинами. Потім електроди занурюють в обмазку, налиту в довгастих ящик, і ставлять у сушильний конвеєр довжиною близько 15 м, де сушаться гарячим повітрям протягом 45—50 хв. при температурі біля входу 30° і біля виходу 70°. Висушені і розібрані з рамок електроди подаються в електричну піч для прожарювання при 120° протягом 1/2 години, після чого вони надходять на сортування і пакування пачками по 3 кг.

Покриті тонкою обмазкою електроди при зварюванні залишають на шві тонкий шар шлаку, який треба відбити ударами ручника, зубила або очистити сталюю щіткою. Особливо старанно треба видаляти ці шлаки при многошаровому зварюванні, що найлегше виконується легкими ударами пневматичного зубила, яке дає чисту металічну поверхню шва.

#### § 46. Захисні електроди

Для одержання високоякісного металу шва, що не поступається своїми механічними показниками перед основним металом, застосовують захисні електроди. Як показує назва, захисні електроди захищають натоплений метал від шкідливого впливу повітря при зварюванні, завдяки захисному шарові газів і шлаків, які утворюються в процесі топлення електрода від спеціальних обмазок, що покривають електроди шаром товщиною від 0,7 до 2 мм на сторону. В практиці такі електроди називають товстопокритими або електродами з товстою обмазкою.

При дуговому електрозварюванні металічним електродом розтоплений вольтовою дугою метал електрода переходить з електрода в шво, як відомо, у вигляді крапель в кількості 20—30 за секунду. Під час переходу краплі проходять через шар повітря, яке в основному складається з кисню і азоту. Рідкий метал інтенсивно сполучається з киснем, тобто оксидується. Кисень шкідливо впливає на якість металу, знижуючи його опоровість ударові. Азот з повітря, сполучаючись з рідким металом при переході металу з електрода в шво, також погіршує метал шва, роблячи його крихким і твердим.

Щоб уникнути шкідливого впливу кисню і азоту з повітря, треба уберегти від стикання з повітрям краплі металу, коли вони переходять з електрода і ще знаходяться в розтопленому стані в шві. Цю роль і виконує обмазка на електроді. Накладена шаром достатньої товщини обмазка під час топлення утворює гази і шлаки, які оточують краплі металу і тим оберігають його від стикання з повітрям. Шлак від обмазки, крім того, покриває шво, поки ще метал в ньому не застиг, і зав-



дяки цьому розтоплений метал шва теж захищений від доступу повітря. Шви, зварені товстопокритими електродами, мають велику в'язкість і дають відносне здовження не нижче, ніж у основного металу (маловуглецевих сталей).

Густина натоплюваного металу, визначувана його питомою вагою при зварюванні товстопокритими електродами, також буде значно вища, ніж при зварюванні голими або тонкопокритими електродами і дуже наближається до густини основного металу. Це пояснюється тим, що в розтопленому металі завжди є в розчині газу; якщо ці газу не встигають вийти з металу при охолодженні, то в металі утворюються пори, які зменшують густину металу, а значить і його питому вагу. При зварюванні голими або тонкопокритими електродами розчинені газу в наслідок швидкого охолодження поверхні шва не встигають вийти з металу шва і утворюють в ньому пори.

При захисних електродах шлак від обмазки, який покриває зверху натоплений метал шва, не дає йому швидко прохолонути, і розчинені газу встигають вийти з металу до застигання, що зменшує кількість пор і збільшує густину натопленого металу.

До складу захисних обмазок повинні входити такі компоненти (складові частини):

1. Газоутворюючі, тобто речовини, які при топленні обмазки у вольтовій дузі виділяють газу, що захищають натоплений метал від шкідливого впливу повітря. Як газоутворюючі компоненти використовуються органічні речовини—крохмал, деревне борошно, бавовняне прядиво, целюлоза і ін.

2. Шлакоутворюючі, тобто речовини, які при топленні обмазки у вольтовій дузі утворюють шлаки, що захищають розтоплений метал від шкідливого впливу повітря. Як шлакоутворюючі компоненти використовуються польовий шпат (ортоклаз), ільменіт, піролюзит, феромарганець (Fe Mn), крейда ( $\text{CaCO}_3$ ), алюміній-оксид (каолін— $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) і ін. Шлаки, крім захисту від повітря, впливають також на хемічний склад натопленого металу і уберігають метал шва від швидкого охолодження. Зварювальні шлаки повинні мати певні фізичні властивості з погляду питомої ваги, в'язкості, температури затвердіння, змочування металу і ін.

Кількість шлаків залежить від товщини шару захисної обмазки на електроді, який через це для забезпечення достатньої кількості шлаків беруть звичайно не менше 0,7—1 мм на сторону (залежно від діаметра електрода).

Очистка шва від шлаку при застосуванні шлакоутворюючих обмазок не важка, бо шлак, що при охолодженні має більшу усадку, ніж натоплений метал, легко відскакує цілими кусками від металу при легких ударах.

3. Розкиснюючі, тобто речовини, які вступають в сполуку з киснем легше, ніж розтоплений метал, і, значить, віднімають від нього кисень, або, як кажуть, відновлюють метал. Як розкиснювачі використовуються алюміній, феромарганець, вуглець у вигляді графіту і ін.



4. Зв'язуючі компоненти, які надають обмазці тістоподібного вигляду для нанесення її на електроди і після сушіння електродів затримують обмазку міцним шаром. Як зв'язуючий компонент найчастіше використовується натрове рідке скло, яке розводиться у воді.

В СРСР використовується кілька сортів захисних обмазок, які дають шви, відмінні високими механічними показниками. Вишукуванням рецептів якісних захисних обмазок займаються Центральний інститут металів (ЦІМ) в Ленінграді, зварювальний комбінат Оргметал, ЦНДІМАШ і цілий ряд заводських лабораторій та дослідних інститутів.

Спинимосся на деяких сортах захисних обмазок.

Обмазка ЛИМ (Ленінградського інституту металів)—перша радянська захисна обмазка—з'явилася в 1932 р. і набула в той час значного поширення на деяких заводах („Парострой“). Цю обмазку наносять на електроди марки I і II, вони і дають шву здовження близько 20%, міцність—не нижчу від міцності основного металу (Ст. 1—Ст. 2) і добру густину. Хибою обмазки ЛИМ є низький ударний опір після термічної обробки. Склад цієї обмазки в процентах за вагою такий: піролюзит (марганцьовиста руда з вмістом марганцю близько 60%)—64,5, крокус (залізо-оксид  $Fe_2O_3$ )—21,5, крейда ( $CaCO_3$ )—13,0, алюміній-оксид ( $Al_2O_3$ )—1,0.

Обмазка ЛИМ дає велику кількість рідкого шлаку, який довго тримає метал шва в рідкому стані, тому для одержання підсиленого шва доводиться топити електрод з обмазкою ЛИМ між двома мідними пластинками, покладеними по краях шва, інакше метал розтікається по поверхні зварюваних листів. Варити обмазкою ЛИМ можна тільки при нижньому положенні шва.

Обмазка Ц-1 розроблена зварювальною лабораторією ЦНДІМАШ і дає метал шва з такими механічними показниками: тимчасовий опір—48—50  $кг/мм^2$ , відносне здовження—24%, ударна в'язкість 10—12  $кгм/см^2$ .

Склад обмазки Ц-1 такий (в процентах за вагою): деревне борошно—6,75, ільменіт—26,2, феромарганець—8,45, польовий шпат (ортоклаз)—35,4, крейда—6,6, рідке натрове скло—16,6, вода до загальної кількості—12.

Обмазка ВЭТ-26 розроблена Московським електродним заводом. Механічні показники нагрітого цієї обмазкою металу на зразках Гагаріна такі: тимчасовий опір розриву 42—50  $кг/мм^2$ , відносне здовження—19—27%, кут загину 160—180°, ударна в'язкість—6—10  $кгм/см^2$ .

Склад обмазки ВЭТ-26 такий (у вагових одиницях): окалина ( $Fe_3O_4 + FeO$ )—622,5, кремнезем мурманський—424,0, крейда—304,5, польовий шпат (ортоклаз)—583,0, феромарганець—583,0, рідке скло (натрове)—460—500, вода—до 300.

Обмазка ДС розроблена Центральним інститутом металів у Ленінграді на замовлення будівництва Палацу рад для зварювання конструкційних сталей підвищеної якості.



Обмазка ДС дає такі показники для нагрітого металу: тимчасовий опір—47—50  $\text{кг/мм}^2$ , відносьне здовження 15%, ударна в'язкість—5  $\text{кгм/см}^2$ .

Обмазку виготовляють з роздрібненого шлаку, одержуваного після стоплення в печі піролюзиту, кремнезему і титан-оксиду, розводять на рідкому склі і наносять на електроди зануренням.

Для зварювання хромомістивої сталі<sup>1</sup> для конструкції Палацу рад розроблена також ЦНДІМАШ обмазка Ц-4.

Склад обмазки Ц-4 такий (в процентах за вагою): деревне борошно—5,7, ільменіт—22,1, феромарганець—11,35, польовий шпат—29,8, крейда—5,6, рідке скло—14,0, мідь-оксид ( $\text{CuO}$ )—4,2, хром-оксид ( $\text{Cr}_2\text{O}_3$ )—7,25.

Обмазка наноситься на електроди діаметром 4 мм—товщиною 1,2 мм, на електроди діаметром 5 мм—1,3—1,4 мм і діаметром 9 мм—3 мм.

Нагрітий електродами з цією обмазкою метал має такі механічні показники: тимчасовий опір 52—54  $\text{кг/мм}^2$ , відносьне здовження 19—26%, ударну в'язкість (за Шарпі)—8—9  $\text{кгм/см}^2$ , після нормалізації—10—11  $\text{кгм/см}^2$ .

Обмазка Оргметалу ОММ-2 (ТК) має такий склад (у вагових одиницях): марганцева руда—300, титанова руда—250, каолін—300, феромарганець—200, крохмал—150.

Обмазка розводиться на рідкому склі і воді.

Обмазка ОММ-2 дозволяє варити шви в усіх положеннях (крім стельового) і дає такі механічні показники: тимчасовий опір—49—51  $\text{кг/мм}^2$ , кут загину—175—180°, ударна в'язкість—11—13,5  $\text{кгм/см}^2$ .

Обмазка ОММ-3 (стахановська) розроблена Оргметалом для зварювання на великих силах струму електродами діаметром 8—12 мм.

Склад обмазки ОММ-3 (у вагових одиницях): титанова руда—30, каолін—12, феромарганець—10, деревне вугілля—0,7; розводиться на рідкому склі і воді і наноситься на електроди занурюванням.

Механічні показники нагрітого металу з обмазкою ОММ-3 (на гагарінських зразках):

тимчасовий опір . . . . .	48—50 $\text{кг/мм}^2$
відносьне здовження . . . . .	16,5—19,5%
ударна в'язкість . . . . .	8,3 $\text{кгм/см}^2$

Є ще і інші сорти захисних обмазок; число їх збільшується з кожним днем в міру впровадження у виробництво і збільшення об'єму дослідних робіт по вишукуванню більш простих, дешевих і високоякісних обмазок.

Якій з цих обмазок віддати перевагу, сказати важко. З'яви-

<sup>1</sup> Склад цієї сталі: С—0,12—0,18%, Мп—0,7—0,9%, Si—до 0,25—0,35%, Сu—0,5—0,7%, Cr—0,4—0,6%, S+P—до 0,075%.



лися вони в більшості протягом останніх 3—4 років і у виробничих умовах деякі з них довготривалого застосування і випробування ще не мали. За даними лабораторних досліджень електроди з цими обмазками всі дають шви з дуже високими, як видно з наведених даних, механічними показниками і стоять на рівні кращих закордонних електродів для зварювання маловуглецевих сталей. За своїм складом ці обмазки—досить складні, і деякі з них потребують дефіцитних і дорогих компонентів. Сировина для обмазок для забезпечення високих якостей шва повинна точно відповідати виробленим для неї технічним умовам; самий процес виготовлення обмазок також потребує великої старанності. Тому можливо, що кустарне виготовлення цих обмазок на заводах і підприємствах, які застосовують зварювання, може не дати сподіваних результатів. Електроди з товстими якісними обмазками доцільно одержувати з централізованих електродо-обмазувальних заводів, що мають відповідні устаткування, сировину, кадри і лабораторії.

Техніка виготовлення обмазок для захисних електродів така. Всі тверді частини обмазки роздрібнюють в кулястому млинку до пилоподібного стану і просіюють крізь найдрібніше сита (3600—4900—6400 отворів на  $1\text{ см}^2$ ). Потім розважують за рецептом і змішують всі складові частини. Змішують їх у спеціальних мішалках протягом від  $1/2$  години до кількох годин, залежно від сорту обмазки. Після розмішування масу обмазки (за винятком густих мас) пропускають крізь сито з 1200 отворами в  $1\text{ см}^2$ , щоб видалити нерозмішані грудки або сторонні вclusions, які туди випадково попали. Готовий заміс надходить для обмазування електродів в обмазувальний цех.

Металічні електроди (звичайно беруть марку I або II) перед обмазуванням піддають таким операціям: протяганню дроту на менший діаметр (як що це необхідно), рихтуванню і рубанню на стрижні довжиною 400 мм. Всі ці операції виконують на спеціальних верстатах.

Після рубання електроди знежирюють, занурюючи в ванну з розчином 5% кальцінованої соди і нагріваючи до  $80\text{--}90^\circ$  протягом 20—30 хвил. Після цього електроди споліскують водою і злегка вологі передають в цех для обмазування.

Електроди обмазують двома способами:

1. Занурюванням. Для цього електроди заряджають в рамки по 25—30 шт. в кожну і занурюють в ванну з обмазкою; швидкість виймання електродів з ванни має бути точно установлена для кожного типу обмазок і електродів, щоб покриття рівномірно розподілилося на електроді шаром потрібної товщини. Після цього електроди піддають так званому „підв'ялюванню“, тобто підсушуванню на повітрі, для видалення зайвої вологи, при кімнатній температурі. Якщо товщина обмазки повинна бути велика, після „підв'ялювання“ електроди вдруге занурюють в обмазку для нанесення другого шару.



2. Під тиском. Обмазка наноситься на електроди на спеціальній обмазувальній машині, яка накладає обмазку під тиском до 150 ат дуже рівним і густим шаром потрібної товщини, що створює стійкіший режим топлення електрода і поліпшує якість натопленого металу.

Після нанесення обмазки електроди надходять на сушіння в сушарку при температурі 140—180° протягом 1—2 год.; температура в сушарці має підвищуватися повільно.

Після сушіння і охолодження зачищають кінці електродів для вставляння в електродотримач, сортують і пакують електроди в ящики.

Треба також відзначити деякі негативні моменти застосування захисних електродів. До хиб належать: 1) дороговизна захисних електродів порівняно з голими або стабілізуючими; 2) великі усадочні напруги і жолоблення, що викликається зварюванням товстопокритими електродами; останнє пояснюється більш сильним нагріванням не тільки шва, але і основного металу, що прилягає до шва, бо шлак покриває товстим шаром натоплений метал і не дає йому швидко охолоджуватися, затримуючи довше тепло в металі; 3) можливість зварювання для багатьох сортів захисних обмазок тільки в нижньому положенні, утрудненість вертикального зварювання і особливо стельового; ця обставина значно обмежує застосування захисних електродів при монтажному зварюванні; 4) зварювання захисними електродами потребує високої кваліфікації зварювальника.

Розуміється, ці другорядні хиби ні в якій мірі не повинні залякувати виробників і примушувати їх відмовлятися від зварювання захисними електродами. Переваги зварювання цими електродами з погляду підвищення якості і надійності зварних виробів настільки великі, що без сумніву ближчим часом захисні електроди набудуть загального поширення при зварюванні відповідальних деталей в усіх галузях.

До числа якісних електродів належать також легіруючі електроди, які використовуються для зварювання легірованих сталей, тобто сталей, в яких містяться хром, нікель, вольфрам, молібден, ванадій і ін. Ці елементи вводять до складу сталей, щоб надати їм особливих властивостей—корозійостійкості, жаротривкості, підвищеної міцності і ін.

В легіруючих електродах легіруючі елементи можна вводити: 1) до складу металу електродів, 2) до складу спеціальних обмазок. В останньому випадку беруть електроди із звичайної маловуглецевої сталі. В процесі топлення електрода складові легіруючі частини з обмазок частково або повністю переходять в натоплений метал шва. Таким чином утворюється шво, більш або менш однорідне своїм хемічним складом із зварюваним металом. Склади як легірованих електродів, так і обмазок можуть бути надзвичайно різноманітні і складні залежно від сортів сталі, для зварювання яких вони призначені. Деякі сорти легіруючих обмазок і електродів наведені в розділі XI.



## § 47. Електроди для автоматичного зварювання

Електроди для автоматів виготовляють у вигляді кругів дротів; вони також поділяються на голі і покриті. Застосування голого дроту для автоматів, які працюють на постійному струмі, має значні переваги в розумінні підведення струму до електрода, і тому в перший час розвитку автоматичного зварювання застосовували майже виключно голі електроди.

Необхідність одержання високоякісного шва і стійкої дуги при автоматичному зварюванні примусила і для автоматів використовувати покриті електроди. Проте суцільне покриття дроту обмязкою, подібно до електродів для ручного зварювання, утруднює підведення зварювального струму до дроту, тому покриті електроди для автоматів значно відрізняються від електродів для ручного зварювання.

Тепер існують такі види покритих електродів для автоматів:

1. Обмязка міститься в канавках (жолобках), розташованих на поверхні дроту паралельно до його осі. Таким чином частина поверхні електрода залишається голою і сприймає зварювальний струм при проходженні дроту крізь напрямний контакт зварювальної головки.

2. Обмязка поміщається всередині електрода у вигляді гнота, який проходить по всій довжині дроту. Перевага цих електродів в тому, що обмязка не обсипається, не псується при транспортуванні, і підведення струму ніяких утруднень не створює. Електроди такого типу випускаються німецькою фірмою Бойлер під маркою „Еліта“.

3. Обмязка наноситься на гладкий електрод зовні суцільним шаром і зверху покривається тонкою металічною суцільною оболонкою, яка служить контактною поверхнею для підведення зварювального струму. Такі електроди випускає американська фірма „Дженерал Електрик“.

4. Обмязка покриває електрод суцільним шаром і з одного боку знімається спеціальним фрезером, установленим на автоматі перед контактним наконечником, який підводить струм до електрода через оголену фрезером поверхню.

В СРСР випускаються обмязані електроди для автоматів першого типу, тобто з обмязкою в канавках.

Один з рецептів цієї обмязки такий (в грамах на 1 м електродів):  $TiO_2$  (титан-оксид)—2700 г,  $MnO_2$  (двооксид-марганцю)—500 г, рідке скло—1125 г.

Технологічний процес виготовлення таких електродів, розроблений інж. П. П. Буштетом, полягає в наступному. Дріт розмотують з барабана, далі він проходить крізь правильний механізм, який складається з кількох роликів, далі очищається до металічного блиску обертовими сталевими щітками. Потім дріт надходить в апарат, який здійснює рифлення, тобто нанесення на поверхню чотирьох канавок для обмязування. Рифлення виконується прокатуванням дроту між двома парами



сталених роликів з гострими гранями, які вдвлюються в поверхню дроту і утворюють на ньому борозни.

Після рифлення дріт надходить на обмазування. Густа тісто-подібна обмазка міститься в посудині, крізь яку проходить дріт, входячи через ущільнення, а виходячи через спеціальний мундштук, що знімає зайву обмазку. Щоб густа обмазка добре заповнювала борозни дроту і приставала до них, обмазку в посудині піддають вібрації, яка сприяє зменшенню внутрішнього тертя в обмазці і робить її менш в'язкою. Після виходу з мундштука обмазка швидко застигає. Далі дріт вдруге очищають щітками між борознами, заповненими обмазкою; потім він проходить через сушилку і намотується на котушки.

Всі ці операції виконуються на одному верстаті, механізми якого приводяться в рух п'ятьма електродвигунами.

Необхідність застосування електродів з якісними обмазками для зварювання посудин, які працюють під тиском, примушує техніків автоматичного зварювання інтенсивно працювати над цим питанням.

Друге актуальне питання сьогодення в автоматичному зварюванні—застосування електродів діаметром більше 5—6 мм.

Тепер намічаються два шляхи для розв'язання цих задач. Перший шлях—це нанесення обмазки безпосередньо на електродний дріт. Дротіві надають хрестоподібного профіля. В заглиблення цього профіля поміщають обмазку. Вага обмазки повинна становити не менше 20% від ваги металу електрода. Грані електродного дроту служать для електричного контакту. Можна також на дроті або стрижні (при електродах діаметром понад 6 мм) виштампувати виступи на певних віддальх один від одного, які б, виступаючи з шару обмазки, служили електричними контактами.

Другий шлях—це нанесення на електрод стрічки з обмазкою під час процесу зварювання. До автоматичної головки додається пристрій у вигляді системи роликів, які навірчують стрічку на електрод не по спіралі, а по твірній (вздовж електрода).

Стрічку навірчують нижче електричного контакту.

Основа стрічки—бавовняна тканина, яку зануренням покривають шаром обмазки потрібного хімічного складу. Досліди над застосуванням стрічки провадилися в електрозварювальному інституті УАН і дали позитивні результати.

Товсті електроди (діаметром понад 6 мм) виготовляють у вигляді стрижнів довжиною 1—1,5 м. Для того, щоб при заміні електродів не було перерви в зварюванні, на стрижнях з однієї сторони роблять отвір з нарізкою, а з другої сторони—виступ з нарізкою у вигляді шпильки, за допомогою яких електроди згвинчують разом. Електродний стрижень способом згвинчування нарощують під час горіння дуги. Таким чином процес зварювання йде безперервно і без огарків, так само як і при електродному дроті в бухтах.