



МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ



ХАРКІВСЬКА НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ  
МІСЬКОГО ГОСПОДАРСТВА

А.В. КОВАЛЕНКО,  
М.А. ГОЛТВ'ЯНСЬКИЙ

## **КОНСПЕКТ ЛЕКЦІЙ**

з дисциплін

**"РЕМОНТ ТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБІВ",**

**"РЕМОНТ ТЕХНІЧНИХ ЗАСОБІВ**

**ЕЛЕКТРИЧНОГО ТРАНСПОРТУ"**

Частина II

*(для студентів 4–5 курсів усіх форм навчання спеціальностей  
7.092201 "Електричні системи і комплекси транспортних засобів",  
6.092200 "Електричний транспорт")*

Харків ХНАМГ 2009

Коваленко, А.В. Конспект лекцій з дисциплін «Ремонт транспортних засобів», "Ремонт технічних засобів електричного транспорту". Частина II (для студентів 4–5 курсів усіх форм навчання спеціальностей 7.092201 «Електричні системи і комплекси транспортних засобів», 6.092200 "Електричний транспорт") / А. В. Коваленко, М. А. Голтв'янський; Харк. нац. акад. міськ. госп-ва. – Х.: ХНАМГ, 2009. – 107 с.

Автори: доц., к.т.н. А.В. Коваленко,  
доц., к.т.н. М.А. Голтв'янський

Рецензент: проф., д.т.н. В.П. Шпачук

Рекомендовано кафедрою електричного транспорту,  
протокол №2 від 09.09.2008 р.

## ЗМІСТ

Розділ третій. Основи технології відновлення деталей під початковий розмір...5	
10.1. Класифікація способів відновлення деталей під початковий розмір.....5	
10.1.1. Структура технологічного процесу відновлення деталей під початковий розмір.....5	
10.1.2. Способи відновлення деталей під початковий розмір.....5	
10.2. Відновлення деталей слюсарно-механічною обробкою.....9	
10.2.1. Види слюсарно-механічної обробки.....9	
10.2.2. Характеристика видів слюсарної обробки.....9	
10.2.3. Механічна обробка відновлених деталей.....11	
11. Відновлення деталей пластичним деформуванням.....12	
11.1. Фізична сутність способу відновлення деталей пластичним деформуванням.....12	
11.2. Відновлення форми і розмірів зношених робочих поверхонь деталей.....13	
11.3. Відновлення фізико-механічних властивостей деталей.....20	
12. Відновлення деталей зі сталі ручним зварюванням і наплавленням.....25	
12.1. Класифікація способів зварювання і наплавлення.....25	
12.2. Фізико-хімічні процеси електродугового зварювання і наплавлення.....26	
12.3. Технологічний процес відновлення деталей із сталі зварюванням і наплавленням.....31	
12.4. Фактори, що характеризують якість зварювання і наплавлення.....34	
12.5. Способи зниження внутрішнього напруження і деформації.....37	
12.6. Джерела постачання електричного струму під час зварювання і наплавлення.....38	
12.7. Зварювальні матеріали.....40	
12.8. Класифікація сталей за зварністю металу.....44	
12.9. Газове зварювання і наплавлення.....45	
13. Відновлення деталей із сталі механізованим способом зварювання і наплавлення.....52	

13.1. Автоматичне електродугове наплавлення під флюсом.....	52
13.2. Механізоване електродугове зварювання і наплавлення в середовищі захисних газів.....	60
13.2.1. Автоматичне наплавлення і напівавтоматичне зварювання в середовищі вуглекислого газу.....	60
13.2.2. Аргонодугове зварювання.....	64
13.2.3. Автоматичне вібродугове наплавлення.....	65
13.3. Фактори, що впливають на властивості наплавленого металу.....	68
13.4. Наплавлення порошковим дротом.....	71
13.5. Електроконтактне наплавлення.....	73
13.6. Електрошлакове наплавлення.....	76
13.7. Електродугове наплавлення з газополум'яним захистом.....	79
13.8. Лазерне зварювання і наплавлення.....	80
13.9. Плазмове наплавлення.....	82
13.10. Особливості технологічного процесу зварювання чавунних деталей.....	84
13.11. Особливості технологічного процесу зварювання деталей з алюмінієвих сплавів.....	86
14. Відновлення деталей газотермічним напиленням.....	87
14.1. Класифікація способів газотермічного напилення.....	87
14.2. Газополум'яне напилення.....	88
14.3. Електродугове напилення.....	90
14.4. Плазмове напилення.....	91
14.5. Іонно-плазмове напилення.....	95
14.6. Високочастотне напилення.....	96
14.7. Детонаційне напилення.....	97
14.8. Присадковий матеріал і властивості покриттів.....	99
14.9. Технологічний процес газотермічного напилення.....	102
14.10. Плазмове напилення з наступним оплавленням покриття.....	103
Список використаних джерел.....	106

## **РОЗДІЛ ТРЕТІЙ**

### **ОСНОВИ ТЕХНОЛОГІЇ ВІДНОВЛЕННЯ ДЕТАЛЕЙ**

#### **ПІД ПОЧАТКОВИЙ РОЗМІР**

#### **10.1. Класифікація способів відновлення деталей під початковий розмір**

##### **10.1.1. Структура технологічного процесу відновлення деталей під початковий розмір**

Ремонтне виробництво транспортних засобів сьогодні має велику кількість перевірених способів відновлення деталей під початковий розмір. В основу технологічного процесу кожного з них покладена класична структура, що включає підготовку деталей до відновлення, відновлення деталей під початковий розмір, обробку деталей після відновлення.

Під час підготовки деталей до відновлення та обробки їх після відновлення завжди використовують окремі види слюсарно-механічної обробки залежно від доцільності способу відновлення.

Відновлення деталей згідно з технічними умовами повинне відповідати конструктивним і технологічним особливостям деталей і забезпечувати їх зносостійкість та запас міцності при мінімальних сумарних витратах.

##### **10.1.2. Способи відновлення деталей під початковий розмір**

У ремонтному виробництві транспортних засобів розроблено й реалізовано багато різноманітних способів відновлення деталей під початковий розмір. Вибір оптимального способу залежить від технічних, економічних та організаційних вимог до відновлюваних деталей з урахуванням умов їх роботи в спряженнях, виробничої програми, оснащеності підприємства, забезпеченості матеріалами, енергією, робочою силою і таке ін. Технічні можливості різних способів відновлення й сфера їх застосування наведені в табл. 10.1.

Таблиця 10.1 – Способи відновлення деталей

Спосіб відновлення	Область застосування
1	2
<b>Пластичне деформування:</b> – осадження; – роздавання; – обтискання; – витягування; – накатування; – карбування (чеканення); – правлення	Відновлення зовнішніх і внутрішніх робочих поверхонь деталей при невисоких вимогах до їх довжини. Відновлення зовнішніх робочих поверхонь порожнистих деталей при невисоких вимогах до внутрішніх їх розмірів. Відновлення внутрішніх робочих поверхонь порожнистих деталей при невисоких вимогах до зовнішніх їх розмірів. Збільшення довжини деталей при невисоких вимогах до їх зовнішніх розмірів. Відновлення робочих поверхонь невідповідальних деталей та відновлення рифлених і шліцьових поверхонь. Відновлення фізико-механічних властивостей деталей, зміцнення зварювальних швів. Відновлення форми і розмірів робочих поверхонь деталей.
<b>Зварювання:</b> – ручне дугове; – автоматичне і механізоване дугове; – аргонодугове; – газове; – контактне; – ультразвукове; – ковальське	Зварювання тріщин, приварювання обломів, накладок, вставок, латок, наплавлення зносостійких матеріалів. Заварювання тріщин, приварювання обломів, накладок, вставок, латок, зварювання тонкого листового матеріалу. Зварювання і наплавлення деталей, що виготовлені з алюмінію і корозійностійкої сталі. Зварювання тріщин, приварювання обломів, зварювання тонколистового матеріалу. Зварювання тонколистового матеріалу. Зварювання кольорових металів, сталі, малогабаритних деталей. Зварювання невідповідальних деталей з невисокою точністю при підвищених вимогах до міцності зварювального з'єднання.
<b>Наплавлення:</b> – дугове під флюсом	Наплавлення деталей діаметром більше 50 мм при підвищених вимогах до якості наплавленого матеріалу з товщиною наплавленого шару більше 1 мм.

1	2
<ul style="list-style-type: none"> <li>– дугове в середовищі вуглекислого газу;</li> <li>– вібродугове;</li> <li>– дугове з використанням порошкового дроту;</li> <li>– дугове в середовищі аргону;</li> <li>– контактне;</li> <li>– газове;</li> <li>– плазмове;</li> <li>– електроімпульсне;</li> <li>– електроіскрове;</li> <li>– лазерне</li> </ul>	<p>Наплавлення сталевих деталей діаметром більше 16 мм широкої номенклатури.</p> <p>Наплавлення сталевих деталей, що працюють в різних умовах при невисоких вимогах до опору втомленості.</p> <p>Наплавлення зносостійких шарів на деталях, які працюють в умовах інтенсивного абразивного зношування, ударних навантажень у вузлах тертя.</p> <p>Наплавлення алюмінієвих деталей та деталей із корозієстійкої сталі.</p> <p>Наплавлення рівних циліндричних зовнішніх і внутрішніх поверхонь із зносом менше 1 мм.</p> <p>Наплавлення циліндричних і профільних поверхонь з місцевим зносом при підвищених вимогах до зносостійкості.</p> <p>Наплавлення відповідальних деталей при підвищених вимогах до зносостійкості та опору втомленості.</p> <p>Наплавлення зовнішніх циліндричних поверхонь зі зносом до 0,5 мм із обмеженням температури нагрівання деталі.</p> <p>Наплавлення та зміцнення поверхонь із зносом до 0,2 мм при невисоких вимогах до суцільності покриття.</p> <p>Наплавлення зносостійких матеріалів на деталі відповідальні, а також зі складним профілем.</p>
<p><b>Газотермічне напилення (металізація):</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– газополум'яне;</li> <li>– електродугове;</li> <li>– плазмове;</li> </ul>	<p>Відновлення зовнішніх і внутрішніх циліндричних поверхонь нерухомих спряжень при невисоких вимогах до міцності зчеплення з основним матеріалом.</p>
<ul style="list-style-type: none"> <li>– плазмове з наступним оплавленням;</li> <li>– детонаційне;</li> <li>– високочастотне</li> </ul>	<p>Відновлення зовнішніх і внутрішніх циліндричних поверхонь деталей при підвищених вимогах до міцності зчеплення з основним матеріалом.</p> <p>Нанесення зносостійкого покриття з особливими властивостями.</p>
<p><b>Гальванічні покриття:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– хромування;</li> </ul>	<p>Відновлення зовнішніх і внутрішніх робочих поверхонь деталей із зносом (що не перевищує 0,4 мм) і високими вимогами до зносостійкості відновлених поверхонь.</p>

1	2
<ul style="list-style-type: none"> <li>– насталування (залізнення);</li> <li>– хімічне і електролітичне нікелювання;</li> <li>– міднення;</li> <li>– цинкування;</li> <li>– кадміювання;</li> <li>– фосфатування;</li> <li>– оксидування;</li> <li>– воронування</li> </ul>	<p>Відновлення зовнішніх і внутрішніх робочих поверхонь деталей із зносом, що не перевищує 1,5-2,0 мм, високою поверхневою твердістю і високими вимогами до зносостійкості відновлених поверхонь.</p> <p>Відновлення зовнішніх і внутрішніх робочих поверхонь деталей із зносом, що не перевищує 1,2-1,5 мм, і невисокими вимогами до зносостійкості відновлених поверхонь.</p> <p>Відновлення зовнішніх і внутрішніх робочих поверхонь деталей, що виготовлені з міді або її сплавів.</p> <p>Захисне антикорозійне покриття.</p>
<p><b>Використання синтетичних (полімерних) матеріалів:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– реактопластів (терморективів);</li> <li>– термопластів;</li> <li>– синтетичних клеїв</li> </ul>	<p>Відновлення внутрішніх робочих поверхонь деталей, ліквідація механічних пошкоджень.</p> <p>Відновлення зовнішніх і внутрішніх робочих поверхонь деталей вихровим, вібраційним або газополум'яним напиленням.</p> <p>З'єднання деталей склеюванням.</p>
<p><b>Паяння:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– легкоплавкі припої;</li> <li>– тугоплавкі припої;</li> <li>– паяння-зварювання</li> </ul>	<p>Відновлення герметичності з'єднань і трубопроводів, відновлення інструменту.</p>
<p><b>Термічна обробка:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– відпускання;</li> <li>– нормалізація;</li> <li>– відпалювання;</li> <li>– загартування.</li> </ul>	<p>Відновлення фізико-механічної характеристики і структури матеріалу.</p>



## 10.2. Відновлення деталей слюсарно-механічною обробкою

### 10.2.1. Види слюсарно-механічної обробки

Слюсарно-механічну обробку в ремонтному виробництві умовно розділяють на слюсарну й механічну. Її застосовують як під час підготовки деталей до відновлення під початковий розмір, так і під час їх обробки після відновлення. Крім того, механічну обробку використовують під час обробки деталей під ремонтний розмір і як самостійний спосіб відновлення деталей.

### 10.2.2. Характеристика видів слюсарної обробки

У ремонтному виробництві застосовують такі види слюсарної обробки: обпилювання, шабрування, зачищення, шліфування, притирання, полірування, хонінгування та свердління, розгортання, зенкування отворів.

**Обпилювання** застосовують: для обробки площин (наприклад, для підганяння шпонок) і заглиблень (шпонкових канавок), зняття фасок. Розрізняють грубе й тонке обпилювання, коли знімають шар металу товщиною більше 0,2 мм. При тонкому обпилюванні шар металу, який знімають, звичайно не перевищує 0,1 мм, а потрібна точність доходить до 0,005 мм. Інструментом в даному випадку служать напилки й полірувальні камені. З метою механізації робіт з обпилювання часто застосовують переносні універсальні електрифіковані обпилювально-шліфувальні пристрої з гнучким валом, які приводять в рух напилки або абразивні голівки.

**Шабрування** використовують для отримання точності геометричної форми та розмірів або щільного прилягання поверхонь рознімання у спряженнях (укладка підшипників). Процес шабрування полягає в зіскрібанні з місць поверхні деталі тонких шарів металу, що виступають, спеціальними скребками (шаберами) доти, поки щільність спряження не досягне потрібної величини. Перед шабруванням одну з деталей спряження покривають тонким шаром фарби, накладають на другу і притирають по ній. Шабрування продовжують доти, поки не одержать задовільну “сітку”, тобто кількість плям контакту на одиницю площі й визначене відношення загальної площі цих плям до площі поверхні спряження. Часто результати шабрування перевіряють не за фарбою, а “на світло” (на

блиск). Цей спосіб полягає в спостереженні ділянок дотику після сухого притирання деталей спряження: вони починають блищати і стають помітними. Цей спосіб дає кращі результати, бо фарба при сильному змазуванні може залити ділянки поверхні, які не доторкуються.

**Зачищення** застосовують при виведенні подряпин, вибоїн на спряжених поверхнях деталей. Його також застосовують для отримання необхідної чистоти обробки після обпилювання. Зачищення виконують особливим напилком з крейдою або наждачним папером.

**Шліфування** застосовують для пригання спряжених поверхонь, зокрема, зовнішніх поверхонь валів і площин. При цьому використовують легкі переносні електрифіковані шліфувальні машинки й пристрої. Вони прості за конструкцією, надійні в роботі і мають високу продуктивність.

Доведення до щільного прилягання поверхонь (тобто їх підгонку) проводять **притиранням, поліруванням, хонінгуванням**. Вони являють собою методи хіміко-механічного впливу на поверхню, яку обробляють абразивом і пастою або рідиною. Для притирання використовують спеціальні пристрої з більш м'якого матеріалу, ніж той, який обробляють: міді, чавуну, свинцю або твердих порід дерева. Поверхню пристрою насичують абразивним матеріалом (електрокорундом, карбідом кремнію, алмазним пилом, окислом хрому). У процесі притирання поверхню, яку обробляють, змочують гасом, олеїною кислотою, содовою водою та іншими рідинами. Для доведення загартованих, азотованих та хромувальних поверхонь, а також деталей із чавуну та кольорових металів, добрі результати дає полірувальна паста. Для пригання притиранням необхідно залишати шар не більше 0,5...0,7 мкм, у протилежному разі притирання потребує тривалого часу.

Процес полірування являє собою більш тонку роботу: його виконують м'якими колами із тканини, повсті, шкіри або стрічкою, покритою абразивним порошком. Полірування забезпечує отримання високої чистоти обробки. Процес хонінгування полягає в обробці отвору абразивними брусками, закріпленими в спеціальній головці – хоні. Розпиральною пружиною бруски підтискають до поверхні, яку обробляють. Хонінгуванням знімають шар металу до 0,2 мм.

**Свердління, розгортання і зенкування** отворів застосовують при закріпленні деталей у складальних одиницях штифтами, болтами, шпильками. Ці технологічні операції виконують за допомогою спеціальних пристроїв та інструменту; для зниження трудомісткості їх максимально механізують.

### 10.2.3. Механічна обробка відновлених деталей

При механічній обробці відновлених деталей застосовують такі технологічні операції: токарну, свердлильну, розточну, фрезерну, шліфувальну, полірувальну та хонінгувальну.

Механічна обробка деталей має ряд особливостей, які в основному пов'язані з вибором виду й режиму обробки. Вибір методу та режиму механічної обробки деталей значною мірою ускладнюють: висока твердість поверхонь, які обробляють, нерівномірність розподілу припусків на цих поверхнях, специфічні фізико-механічні властивості металопокриття.

При обробці деталей під ремонтний розмір, найбільш часто застосовують шліфування із зменшеними глибиною різання та подачею.

Значні труднощі виникають при обробці деталей під початковий розмір, які відновлюють наплавленням і напиленням.

Залежно від твердості наплавленого металу, обробку проводять як на токарному верстаті (при твердості наплавленого металу менше HRC 35...40), так і на шліфувальному (якщо твердість наплавленого металу перевищує HRC 35...40).

Особливості механічної обробки напиленого покриття пов'язані з його підвищеною хрупкістю, пористістю і твердістю. Залежно від твердості й величини припуску на механічну обробку напиленого покриття також виконують на токарному або шліфувальному верстатах. Токарний верстат при цьому повинен працювати на знижених режимах різання (швидкість різання не повинна перевищувати 60...80 м/хв., глибина різання – в межах 0,1...0,3 мм, подача – 0,1...0,2 мм/об), використовуючи різці з пластинками з твердих сплавів. Для шліфування деталей, котрі напилені зносостійкими покриттями з високою твердістю, використовують алмазне коло на вулканітовій зв'язці, а при його відсутності застосовують мало – або середньозернисте карборундове коло на керамічній зв'язці.

Деталі, покриті хромом, унаслідок його твердості обробляють шліфуванням, використовуючи електрокорундовий шліфувальний круг.

Основною особливістю механічної обробки деталей з покриттями із синтетичних матеріалів (пластмас) є їх низька теплопровідність і недопустимість нагрівання реактопластів до температури більше 150...160°C, а термопластів – до температури понад 120°C. Ці деталі обробляють на токарному верстаті, який

повинен працювати з особливим режимом (швидкість різання висока – 250...300 м/хв., подача мала – 0,1...0,2 мм/об).

При механічній обробці відновлених деталей треба забезпечити такі технологічні параметри: шорсткість, точність, форму, розміри й взаємне розміщення робочих поверхонь. Великі труднощі виникають при забезпеченні взаємного розміщення робочих поверхонь на деталі. Воно залежить від правильного вибору технологічної бази при її обробці. Технологічна база – це та поверхня деталі, яка визначає її положення під час виготовлення або ремонту. При виборі технологічної бази враховують наступні вимоги:

- вона повинна визначати положення деталі у складальній одиниці;
- вона повинна бути найбільш точно розміщена відносно поверхні, яку обробляють;
- вона має забезпечити обробку всіх поверхонь деталі, які її потребують;
- вона повинна забезпечити мінімальну деформацію деталі від зусиль при її обробці та закріпленні.

При відновленні деталей за технологічну базу приймають ту її поверхню, яку використовували при виготовленні. Якщо вона порушена, то обробку починають з відновлення технологічної бази.

## **11. Відновлення деталей пластичним деформуванням**

### **11.1. Фізична сутність способу відновлення деталей пластичним деформуванням**

Відновлення деталей способом пластичного деформування засновано на використанні властивостей металу деталей змінювати форму й розміри без руйнування в результаті пластичної деформації, що розвивалась внаслідок прикладення зовнішнього навантаження. При цьому об'єм металу деталі залишається постійним, але метал переміщується з неробочих ділянок на ділянки, які підлягли зносу. Деталь деформують до отримання на зношених ділянках номінальних розмірів з урахуванням припусків на механічну обробку.

Здатність металу до пластичної деформації залежить від його пластичних якостей, котрі, в свою чергу, залежать від хімічного складу, структури, температури нагрівання й швидкості деформації. Чисті метали мають найбільшу пластичність.

тичність. Вона знижується з введенням до їх складу легувальних елементів.

Пластичну деформацію деталей проводять як в холодному, так і в гарячому стані в спеціальних пристроях на пресах. При обробці деталей в холодному стані пластична деформація відбувається за рахунок зсуву окремих частин кристалів один відносно другого площинами ковзання. Внаслідок зсуву кристалів метал міцніє, оскільки його зерна витягуються в напрямку деформації, а кристалографічна решітка спотворюється. Із збільшенням деформації–зміцнення металу зростає. Проте подальша деформація ускладнюється і в момент, коли вона стає зовсім неможливою – виникає руйнування металу.

Появу зміцнення металу під час деформації деталі в холодному стані називають *наклепом*. Унаслідок наклепу збільшується межа міцності й твердості металу, а його пластичні властивості зменшуються.

Пластична деформація деталей в холодному стані потребує прикладення великих зусиль. Тому при відновленні деталей їх часто нагрівають. Температура нагрівання має бути мінімальною, але не нижче тієї, за якої підвищуються пластичні властивості металу. Дуже висока температура нагрівання може спричинити виникнення окалини та значне зниження вмісту вуглецю в поверхневих шарах металу, що зменшує зносостійкість та втомлювану міцність деталей. Тому пластичне деформування деталей із високовуглецевих сталей здійснюють за температури 1250...800°C, із легованих сталей – 1150...850°C, бронзи – 850...700°C. Після обробки деталей пластичним деформуванням в гарячому стані вони підлягають повторній термічній обробці.

## **11.2. Відновлення форми і розмірів зношених робочих поверхонь деталей**

Технологічний процес відновлення деталей пластичним деформуванням складається з підготовки деталі, деформування та обробки після деформування.

Підготовка деталей до деформування включає відпалювання чи високе відпускання робочих поверхонь перед холодним деформуванням або нагріванням їх перед гарячим деформуванням.

Сталеві деталі з твердістю не більше HRC 25...30 і деталі з кольорових металів підлягають пластичному деформуванню в холодному стані без термообробки. В інших випадках здійснюють термічну обробку деталей перед холодним деформуванням або нагрівання перед гарячим деформуванням.

Обробка після деформування зводиться до механічної обробки робочих по-

верхонь, що підлягають відновленню, до відповідних форм і розмірів. При необхідності застосовують термічну обробку.

Пластичне деформування деталей з метою відновлення форми і розмірів зношених робочих поверхонь виконують, використовуючи такі способи деформування: правлення, осадження, витягування, роздавання, обтискання, вдавлювання, накатування та електромеханічну обробку.

У процесі експлуатації транспортних засобів багато деталей втрачають початкову форму внаслідок деформації, вигину і скручування. Ці дефекти ліквідують правленням, яке виконують статичним навантаженням і наклепом. Велику кількість деталей виправляють за допомогою преса в холодному стані. Щоб отримати потрібну залишкову деформацію деталі, необхідно докласти до неї таких зусиль, які зможуть створити її повну деформацію. Величина деформації при цьому перевищуватиме залишкову в 10...15 разів. Величину зусилля для правлення, наприклад, валів розраховують за формулою:

$$P = \frac{3 \cdot f \cdot E \cdot I \cdot l}{a^2 \cdot b^2}, \quad (11.1)$$

де  $P$  – величина зусилля;

$f$  – стріла прогину вала під час правлення ( $f = 10 \cdot \delta$ ), мм;

$\delta$  – деформація вала до правлення, мм;

$E$  – модуль пружності, Н/мм<sup>2</sup>;

$I$  – осьовий момент інерції, мм<sup>4</sup>;

$l$  – довжина вала, мм;

$a, b$  – відстань від точки прикладення зусилля до опор, мм.

Для підвищення точності деформації навантаження прикладають до деталі декілька разів протягом 1,5...2 хв.

Під час холодного правлення в деталях виникають внутрішні напруження, які в процесі подальшої роботи деталей можуть складатись з напруженнями, що виникли в результаті дії робочих навантажень. Тому існує можливість виникнення повторних деформацій. Для підвищення стабільності правлення і збільшення несучої здатності деталей вони після правлення підлягають термічній обробці.

На рис. 11.1 зображено, як впливає температура нагрівання деталей із сталі 45 за витримки протягом однієї години на відновлення несучої здатності після правлення. Як видно з рисунка, під час нагрівання деталі до 400...500°C її

несуча здатність відновлюється до 90%. Такому нагріванню можна піддавати деталі, термічну обробку яких під час виготовлення виконували при температурі не нижче 450...500°C. Деталі, які під час виготовлення підлягали термічній обробці струмом високої частоти, нагрівати до температури 450...500°C не можна, оскільки при цьому погіршуються фізико-механічні властивості робочих поверхонь. Їх рекомендують нагрівати до температури 180...200°C і витримувати в печі 5...6 годин. Така стабілізація відновлює несучу здатність тільки на 60...70%. Крім того, правлення під пресом зменшує втомлювану міцність деталей на 15...20%.

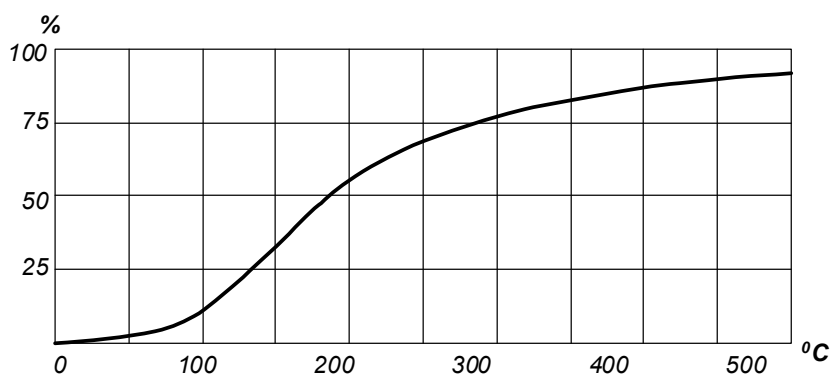


Рис. 11.1 – Вплив температури нагрівання деталей після правлення на відновлення їх несучої здатності

**Правлення наклепом** не має недоліків, які властиві правленню статичним навантаженням. Це правлення виконують пневматичним молотком із закругленим бойком або ручним молотком із сферичним бойком, наносячи удари по поверхні деталі. Удари на поверхні деталі створюють напруження стиснення, які її і випрямляють (рис. 11.2). Розмір ділянок для наклепу і глибину наклепаного шару визначають досвідним шляхом залежно від ступеня згину, форми і розмірів деталі. До переваг правлення наклепом відносять: стабільність правлення за весь час обробки; високу точність (до 0,02 мм); високу продуктивність; відсутність зменшення втомлюваної міцності.



Рис. 11.2 – Схема правлення металевого бруска наклепом

**Осадження** застосовують для зменшення внутрішнього і збільшення зовнішнього діаметра порожнистих і суцільних деталей за рахунок зменшення їх довжини. Як видно з рис. 11.3,а, напрямок діючої сили  $P$  не співпадає з напрямком деформації  $\delta$  деталі. Потрібний питомий тиск  $q$  визначають за формулою:

$$q = \sigma_{\tau} \left( 1 + \frac{d}{6 \cdot h} \right), \quad (11.2)$$

де  $\sigma_{\tau}$  – межа текучості матеріалу деталі, МПа;

$d, h$  – діаметр і довжина деталі, мм.

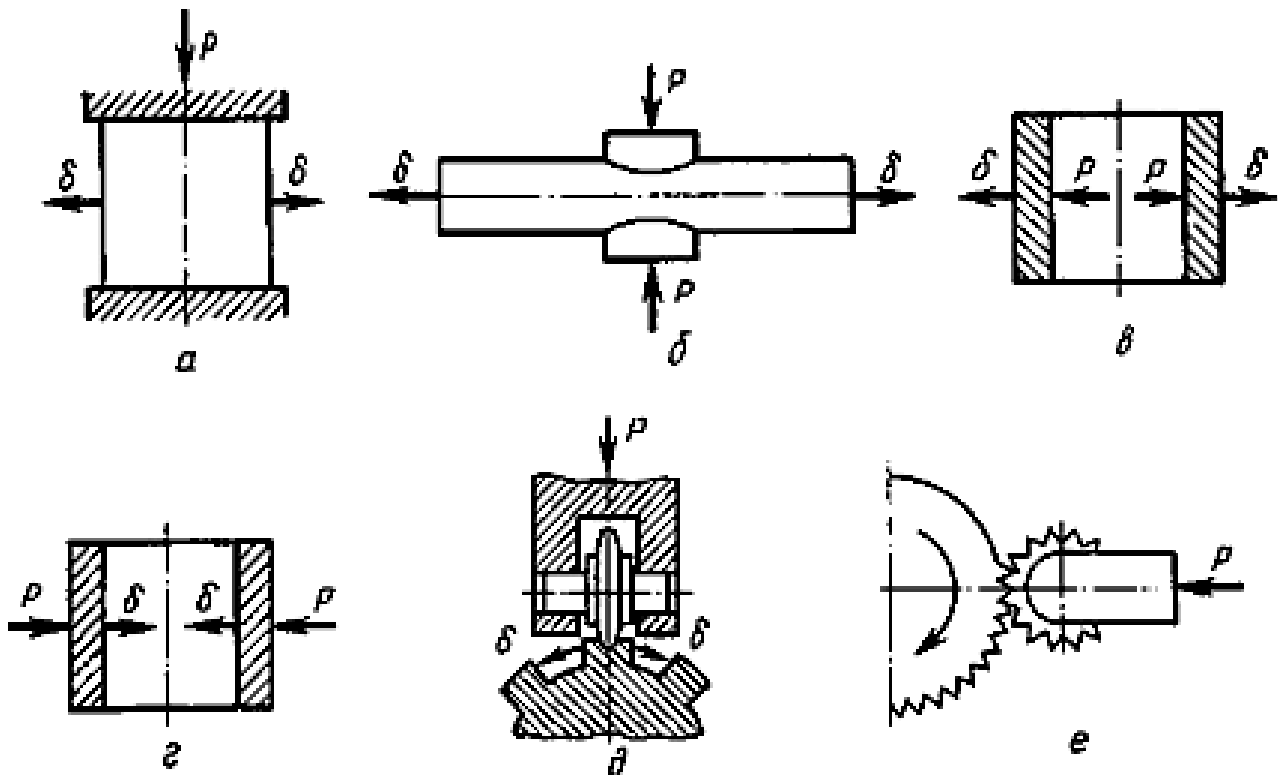


Рис. 11.3 – Схема відновлення деталей пластичним деформуванням:  
 а – осадження; б – витягування; в – роздавання; г – обтискання;  
 д – вдавлювання; е – накатування

Осадження виконують шляхом нанесенням ударів кувалдою чи верхнім бойком пневматичного кувального молота по деталі, яку встановлюють на ковалдо або нижній бойок молота перпендикулярно до її робочої поверхні.

За допомогою осадження відновлюють втулку верхньої головки шатуна електрокомпресора, вилку карданного вала, маточину ведучого диска.

**Витягування** застосовують для збільшення довжини деталей (тяг, штанг, шатунів, важелів) за рахунок зменшення її поперечного перерізу. При витягуванні напрямок деформуючої сили  $P$  (рис. 11.3, б) не співпадає з напрямком деформації. Деформацію часто проводять в холодному стані.



**Роздаванням** відновлюють зовнішні розміри порожнистих деталей за рахунок збільшення їх внутрішніх розмірів.

Роздавання характерне тим, що збігаються напрямки деформуючої сили  $P$  і деформації  $\delta$  (рис. 11.3, в). Після роздавання зовнішній діаметр деталі повинен дорівнювати номінальному (початковому) діаметру деталі з урахуванням припуску на механічну обробку. Питомий тиск роздавання визначають за формулою

$$q_p = 1,1 \cdot \sigma_\tau \cdot \ln \frac{R}{r}, \quad (11.3)$$

де  $R, r$  – зовнішній і внутрішній радіуси відновленої деталі, мм.

Цим способом обробки відновлюють, наприклад, поршневі пальці, посадкові поверхні під підшипники чашок диференціала, зовнішні циліндричні поверхні труб півосей і таке ін.

Залежно від зносу і пластичних властивостей металу деталі роздають, нагріваючи їх, або роздають в холодному стані. Якщо деталь підлягала гартуванню або цементації, то перед роздаванням її піддають відпалюванню або високому відпусканню, а після роздавання відновлюють первісну термічну обробку. Під час роздавання деталей в холодному стані їх висота незначно зменшується, а в гарячому – значно збільшується.

**Обтискання** застосовують для зменшення внутрішніх розмірів деталей за рахунок зменшення зовнішніх. Напрямок діючої сили  $P$  (рис. 11.3,г) співпадає з напрямком потрібної деформації  $\delta$ . Цим способом можна відновлювати втулки з кольорових металів, отвори у вушках рульових сошок і важелях поворотних цапф і таке ін.

Обтискання деталей проводять під пресом у спеціальному пристрої в холодному або гарячому стані.

**Вдавлювання** об'єднує осадження і роздавання, оскільки деформуюча сила  $P$  (рис. 11.3,д) спрямована під кутом до напрямлення деформації  $\delta$ . Довжина деталі при цьому не змінюється.

Вдавлюванням відновлюють зношені бокові поверхні шліців, кульових пальців, зубів шестерень, нагріваючи їх у спеціальних штампах або використовуючи ролики, клинці і таке ін.

**Накатування** застосовують при компенсації зносу зовнішніх циліндричних поверхонь деталей за рахунок видавлювання металу з поверхні, яку відновлюють. Напрямок деформуючої сили  $P$  (рис. 11.3,е) протилежний напрямку по-

трібної деформації  $\delta$ . Під час накатування деталі її вставляють у патрон або в центри токарно-гвинторізного верстата, а оправку із зубчатим роликом – на супорті верстата замість різця. При цьому одержують відновлену поверхню з високою несучою здатністю без порушення структури металу і з мінімальним зменшенням розмірів опорної поверхні. Висота підняття металу на сторону (згідно з технічними вимогами) не повинна перевищувати 0,2 мм, а зменшення опорної поверхні – 50%.

Накатуванням відновлюють деталі, твердість яких не перевищує HRC 25...30. Якщо твердість деталі вища, то вона підлягає відпусканню. Найбільш часто накатування деталей, які можуть сприймати питоме навантаження до 7 МПа, виконують роликом з кроком зубів 1,5...1,8 мм. Такими деталями можуть бути поверхні цапфи, вали різних передач, посадочні місця корпусних деталей і таке ін.

**Електромеханічною обробкою** найбільш часто відновлюють посадочні місця підшипників на валах із зносом до 0,15 мм. При цьому вал установлюють в центрах токарно-гвинторізного верстата, а на супорті закріплюють твёрдосплавну висаджувальну пластину 3 (рис. 11.4). Через пластину 3 пропускають електричний струм силою 300...500 А і напругою 2...6 В. На місці їх контакту виділяється тепло  $Q$ , кількість якого визначають за формулою:

$$Q = Q_1 + Q_2 = I^2 R t + \frac{P_0 \cdot V}{10^2}, \quad (11.4)$$

де  $Q_1$  – кількість тепла, що виділяється при проходженні електричного струму, Дж;

$Q_2$  – кількість тепла, що виділяється в результаті механічної роботи, Дж;

$I$  – сила струму, А;

$R$  – опір в місці контакту, Ом;

$t$  – час проходження струму, с;

$P_0$  – зусилля на інструменті, Н;

$V$  – швидкість деформації, м/с.

При обертання деталі і поздовжній подачі супорта твёрдосплавна пластина деформує нагрітий до температури 800...850°C метал. У результаті цих дій на поверхні вала утворюються гвинтова канавка і випинання. Діаметр вала збільшується від  $D_0$  до  $D_1$ . Після проходження згладжувальної (вирівнювальної) пластини діаметр вала зменшується від  $D_1$  до  $D_2$ , але  $D_2$  більше  $D_0$ .

Висаджувальну і згладжувальну пластини виготовляють із сплаву Т15К6.

Електричний струм підводять до вала за допомогою мідного кільця, яке встановлюють на патроні верстата, і мідно-графітової щітки. Джерелом електропостачання може бути перероблений зварювальний трансформатор, наприклад, ТС-300 з установкою одного допоміжного витка. На трансформатор подають напругу 220 В.

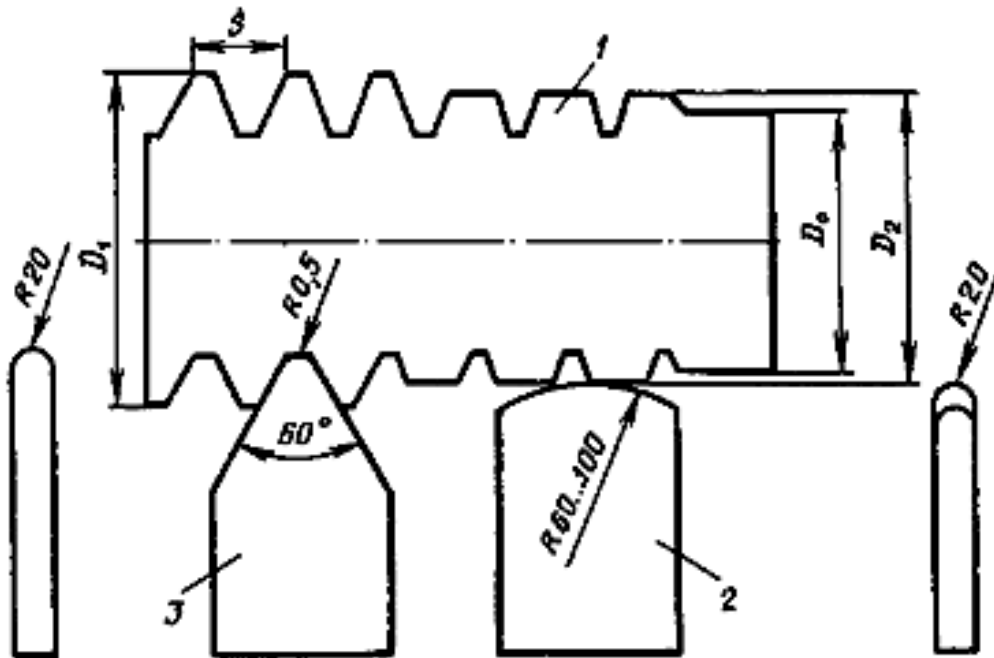


Рис. 11.4 – Схема електромеханічного способу відновлення деталей:  
1 – деталь; 2 і 3 – згладжувальна і висаджувальна пластини

Тиск на інструмент під час висаджування металу загартованих валів складає 900...1200 Н, згладжування – 300...400 Н, а для незагартованих валів – відповідно 600...800 і 300...400 Н.

Під час висаджування і згладжування металу швидкість обертання вала відповідно становить 1,5...8 і 5...8 м/хв., подача 1...2 і 0,3...1,5 мм/об, кількість проходів – 2...4 і 1...2, сила струму – 400...500 і 250...400 А.

Оцінюючи пластичне деформування як спосіб відновлення форми і розмірів зношених робочих поверхонь деталей, необхідно відзначити такі його переваги: простоту технологічного процесу і обладнання, особливо під час виконання деформування деталей в холодному стані; високу економічну ефективність технологічного процесу, оскільки не потрібно витрачати допоміжні матеріали, а трудомісткість робіт невелика. До недоліків цього способу відновлення слід віднести: обмеження номенклатури деталей, які можна відновлювати цим способом; неможливість повторного відновлення деталей; незначне зниження механічної міцності деталей.

### 11.3. Відновлення фізико-механічних властивостей деталей

Багато деталей транспортних засобів під час відновлення різними способами компенсації зносу втрачають свою початкову втомлювану міцність і зносостійкість. Відновлюють ці втрачені властивості шляхом їх зміцнення поверхневим пластичним деформуванням. Фізична сутність цього способу полягає в тому, що під тиском деформуючого елемента мікронерівності поверхні деталі пластично деформують, заповнюючи западини мікропрофілю поверхні, які обробляють. Вихідна висота мікронерівностей  $R_{\text{вих}}$  (рис. 11.5) зменшується, метал виступів переміщується в обох напрямках від місця контакту з деформуючим елементом, створюється поверхня з новим профілем і висотою нерівностей  $R$ . Вихідний діаметр деталі зменшується.

Використовуючи поверхнєве пластичне деформування, підвищують твердість поверхневого шару деталі, де утворюються сприятливі стискуючі напруження. Втомлювана міцність деталей збільшується на 30...70%, зносостійкість – в 1,5...2 рази, можливе отримання робочої поверхні із незначною шорсткістю ( $R_a = 0,04$  мкм).

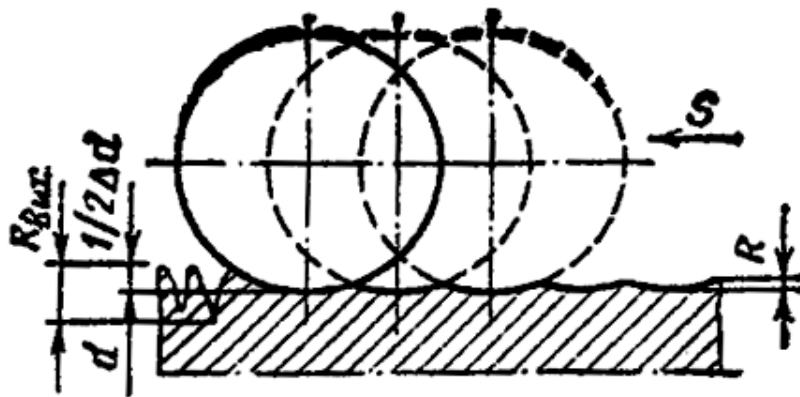


Рис. 11.5 – Схема деформації поверхні кулькою:  
 $R_{\text{вих}}$  і  $R$  – шорсткість деталі до і після обкатування;  $d$  – діаметр деталі;  
 $S$  – подача

До найбільш розповсюджених способів зміцнення деталей поверхневим пластичним деформуванням відносять: обкатування робочих поверхонь деталей кульками і роликами, алмазне вигладжування, дробоструминна обробка і чеканення (карбування).

**Обкатування робочих поверхонь деталей кульками** або роликами виконують з допомогою спеціальних пристроїв – накаток на токарно-гвинторізних верстатах. Особливістю процесу обкатування кульками є їх самовстановлення

відносно обробленої поверхні, що забезпечує кращі умови пластичного деформування металу. Крім того, таке обкатування дозволяє працювати з меншим тиском і одержувати незначну за величиною шорсткість поверхні. Недоліком кулькових накаток (в порівнянні з роликівими) є низька продуктивність. Однак роликові накатки допускають прослизання ролика щодо поверхні оброблюваної деталі. Це викликає допоміжні витрати енергії, перенаклеп і зниження показників шорсткості.

Шорсткість, ступінь зміцнення, твердість поверхні, продуктивність обробки накатками залежать від режиму обробки, що характеризується: зусиллям і швидкістю обкатування, поздовжньою подачею, припуском, кількістю проходів і таке ін.

Зусилля обкатування залежить від твердості, пластичності й структури металу, шорсткості робочої поверхні, конструктивних особливостей деталі та інструменту. Незначний тиск не забезпечує повного деформування виступів мікронерівностей робочої поверхні. Для отримання робочої поверхні з потрібними властивостями необхідно збільшити кількість проходів, що зменшує продуктивність обробки. Високий тиск спричиняє перенапруження і навіть руйнування робочої поверхні інструменту та деформацію деталей.

Найбільш точно зусилля обкатування  $P$  можна визначити експериментальним шляхом або за допомогою формул:

– під час обробки кульками:

$$P = \left( \frac{d}{0,54 \cdot E} \right)^2 \cdot g; \quad (11.5)$$

– під час деформації роликами:

$$P = \frac{D \cdot b \cdot g^2}{0,126 \cdot E \cdot \left( \frac{D}{d} + 1 \right)}, \quad (11.6)$$

де  $d$  – діаметр ролика або кульки, мм;

$g$  – найбільше значення питомої ваги, Н/мм<sup>2</sup>;

$E$  – модуль пружності оброблюваного матеріалу, Н/мм<sup>2</sup>;

$D$  – діаметр деталі, яку обробляють, мм;

$b$  – довжина контакту ролика з деталлю, мм.

Найбільше значення питомого тиску знаходиться в межах  $q = (1,8 \dots 2,1) \cdot \sigma_{\tau}$ .

Поздовжня подача інструменту впливає на шорсткість поверхні, твердість та продуктивність процесу. Під час роботи однією кулькою або сферичним роликком продуктивність процесу знаходиться в межах  $0,1 \dots 0,3$  мм/об, а роликком з циліндричним пояском –  $0,2 \dots 0,6$  мм/об.

Використовуючи багатороликовий або багатокульковий інструмент, подачу збільшують залежно від величини оптимальної подачі на один ролик або кульку, їх кількості й шорсткості оброблюваної деталі.

Шорсткість поверхні залежить в першу чергу від кількості проходів. Оптимальні зусилля обкатування і подача дозволяють досягти високої якості обробки поверхні вже після першого проходу. Обробку в декілька проходів виконують тільки при низькій якості попередньої обробки деталі або при високій її шорсткості.

Швидкість обкатування суттєвого впливу на шорсткість поверхні не справляє, але від неї значно залежить продуктивність процесу. Із збільшенням швидкості зростає нагрівання інструменту і знижується його довговічність. Через це вона має бути максимально можливою.

Припуск  $\delta$  на обкатування визначають залежно від шорсткості початкової і обробленої поверхні і знаходять за формулою

$$\delta = 1,35 \cdot (R'_z - R_z), \quad (11.7)$$

де  $R'_z$  і  $R_z$  – висота нерівностей профілю відповідно до і після обкатування, мкм.

Залежно від виду поверхні, яку обробляють, використовують накатки різних конструкцій, зокрема, розроблені конструкції накаток для обробки валів, отворів, плоских, конічних, сферичних і різних фасонних поверхонь. Наприклад, під час обробки валів використовують кулькову накатку, в корпусі 1 (рис. 11.6) якої на осях установлені два кулькових підшипники 4. У різцетримачі супорта токарно-гвинторізного верстата накатку закріплюють за допомогою держака. Кулька підшипника має діаметр  $15 \dots 16$  мм. Його утримують від випадання за допомогою сепаратора 3, а притискують до деталі за допомогою поперечної подачі супорта.

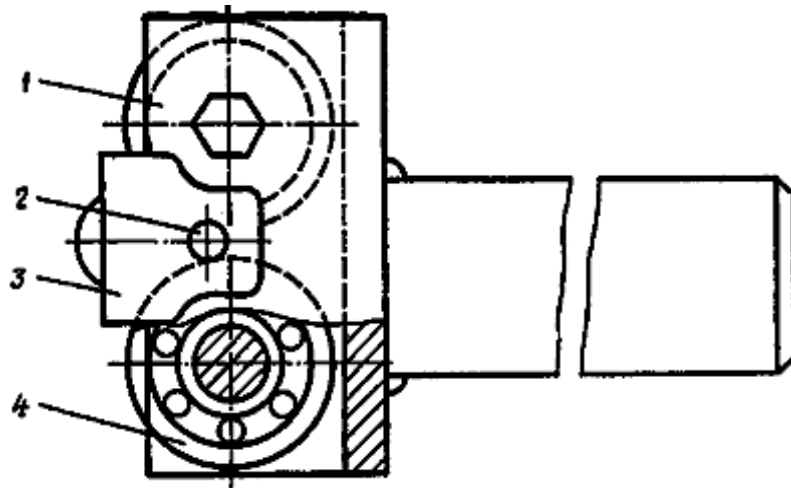


Рис. 11.6 – Схема кулькової накатки:  
 1 – корпус; 2 – гвинт; 3 – сепаратор; 4 – підшипник

**Алмазне вигладжування** застосовують при поверхневому пластичному деформуванні деталей за допомогою інструменту, робочим елементом якого є алмаз або дуже тверді матеріали з нітриду бору (гексаніт Р, кубоніт і таке ін.). До основних параметрів алмазного вигладжування відносять: форму й радіус сферичної поверхні алмаза (радіус алмаза), зусилля притиснення до деталі, подачу, кількість проходів.

Радіус алмаза вибирають враховуючи, що для дуже твердого матеріалу поверхні, яку необхідно обробляти, радіус алмаза має бути незначним. Так, для матеріалів твердістю  $HB < 300$  радіус алмаза знаходиться в межі 2,5...3,5 мм, а при  $HRC 35...50$  – 1,5...2,5 мм і  $HRC 50...65$  – 1,3...2 мм.

Зусилля притиснення до деталі під час алмазного вигладжування обумовлене фізико-механічними властивостями металу, розмірами і формою поверхні, яку обробляють, та радіусом алмаза. Якщо зусилля притиснення до деталі прикладати меншим за величиною, ніж оптимальне значення, то мікронерівності згладжуються не повністю, а якщо більшим – поверхневий шар перенаклепується і відшаровується. Оптимальне значення зусилля притиснення до деталі знаходиться в межах 150...300 Н. Для точнішого його визначення використовують формули:

– для загартованих сталей:

$$P_{\text{опт}} = 0,013 \cdot H_v \cdot \left( \frac{D \cdot R_{\text{алм}}}{D + R_{\text{алм}}} \right)^2, \quad (11.8)$$

– для незагартованих сталей і кольорових сплавів:

$$P_{\text{опт}} = 0,08 \cdot H_v \cdot \left( \frac{D \cdot R_{\text{алм}}}{D + R_{\text{алм}}} \right)^2, \quad (11.9)$$

де  $H_v$  – твердість обробленої поверхні за Віккерсом, Н/мм<sup>2</sup>;

$D$  – діаметр деталі, мм;

$R_{\text{алм}}$  – радіус алмаза, мм.

Поздовжня подача інструменту повинна бути такою, щоб на поверхні деталі не залишались необроблені ділянки. При дуже малих подачах стан поверхні погіршується внаслідок великої кратності прикладення навантаження. Найбільш ефективна величина подачі інструменту складає:

- для загартованих сталей 0,02...0,05 мм/об ( $R_{\text{алм}} = 1,3...2$  мм);
- для незагартованих сталей і кольорових сплавів 0,03...0,06 мм/об ( $R_{\text{алм}} = 2,5...3,5$  мм).

Швидкість алмазного вигладжування знаходиться в межах 10...100 м/хв. і майже не впливає на якість відновлення поверхні. Для збільшення продуктивності технологічного процесу відновлення, його треба проводити на збільшених швидкостях, але при цьому необхідно враховувати биття деталі, нерівномірність припуску на обробку і нагрівання алмаза. У результаті перегрівання алмаза значно збільшується швидкість його зносу. Вона знаходиться в межах 40...100 м/хв.

Основна деформація металу під час алмазного вигладжування відбувається при першому проході інструменту. Із збільшенням кількості проходів шорсткість суттєво не змінюється. Найбільш часто обробляють деталь за один прохід.

Алмазне вигладжування дозволяє одержати оброблену поверхню деталі з шорсткістю не нижче  $R_a = 0,04...0,8$  мкм, підвищити твердість на 25...30%, зносостійкість – на 40...60, втомлювану міцність – на 30...60%.

**Дробоструминну обробку** використовують для зміцнення ресор, пружин, валів, зубчатих коліс, зварювальних швів. Втомлювана міцність оброблених деталей підвищується на 20...60%, а твердість – до 40%.

Дробоструминний наклеп виконують під час пластичного деформування поверхні деталі потоком дробу, що створюється в спеціальному пристрої і летить із швидкістю 30...90 м/с. Результатом такого деформування є наклепаний шар глибиною 0,5...0,7 мм. Залежно від способу надання дробу кінетичної енергії пристрої класифікують: на пневматичні (дробоструминні) й механічні (дробокидальні). У пневматичних пристроях дробу надають кінетичну енергію



струменем стиснутого повітря під тиском 0,5...0,6 МПа, а в механічних пристроях – приводним ротором. Розмір і матеріал дробу вибирають залежно від розмірів деталі, яку обробляють, і необхідної шорсткості поверхні деталі після обробки. Сталеві деталі обробляють дробом, який виготовляють з вибіленого чавуну або з пружинного дроту; кольорові сплави – алюмінієвим або сталевим дробом.

**Карбування (чеканення)** виконують наклепом поверхонь деталей (галтелей колінчатих валів, зубчатих коліс, зварних швів) ударами спеціального бойка. У поверхневому шарі таким способом створюються високі напруження стиснення. Твердість поверхні деталі, яку обробляють, підвищується на 30...50%.

## **12. Відновлення деталей зі сталі ручним зварюванням і наплавленням**

### **12.1. Класифікація способів зварювання і наплавлення**

**Зварювання** – це технологічний процес отримання нероз’ємних з’єднань твердих металів шляхом встановлення міжатомних зв’язків між зварними деталями під час їх місцевого нагрівання, пластичного деформування або спільних дій одного і другого (тобто місцевого нагрівання і пластичного деформування).

**Наплавлення** – це різновид зварювання, яке являє собою процес нанесення шару металу на поверхню виробу.

Зварювання і наплавлення – найбільш поширені способи відновлення деталей у ремонтному виробництві транспортних засобів. Зварювання використовують для ліквідації механічних пошкоджень деталей, а наплавлення – для зміни форми і геометричних розмірів робочих поверхонь спряжених деталей.

Згідно з ДСТ 1.9521-74 зварювання і наплавлення металів класифікують за фізичними, технічними й технологічними ознаками.

До фізичних ознак відносять: форму введеної енергії під час зварювання, наявність тиску під час зварювання, вид інструменту як носія енергії.

Залежно від введеної енергії під час зварювання процеси розподілені на три класи: термічний, термомеханічний і механічний.

До термічного класу відносять спосіб зварювання, за яким виконують плавленням з використанням теплової енергії, зокрема: дугове, газове, високочастотне, термічне, електрошлакове, плазмове, електронно-променеве, лазерне; а до термомеханічного класу – спосіб, за яким зварювання виконують шляхом за-

стосування теплової енергії і тиску, зокрема: контактне, дифузійне, газопресове і вибухове; до механічного класу відносять способи зварювання, які виконують шляхом застосування механічної енергії і тиску, зокрема: тертям, ультразвукове.

До технічних ознак відносять: спосіб захисту зони зварювання металу, неперервність процесу зварювання і ступінь механізації процесу зварювання.

Залежно від способу захисту зони зварювання металу способи зварювання класифікують: на зварювання на повітрі, у вакуумі, в середовищі захисних газів, під флюсом і при комбінованому захисті. Як захисні під час зварювання і наплавлення використовують активні гази (зокрема, вуглекислий газ, азот, водень, водяний пар та їх суміші; інертні гази, зокрема, аргон, гелій та їхні суміші), суміші активних і інертних газів.

За неперервністю процесу зварювання способи зварювання класифікують: на неперервний і переривчастий, а за ступенем механізації – на ручні, механізовані й автоматичні.

За технологічними ознаками способи зварювання класифікують: на дугове, газове, термічне, електрошлакове, плазмове, електронно-променеве, лазерне, контактне, дифузійне, газопресове, ультразвукове, вибухове.

З усіх названих способів відновлення деталей зварюванням і наплавленням в ремонтному виробництві транспортних засобів найбільш широке використання одержало електродугове (80%) і газове зварювання (20%).

Для отримання електрозварювальної дуги використовують постійний і змінний струм.

Способи дугового зварювання класифікують: за ступенем механізації – ручне, механізоване, автоматизоване; за родом струму – зварювання на постійному, змінному, пульсуючому струмі; за станом дуги – вільне й стиснуте; за кількістю дуг – одно- і багатодугове; за полярністю зварювального струму – пряме і зворотне; за видом електроду – металевий (який плавиться), вугільний, вольфрамовий і таке ін. (які не плавляться).

## **12.2. Фізико-хімічні процеси електродугового зварювання і наплавлення**

Електродугове зварювання і наплавлення виконують за допомогою металевих електродів при живленні електричної дуги постійним або змінним струмом. Електрична дуга постійного струму більше стабільна. Крім того, це зварювання можна виконувати при прямій або зворотній полярності, приєднуючи в першо-

му випадку до деталі "плюс" джерела енергії, а до електроду – "мінус", а в другому випадку – навпаки.

Під час зварювання і наплавлення теплою зварювальної дуги, метал на поверхні деталі і присадний матеріал (електрод) нагрівають до температури плавлення, а потім плавлять, утворюючи зварну ванну, де відбувається перенесення електродного або присадочного металу. Для підтримання постійної довжини дуги електрод пересувають уздовж і поперек зварного шва. Таким чином, процес зварювання і наплавлення складається з горіння зварної дуги і її замикання краплею металу. Після закінчення зварювання і наплавлення розплавлений метал кристалізується й твердіє.

Одночасно під час зварювання і наплавлення відбуваються небажані процеси, що негативно впливають на продуктивність зварювання і наплавлення, втрату електродного металу, форму і обсяг зварювальної ванни і таке ін. Ці процеси визначають якість відновлення деталей.

До негативно впливаючих на якість відновлення деталей відносять процеси металургійні й структурнозмінні, а також ті, що пов'язані з виникненням внутрішніх напружень і деформацій. До металургійних процесів, що протікають в наплавленому металі, відносять: окислення металу, вигорання легувальних елементів, насичування наплавленого металу азотом і воднем, розбризкування металу.

Окислення наплавленого металу і вигорання легувальних елементів (вуглецю, марганцю, кремнію і таке ін.) відбувається внаслідок з'єднання його з киснем, що знаходиться в навколишньому середовищі. Ці процеси (як видно з рис. 12.1, а) знижують міцність наплавленого металу ( $\sigma_b$ ,  $\sigma_T$ ), а також зменшують ударну в'язкість ( $a_k$ ). З навколишнього середовища в наплавлений метал також проникає азот, що утворює нітриди. Як видно з рис. 12.1,б, нітриди незначно підвищують межу міцності металу ( $\sigma_b$ ,  $\sigma_T$ ), але погіршують його пластичність і ударну в'язкість ( $a_k$ ). Для захисту металу від окислення, вигорання легувальних елементів і насичування азотом під час зварювання і наплавлення використовують електродні обмазки і флюси, які утворюють шлак. Він надійно ізолює метал від навколишнього середовища. Непогані результати дає також застосування зварювання і наплавлення в середовищі захисних газів.

Насичування металу воднем підвищує пористість наплавленого металу і сприяє виникненню в ньому значного за величиною внутрішнього напруження. Водень проникає в наплавлений метал із вологи, яка завжди знаходиться в гіг-

роскопічних електродних обмазках і флюсах. Тому перед використанням їх необхідно ретельно просушити.

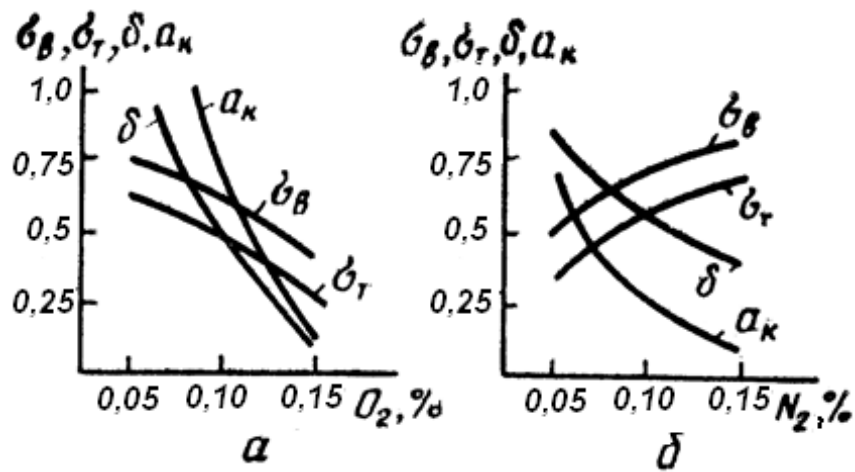


Рис. 12.1 – Зміна механічних властивостей залежно від наявності в зварювальному шві:

а – кисню; б – азоту;  $\sigma_B$  – межа міцності;  $\sigma_T$  – межа текучості;  $\delta$  – подовження;  $a_K$  – ударна в'язкість

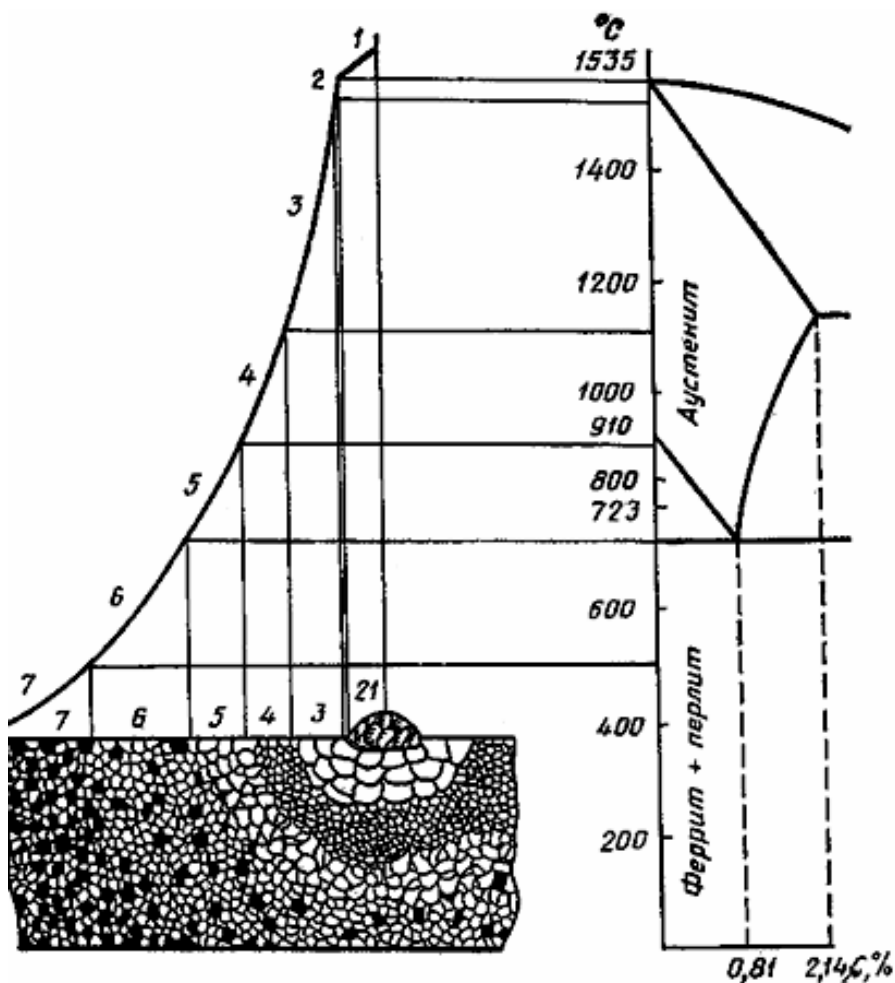


Рис. 12.2 – Схема структурних змін зони термічного впливу середньовуглецевої сталі в момент, коли метал шва знаходиться в розплавленому стані

Розбризкування металу під час зварювання і наплавлення відбувається внаслідок відновлення окислення заліза вуглецем. За цієї реакції утворюється вуглекислий і чадний газ, які швидко поширюються і розбризкують рідкий метал. Такий негативний процес збільшує втрату присадкового металу. Щоб позбутись цього, необхідно під час зварювання використовувати електроди зі зниженою концентрацією вуглецю, добре очищати деталі від окислів і вводити до складу електродних обмазок і флюсів речовини, які містять в собі розкислювальні елементи, зокрема, марганець, кремній і таке ін.

Структурнозмінні процеси в основному металі виникають внаслідок нерівномірного нагрівання деталей в навколошовній зоні, яку називають зоною термічного впливу. Як показали дослідження, в кожній точці навколошовної зони температура спочатку підвищується, а потім знижується. Там, де точка розміщена ближче до межі сплавлення, метал нагрівається швидше. Тому його структура і властивості в зоні будуть різними. Розміри зони термічного впливу і характер перетворень залежать від теплофізичних властивостей зварювального (наплавленого) металу, способу і режиму зварювання, типу зварювального з'єднання. Наприклад, розміри зони термічного впливу при газовому і електродуговому зварюванні відповідно дорівнюють 25...30 мм і 3...5 мм. Із зростанням сили зварювального струму і потужності зварювального пальника, зона термічного впливу збільшується, але з підвищенням швидкості зварювання вона зменшується. Розміри зони термічного впливу зменшують шляхом вибору оптимального режиму зварювання і наплавлення. На рис. 12.2 зображена схема структурних змін зони термічного впливу середньовуглецевої сталі в момент, коли метал шва знаходиться в розплавленому стані. Як результат нерівномірного нагрівання у зварювальній конструкції або в наплавленому валику утворюються внутрішні напруження. Їх наявність спричиняє зниження втомлюваної міцності, підвищення короблення, а також негативно впливає на опір деталі змінним навантаженням.

Якщо величина внутрішнього напруження перевищує межу текучості матеріалу деталі, то в цій деталі виникає деформація. Вона збільшується пропорційно квадрату довжини валика. Завдяки особливостям формування наплавленого шару виникають гарячі (кристалізаційні) і холодні тріщини й пори.

Гарячі тріщини виникають під час зварювання (наплавлення) вуглецевих сталей за температури 1200...1350°C. На утворення тріщин впливає наявність у

металі валика шкідливих домішок вуглецю, кремнію, сірки, фосфору, водню. Наявність в зварювальному шві корисних домішок марганцю, нікелю, хрому зменшує можливість виникнення гарячих тріщин.

Крім того, завчасне підігрівання і раціональний вибір режимів зварювання та наплавлення і порядок накладення швів зменшують вплив розтягуючого напруження. Температура підігрівання знаходиться в параметрах 150...700°C і залежить від хімічного складу металу, яким наплавляють. Тріщини виникають рідше при збільшенні коефіцієнта форми проварювання ( $K_{фп}$ ) до 7 од., який визначають за формулою:

$$K_{фп} = \frac{b}{h}, \quad (12.1)$$

де  $b$  – ширина шва, мм;

$h$  – глибина шва, мм.

Холодні тріщини виникають під час зварювання вуглецевих сталей за температури нижче +400°C і діляться на загартовані й крихкі.

Загартовані тріщини утворюються на межі сплавлення в середньо- і високолегованих сталях перлітного і мартенситного класів внаслідок того, що в присутності мартенситу об'єм металу збільшується і виникає структурне напруження. Якщо утворення мартенситу неминуче, то зварювання і наплавлення проводять малим за величиною струмом і з великою швидкістю. Тоді голки мартенситу будуть невеликими, а виникаюче напруження неспроможне зруйнувати метал.

Крихкі тріщини виникають в наплавленому шарі під час його швидкого охолодження. Вони розповсюджуються із наплавленого металу в основний з великою швидкістю (1200...1800 м/с). Для попередження цього потрібно завчасно підігрівати деталі перед наплавленням, що спричиняє розпад аустеніту, а потім повільно охолоджувати.

Пори виникають тільки на грані розподілу фаз між твердим і рідким металом. Це явище можна пояснити наявністю в рідкому металі бульбашок чадного і вуглекислого газів і водню. Для зменшення пор необхідно:

- захищати зону зварювальної дуги від дії зовнішнього середовища;
- вилучати водень, азот і бульбашки нерозчинних газів із зварювальної ванни, або вилучати їх за рахунок зв'язку в з'єднаннях, що переходять у шлак до кристалізації ванни;

- знижувати окис вуглецю або водяного пару шляхом розкислення ванни і вилучати вільний кисень;
- затримувати кристалізацію ванни, щоб швидкість виділення бульбашок була більшою, ніж швидкість зростання кристалів;
- застосовувати зворотну полярність, що сприяє зменшенню розчинення протонів водню в краплі;
- підбирати режим зварювання і середовища, де його проводять.

### **12.3. Технологічний процес відновлення деталей із сталі зварюванням і наплавленням**

Технологічний процес відновлення деталей із сталі зварюванням і наплавленням складається з технологічних процесів підготовки деталей до зварювання і наплавлення, виконання зварювання і наплавлення, обробки деталей після зварювання і наплавлення.

Обсяг і характер технічних операцій, які виконують під час підготовки деталі до зварювання, залежать від виду дефекту. Їх виконують в такій технологічній послідовності:

- тріщини, зломи, зігнуті частини деталі рихтують;
- задирки на поверхнях зварювальних деталей зачищають;
- деталі підігрівають до температури навколишнього середовища, яка повинна бути не нижче плюс 5°C;
- деталі, здатні до повітряного загартування, підігрівають. Із режимом підігрівання можна ознайомитись в довідковій літературі;
- чисто оброблені поверхні, розміщені поблизу місця зварювання, закривають азбестовим картоном;
- корозійні пошкодження зачищають сталевією щіткою до металевого блиску;
- тріщини оглядають, визначають їх кінці і засвердлюють свердлом діаметром 4...6 мм з метою попередження можливості їх подальшого розповсюдження. Отвори роззенковують на  $\frac{1}{2}$ ... $\frac{1}{3}$  товщини металу. Після цього тріщину розробляють шліфувальним кругом за допомогою ручної шліфувальної машинки. При товщині металу деталі менше 5 мм тріщину (як це показано на рис. 12.3, а) не розробляють, а тільки зачищають її краї. Якщо товщина металу більше 5 мм, виконують V-подібну розробку країв тріщини, а

- при товщині металу більше 12 мм – Х-подібну розробку;
- підготовку до відновлення різьби в отворі проводять з видаленням старої різьби свердлінням з наступною розробкою країв свердлом більшого діаметра (рис. 12.3, б).

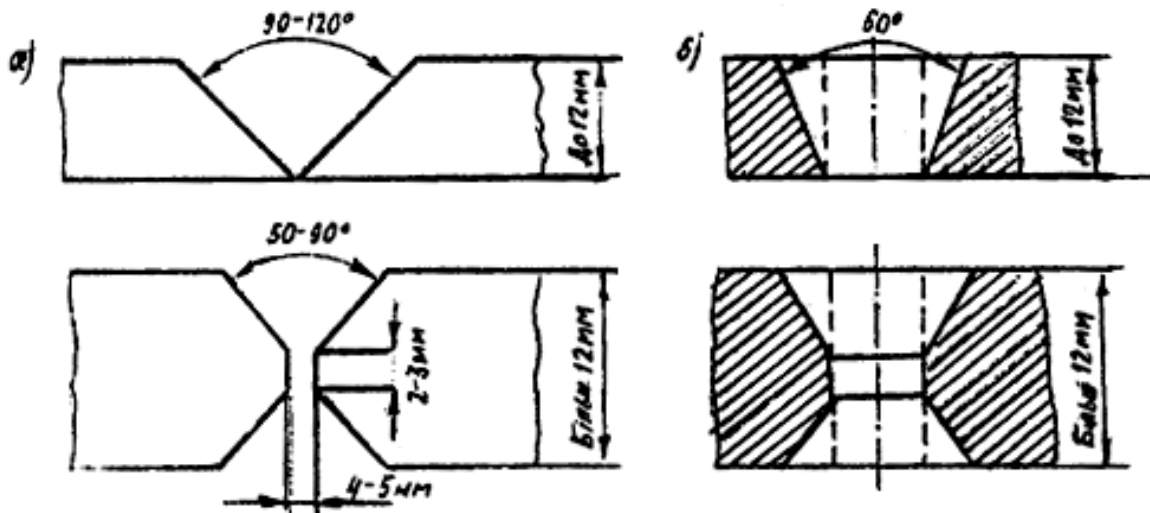


Рис. 12.3 – Підготовка тріщини (а) і отвору (б) до зварювання

Порядок виконання технологічного процесу зварювання і наплавлення залежить від обраного способу. Особливу увагу при цьому зосереджують на виборі матеріалу електродів і присадкового дроту, бо від них залежить якість наплавленого металу. Крім того, зосереджують увагу на виборі засобів захисту металу від процесів, що негативно впливають на якість відновлення, а також на визначення параметрів технологічного процесу зварювання і наплавлення.

Основним параметром технологічного процесу зварювання і наплавлення є зварність металів, що являє собою здатність металу створювати зварювальні з'єднання за визначеною технологією зварювання, які в зварювальному шві мають механічні властивості такі, як і основний метал.

Розрізняють металургійну, технологічну і експлуатаційну зварюваність металів.

Під *металургійною зварюваністю металів* розуміють процеси, що протікають в зоні сплавлення деталей під час зварювання. У результаті дії цих процесів утворюються нероз'ємні зварювальні з'єднання.

Під *технологічною зварюваністю металів* розуміють можливість одержання зварювального з'єднання визначеним способом. Згідно з її технологією встановлюють режими й способи зварювання, технологічну послідовність виконання зварювальних робіт.



Під *експлуатаційною зварюваністю металів* розуміють міцність і пластичність зварювальних з'єднань при певних умовах навантаження. Вона є сумарним виявленням металургійної і технологічної зварюваності. Її критерієм вважають руйнівальне зусилля (навантаження), що характеризує механічну міцність під час випробування на зріз або розтяг.

У ремонтному виробництві транспортних засобів використовують такі способи ручного зварювання деталей: зварювання встик, внапусток, у тавр і зварювання накладок.

Залежно від розміру перерізу зварювального шва під час *зварювання встик* вони бувають однопрохідними, багатопрохідними і багат шаровими (рис. 12.4, а, б, в). Для зварювання деталей устик товщиною більше 25 мм використовують багат шарове зварювання, застосовуючи зварювання методом "гірка" (рис. 12.4, г). Особливістю цього методу є те, що, запобігаючи виникненню тріщин у зварювальному шві, його кратер обов'язково заповнюють розплавленим електродним металом і виводять так звану технологічну пластину. Для цього під час закінчення поступального руху електрода повільно розривають електричну дугу. Що стосується багатопрохідних і багат шарових зварювальних швів великої довжини, то їх отримують зворотноступеневим методом. Різниця між шириною і висотою зварювального шва в різних перерізах допускається не більше 2 мм за умови плавного переходу від одного розміру до другого.

Для зварювання сталевих деталей "устик" величину діаметра електрода і зварювального струму залежно від заданої товщини деталі визначають за допомогою довідкової літератури.

При зварюванні "внапусток" згідно з ДСТ 8713-70 ширина перекриття листів має дорівнювати 4...5 величинам товщини більш тонкого листа. При цьому листи повинні щільно прилягати один до одного.

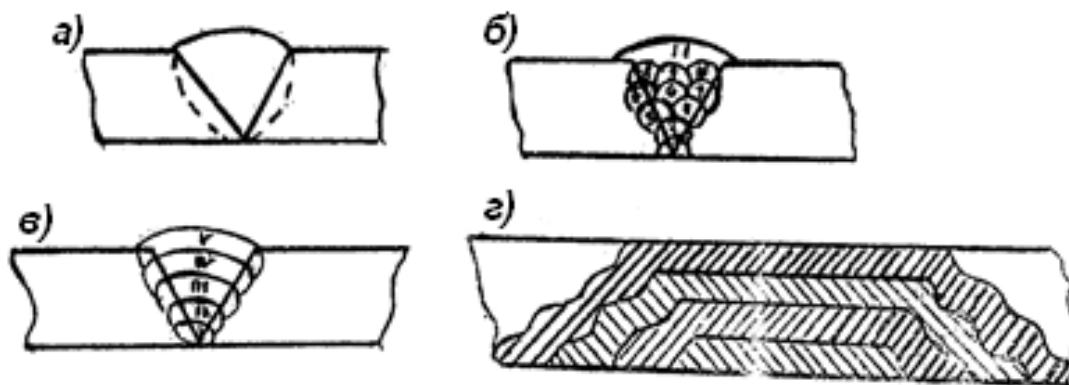


Рис. 12.4 – Схема наповнення шва під час зварювання залежно від його розмірів: а) прохідного; б) багатопрохідного; в) багат шарового; г) методом "гірки"

При зварюванні таврового з'єднання "під кутом" електрод повинен бути нахилений під кутом  $45^\circ$  до зварювальних поверхонь. Якщо зварюють частини деталі різної товщини, то кут нахилу до тоншої частини повинен бути  $70\dots 80^\circ$  до лінії перерізу площин листів за напрямком зварювання даної ділянки.

Для зміцнення зварювальних з'єднань "у стик", а також під час зварювання тріщин, застосовують зварювання одно- і двосторонніх накладок. Залежно від типу перерізу частин деталей, які з'єднують, накладки можуть бути суцільними листовими, кутовими або коробчастими. Товщина односторонньої накладки має бути не менше 0,7 товщини основного металу, а товщина кожної з двосторонніх накладок – не менше половини товщини основного металу. Суцільні листові накладки повинні перекривати стик або тріщину не менше ніж на 100 мм. Під час зварювання двосторонніх суцільних листових накладок їх розмір визначають, враховуючи умови, щоб протилежні зварювальні шви були зміщеними не менше, ніж на 30 мм.

Після відновлення деталі зварюванням або наплавленням вона підлягає механічній обробці, внаслідок якої деталь повинна мати значення параметрів: шорсткість, точність розмірів, форму і взаємне розміщення робочих поверхонь згідно з робочим рисунком.

#### **12.4. Фактори, що характеризують якість зварювання і наплавлення**

До факторів, що характеризують якість зварювання і наплавлення, відносять продуктивність зварювання, втрату електродного металу, форму і обсяг зварювальної ванни і таке ін.

Основною характеристикою продуктивності зварювання є лінійна швидкість плавлення електрода за одиницю часу. Вона обумовлена щільністю, силою та полярністю зварювального струму, режимом зварювання і складом електрода.

З підвищенням величин щільності й сили зварювального струму швидкість плавлення електрода зростає майже за лінійною залежністю. Підвищення зварювального струму приводить до збільшення глибини проплавлення і утворення більш високих і вузьких валиків. При прямій полярності зварювального струму швидкість плавлення електрода також зростає, бо теплоти виділяється майже на 20% більше, ніж при зворотній полярності.

Продуктивність зварювання характеризують коефіцієнтами розплавлення

$\alpha_p$  і наплавлення  $\alpha_n$ . Їх відповідно визначають за формулами:

$$\alpha_p = \frac{Q_p}{I \cdot t_p}; \quad \alpha_n = \frac{Q_n}{I \cdot t_n}, \quad (12.2)$$

де  $Q_p, Q_n$  – відповідно маса розплавленого і наплавленого металу, г;

$I$  – сила зварювального струму, А;

$t_p, t_n$  – відповідно час розплавлення і наплавлення, год.

Коефіцієнт наплавлення завжди менше коефіцієнта розплавлення на 3...5 г/(А·год.), оскільки він враховує витрати металу на окислення, випаровування та розбризування електродного металу.

Величина втрати електродного металу залежить від характеру перенесення електродного металу, форми й розміру краплі і характеризується коефіцієнтом втрати електродного металу  $\psi$  під час наплавлення. Його визначають за формулою:

$$\psi = \frac{\alpha_p - \alpha_n}{\alpha_p} \cdot 100. \quad (12.3)$$

Коефіцієнт втрати електродного металу для різних марок електродів неоднаковий; його величину приймають як таку, що дорівнює 1,1...1,25.

На характер перенесення електродного металу, форму й розмір краплі впливає співвідношення сил, що діють на краплі металу на торці електрода. До цих сил відносять: силу ваги, силу поверхневого натягу, електромагнітну силу, силу реактивного тиску парів, аеродинамічну силу.

Силу ваги треба враховувати під час зварювання і наплавлення на малому зварювальному струмі, коли крапля під дією власної маси намагається переміститись униз. Вона відіграє позитивну роль під час зварювання в нижньому положенні, а також перешкоджає процесу перенесення краплі до зварювальної ванни під час вертикального положення.

Сила поверхневого натягу надає краплі розплавленого металу форму шару і зберігає її до моменту зіткнення з поверхнею розплавленої ванни. У загальному випадку вона сприяє збільшенню розмірів крапель, що утворюються на торці електрода.

Електромагнітна сила прагне деформувати провідник в радіальному напрямку. Її величина пропорційна квадрату сили струму.

Реактивний тиск парів впливає на характер перенесення металу. Він вини-

кає внаслідок утворення і виділення газів під час випаровування металу з поверхні краплі. Випаровування відбувається в зоні активних плям (катодної і анодної), переміщення яких викликає рухливість крапель.

Величина реактивних сил залежить від розмірів активних плям, щільності струму в них і теплофізичних властивостей матеріалу електрода. Реактивний тиск виявляється переважно на прямій полярності, бо щільність струму в катодній плямі значно більша, ніж в анодній.

Аеродинамічні сили характерні для потужних плазмових (газових) потоків. Їх величину визначають аеродинамічним гальмуванням краплі в газовому потоці і магнітокінематичними силами. Сила аеродинамічного гальмування пропорційна щільності газу, його швидкості, ефективній площі перерізу краплі, що спроектована на напрямок газового потоку. З урахуванням співвідношення сил, що діють на краплю, перенесення електродного металу може суттєво змінюватись. На тип перенесення, який може бути крупнокраплинним, дрібнокраплинним, туманоподібним, впливають склад і товщина покриття електродів, режими зварювання, рід струму і його щільність.

Для електродів з основним покриттям характерним є крупнокраплинне перенесення в широкому діапазоні режимів зварювання, а для електродів з кислим і рутенієвим покриттями – дрібнокраплинне. Невеликий розмір крапель обумовлюється порівняно низькою міжфазною напругою на межі металу зі шлаком, бо шлак і метал містять значну кількість кисню. Розмір крапель суттєво залежить від сили струму.

При невеликій величині щільності струму метал переноситься крупними краплями. Із збільшенням величини його щільності маса крапель зменшується і можна спостерігати дрібнокраплинне і навіть туманоподібне перенесення. Як тільки зварювальний струм перевищить своє критичне значення, тобто коли  $I_{\text{ед}} \geq (140 \dots 150) \cdot d$ , можливо, розпочнеться струминне перенесення електродного металу. Тут  $d$  – діаметр електрода.

Форма зварювальної ванни залежить також від сил, що діють на рідинний метал. Сила реактивного тиску парів витісняє метал до задньої частини ванни. Збільшуючи або зменшуючи нахил електрода, можна змінювати напрямок цієї сили і відповідно висоту наплавленого валика й глибину проплавлення основного металу. Крім того, на форму і об'єм зварювальної ванни і шва впливають напруга електричної дуги, швидкість наплавлення, нахилення і діаметр елект-

рода, кількість та розміщення цих електродів.

## 12.5. Способи зниження внутрішнього напруження і деформації

Для зниження внутрішнього напруження і деформації, що виникають в основному металі під час зварювання і наплавлення, використовують такі способи: відпускання, аргонодугової обробки, проковування шва і навколошовної зони, термічного або механічного правлення.

**Відпускання** використовують для знімання внутрішнього напруження, що виникає під час зварювання вуглецевих конструкційних сталей. Його проводять шляхом нагрівання деталі до температури 630...650°C і витримки протягом 2...3 хв. на 1 мм товщини металу. Охолодження повинне бути повільним, що обумовлюється хімічним складом сталі. Із підвищенням наявності вуглецю в сталі зменшують тривалість охолодження. В окремих випадках деталь охолоджують разом з піччю до температури плюс 300°C, а потім охолоджують на повітрі.

Під час високого відпускання внутрішнє напруження знижується внаслідок того, що при температурі плюс 600°C межа текучості металу близька до нуля і матеріал практично не чинить опору пластичній деформації.

Але високе відпускання – дорога операція. Тому під час зварювання і наплавлення деталей зі сталі з підвищеною кількістю вуглецю і легувальних елементів обмежуються завчасним місцевим або загальним підігріванням. Крім того, не проводять після цього навіть термічної обробки.

**Аргонодугова обробка** полягає в тому, що електродом, який не плавиться в аргоні, розплавляють ділянки переходу від шва до основного металу. Це порушує рівновагу внутрішніх сил напруженого поля внаслідок переходу частини металу в рідинний або пластичний стан. У процесі кристалізації розплавленого металу знову виникає внутрішнє напруження порівняно малої величини, бо його кількість набагато менша, ніж кількість металу шва. Внутрішнє напруження зменшується на 60...70%, а одержаний плавний перехід від шва до основного металу сприяє значному підвищенню міцності зварювальних з'єднань, особливо під час роботи на змінних навантаженнях.

**Проковуванням шва і навколошовної зони** ліквідують майже повністю внутрішні напруження за рахунок утворення додаткової пластичної деформації. Проковування проводять під час охолодження металу, температура якого зни-

зяться до плюс 450°C, або до плюс 150°C і менше. В інтервалі температур +400...+200°C у зв'язку зі зниженою пластичністю металу можливе утворення підрізання. Багатошаровим зварюванням і наплавленням проковують кожен шар, за винятком першого. Проковуванням зварювальних з'єднань також підвищують втомлювану міцність.

## **12.6. Джерела постачання електричного струму під час зварювання і наплавлення**

Джерела постачання електричного струму, які використовують під час зварювання і наплавлення, класифікують за такими ознаками: родом струму, зовнішньою характеристикою, числом постів, що одночасно живляться електричним струмом, способом встановлення і монтажу, принципом дії, конструктивним оформленням та призначенням.

Джерела постачання постійного струму класифікують на:

- перетворювачі напруги – ПСО-300-2У2, ПСО-300, ПСО-500, ПСГ-500-1У3; ПСУ-500, ПД-305У2, ПС-1000 і таке ін.;
- генератори – ГД-304У2, ГД-502У2, ГСМ-500У2 і таке ін.;
- агрегати для ручного дугового зварювання в нестационарних умовах – АСБ-300-7, АДВ-306, АДД-303У1, АДД-3112У1, АСДП-500Г-3М та ін.;
- випрямлячі для електричного дугового зварювання – ВД-201У3, ВД-306У3, ВС-300, ВС-600, ВДГ-303У3, ВДУ-1201У3 і таке ін.
- До джерел постачання змінного струму відносяться зварювальні трансформатори з підвищеним магнітним розсіюванням (типу ТД), які за способом регулювання індуктивного опору класифікують на:
  - зварювальні трансформатори з магнітним шунтом – СТШ-250, СТШ-300, СТШ-500 і таке ін.;
  - зварювальні трансформатори з рухомими обмотками – ТД-02У2, ТД-306У2, ТДМ-317У2 і таке ін.

Спільна структура позначення джерел постачання електричного струму для дугового зварювання складається із буквеної і цифрової частин. Наприклад, ТД-306П2 розшифровують так: зварювальний трансформатор (Т) для дугового зварювання (Д), величина зварювального струму 300 А (3), реєстраційний номер виробу (06), для роботи в районах з помірним кліматом (П), розміщують на причепі або в кузові автомобіля (2).

Спеціальні джерела постачання електричного струму призначені для ручного, механізованого та автоматичного зварювання легких металів і сплавів, корозійностійких сталей, міді та її сплавів, а також виробів з тонких і особливо тонких матеріалів електродами, що плавляться або не плавляться.

Під час стійкого горіння електричної дуги як постійного, так і змінного струму в схемах спеціалізованих джерел часто використовують допоміжні пристрої, зокрема: осцилятори, імпульсні стабілізатори горіння електричної дуги змінного струму, пристрої для плавного зниження зварювального струму в кінці зварювання (зварювання кратера), регулятори струму і напруження і таке ін.

Осцилятори використовують під час зварювання деталей в середовищі захисних газів електродами, що не плавляться, для початкового збудження дуги безконтактним способом.

Імпульсні стабілізатори горіння електричної дуги застосовують під час зварювання змінним струмом деталей з легких металів у середовищі захисних газів за допомогою електродів, що не плавляться.

До спеціальних джерел постачання електричного струму відносяться пристрої УДГ-301 та УДГ-501, які використовують під час зварювання змінним струмом у середовищі аргону деталей з легких металів і сплавів за допомогою електрода, що не плавиться.

За допомогою УДГ-101 зварюють вироби з корозійностійких (нержавіючих) сталей постійним струмом в середовищі аргону.

Прилад УПС-301 призначений для плазмового зварювання і наплавлення постійним струмом прямої і зворотної полярності з допомогою електрода, що не плавиться. Він складається з джерела постачання електричного струму ВДУ-305, блока управління і плазмотрона.

Універсальне джерело постачання електричного струму ТРИ-300Д призначене для електродугового зварювання виробів постійним або змінним імпульсним струмом з допомогою електродів, що не плавляться, а також для ручного зварювання в середовищі аргону всіх металів, включаючи алюміній, магній і їх сплави з допомогою електродів, що плавляться.

Кліматичне виконання і категорія розміщення знаходять відображення в позначенні всіх спеціалізованих джерел постачання електричного струму. Наприклад, позначення ПХЛ4 вказує, що пристрій призначений для роботи в помірному (П) або холодному (ХЛ) кліматі в приміщенні з опаленням і примусовою вентиляцією (4).

## 12.7. Зварювальні матеріали

Для зменшення дії процесів, що негативно впливають на якість відновлення деталей під час зварювання і наплавлення, використовують різний зварювальний матеріал, зокрема, зварювальний дріт, пруток і електроди.

Сталевий зварювальний дріт згідно з ДСТ 2246-70 виготовляють майже 75 марок діаметром 0,3...12 мм і розділяють на низьковуглецевий, легувальний та високолегувальний.

Умовне позначення марки дроту включає: індекс Св – зварювальний і наступні за ним цифри, що показують наявність вуглецю в сотих долях відсотка; буквене позначення легувальних елементів. За наявності легувальних елементів менше 1% ставлять тільки букву цього елемента, а якщо перевищує 1% – цифру, що свідчить про наявність елемента в цілих одиницях відсотку. Цифри перед буквами Св вказують діаметр дроту, буква А в кінці марки низьковуглецевого і легувального дроту вказує на підвищену чистоту металу за наявністю сірки і фосфору. Букви, що стоять після А через дефіс, вказують: О – обміднений, Е – для виготовлення електродів, Ш – одержаний із сталі, що виготовлена електрошлаковим переплавленням; ВД – виготовлена вакуумно-дуговим переплавленням; ВІ – виготовлена у вакуумно-індукційній печі; Д – холоднодеформована; Г – гарячедеформована; КР – круглого перерізу; БГ – моток, бухта; КТ – котушка; БР – барабан. Наприклад, 2,5Св08Х3Г2СМФА-ВИ-Е-О розшифровують так: діаметр дроту 2,5 мм, зварювальний дріт містить 0,08% вуглецю, 3% хрому, 2% марганцю, 1% кремнію, 1% молібдену, 1% ванадію, підвищено чистий за наявністю сірки і фосфору, виготовлений у вакуумно-індукційній печі, призначений для виготовлення електродів, обміднений.

Для зварювання алюмінію і його сплавів згідно з ДСТ 7871-75 виготовляють 25 різних видів (марок) зварювального дроту діаметром 0,8...12,5 мм.

Для зварювання міді і її сплавів згідно з ДСТ 16130-85 використовують дріт марки: для міді – М1, М1р, МСр1, МНЖ5-1, МНЖКТ5-1-02; бронзи – БрКМц3-1, БрОЦ4-3, БрАМц9-2 і таке ін.; латуні – Л63, ЛО60-1, ЛК62-05.

Згідно з ДСТ 2671-80 для зварювання використовують прутки різних марок залежно від марки основного металу. Наприклад, для зварювання чавуну застосовують пруток діаметром 4...16 мм, довжиною 250, 350 і 450 см, торці якого пофарбовані в різні кольори. Так, торці прутка з чавуна марки ПЧ1 фарбують чорним кольором, ПЧ2 – червоним, ПЧН1 – синім, ПЧН2 – коричневим, ПЧИ –



жовтим, ПЧВ – зеленим.

Для зварювання міді і її сплавів використовують прутки марки: М1р, М2р, ЛМц58-2, ЛОК-52-1-03 та ін.

Електроди класифікують на електроди, що плавляться під час зварювання або наплавлення, і на електроди, що не плавляться. До електродів, які не плавляться під час зварювання, відносять графітові, вольфрамові і таке ін. Для цих електродів як присадковий матеріал використовують звичайний зварювальний дріт.

Електроди, що плавляться, класифікують за різними ознаками і розрізняють за видами покриттів.

Маловідповідальні деталі складальних одиниць транспортних засобів, що виготовлені із сталі, зварюють електродами, із дроту марки ЗСв-0,8А. Його рубають на куски довжиною 300...500 мм і вкривають обмазкою, що складається із 75% крейди і 25% рідкого скла. Таким електродом присвоїли марку Е-34, але промисловість їх не випускає.

Для зварювання і наплавлення відповідальних деталей використовують електроди із спеціальним покриттям. Залежно від відношення їх діаметра електрода  $D$  до діаметра сталевих дроту  $d$ , електроди виготовляють з тонким – М (коли  $D/d \leq 1,20$ ), середнім – С (коли  $D/d = 1,2 \dots 1,45$ ), товстим – Д (коли  $D/d = 1,45 \dots 1,8$ ) і особливо товстим – Г (коли  $D/d > 1,80$ ) покриттями.

Електроди, призначені для електродугового зварювання і наплавлення сталевих деталей, які виготовляють згідно з ДСТ 9466-75 і 9467-75, позначають буквою Е з двозначною цифрою через дефіс (наприклад, Е-42). Тут цифра показує величину міцності зварювального шва на розтягування.

Електроди, призначені для наплавлення сталевих деталей, позначають двома буквами ЕН і цифрами, що показують гарантовану твердість наплавленого шару. Згідно з ДСТ 10051-75 визначено 44 типи таких електродів. Кожному типу відповідають декілька марок, що відрізняються видом покриття і складом обмазок.

Залежно від виду покриття і складу обмазок електроди розподіляються на: А – з кислим покриттям, що містить оксид заліза, марганцю, кремнію, часом титану, бувають однієї з марок ОММ-5, ОММ-5Ц, ЦМ-7, ЦМ-в і таке ін. Зварювання виконують на постійному струмі прямої і зворотної полярності і на змінному струмі;

**Б** – з основним покриттям, бувають однією з марок ЦОНИ-13/45, ЦОНИ-13/55, ЦЛ-9, ОЗС-2, АНО-7, АНО-8 і ін. Вони мають як основу фтористий кальцій (плавиковий шпат) і карбонат кальцію (мармур, крейда). Зварювання виконують на постійному струмі зворотної полярності. Електроди цих марок використовують для зварювання деталей з товстими стінками, бо метал шва мало схильний до виникнення гарячих і холодних тріщин;

**Ц** – з целюлозним покриттям, що створює газовий захист електричної дуги, бувають однією з марок: ВСЦ-4, ВСЦ-4А, ОМА-2, ОЗС-1 і таке ін. Їх використовують для зварювання сталевих деталей малої товщини на змінному струмі;

**Р** – з рутиловим покриттям, основним компонентом якого є окис титану  $ТO_2$ , бувають однієї з марок: ОЗС-4, ОЗС-6, АНО-1, АНО-3, АНО-4, АНО-5, АНО-12 і таке ін. Їх використовують для зварювання деталей на постійному струмі прямої і зворотної полярності і на змінному струмі, бо стійкість горіння дуги у всіх просторових положеннях висока;

**П** – з інших видів покриттів, бувають однієї з марок АНО-6, АНО-10 і т. ін.

Під час використання змішаного виду покриття застосовують подвійне умовне позначення.

Залежно від зварювальних матеріалів, що мають позначення, зокрема, вуглецеві й низьколегувальні вуглецеві сталі – У; легувальні конструкційні сталі – Л; легувальні теплостійкі сталі – Т; високолегувальні сталі з особливими властивостями – В; призначені для наплавлення поверхневих шарів сталі з особливими властивостями – Н, електроди розподіляють на групи. За допустимими просторовими положеннями зварювання їх позначають: для зварювання у всіх просторових положеннях – 1; для зварювання у всіх просторових положеннях, крім вертикального зверху до низу – 2; для нижнього, горизонтального зварювання на вертикальній площині, і для вертикального зварювання знизу до верху – 3; для нижнього зварювання – 4.

Залежно від роду і полярності струму, а також від величини номінальної напруги холостого ходу джерела живлення зварювальної дуги змінного струму електроди маркують: тільки для постійного струму зворотної полярності – 3; для напруги холостого ходу змінного струму  $50\pm 5В$  – 1, 2 і 3; те саме для  $70\pm 10В$  – 4, 5 і 6; те саме для  $90\pm 5В$  – 7, 8 і 9.

Умовне позначення електродів для зварювання конструкційних сталей складається з типу електрода і його марки, діаметра стержня, типу покриття і

номера державного стандарту.

Наприклад, електрод  $\frac{E-46A-УОНИ-13/45-3,0-ВД-2}{E432(5)-Б1О}$  розшифровують таким

чином:

- E-46A (E – електрод зварювальний, 46 – мінімальна межа міцності металу шва на розтягування, що гарантується, в кгс/мм<sup>2</sup> (460 МПа), А – гарантується отримання підвищених пластичних властивостей металу шва);
- УОНИ-13/45 – марка;
- 3,0 – діаметр сталевого дроту;
- В – електроди призначені для зварювання вуглецевих сталей;
- Д-2 – з товстим покриттям, другої групи;
- E432(5) – характеризує наплавлений метал шва (де 43 – тимчасовий опір розриву не менше 430 МПа, 2 – відносне подовження не менше 22%, (5) – ударна в'язкість не менше 34,5 Дж/см<sup>2</sup> при температурі мінус 40°С);
- Б – основне покриття;
- 1 – для зварювання у всіх просторових положеннях;
- О – на постійному струмі зворотної полярності.

Діаметр електрода вибирають залежно від товщини деталі, яку відновлюють, і розміщення зварювального шва в просторі. При стельовому зварюванні використовують електроди діаметром до 4 мм, при вертикальному – до 5 мм. Під час зварювання деталей товщиною до 4 мм його діаметр приймають таким, як і товщина деталі, яку відновлюють. В інших випадках діаметр електрода доцільно вибирати, використовуючи графік залежності діаметра електрода від товщини металу (рис. 12.5).

Зварювальний струм визначають залежно від типу і діаметра електрода, виходячи з величини допустимої щільності струму, що знаходиться в межах 10-20 А/мм<sup>2</sup>. Збільшення величини струму обмежують нагріванням стержня електрода.

Для електродів діаметром 2, 3, 4 і 5 мм, які часто використовують в ремонтному виробництві транспортних засобів, величину зварювального струму визначають за формулою:

$$I = m \cdot D, \quad (12.4)$$

де  $m$  – коефіцієнт, що залежить від електрода і його діаметра (для електродів з обмазкою з крейдою  $m = 35 \dots 50$ , для якісних електродів  $m = 35 \dots 65$ );

Д – діаметр електрода.

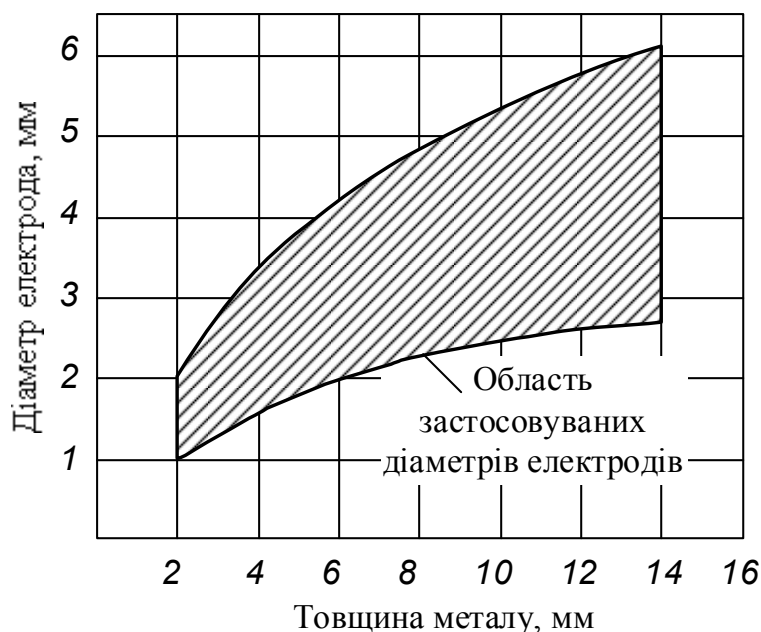


Рис. 12.5 – Графік залежності діаметра електрода від товщини металу

Величина зварювального струму під час зварювання вертикальних і горизонтальних швів має бути зменшена на 10...15%, а стельових – на 15...20% від розрахункових значень.

Під час зварювання багат шарових або багатопрхідних швів перший шар або прохід виконують при зменшених значеннях величини зварювального струму, щоб позбутись пропалювання металу.

## 12.8. Класифікація сталей за зварністю металу

Сталі за зварністю металу класифікують на чотири групи. До основних ознак сталі відносять схильність формувати тріщини й механічні властивості зварювального з'єднання.

До **першої** групи відносять сталі, які мають добру зварність металу, зокрема, Ст.1...Ст.6, сталі 08, 10...15, 20...25 і низьколегувальні – 15Х, 15ХГ, 15ХН2 і таке ін. Їх зварюють за звичайною технологією, тобто без попереднього підігрівання, а також без наступної термообробки, але для зняття внутрішнього напруження термообробку не вилучають. Для зварювання і наплавлення цих сталей використовують електроди Е-34, Е-42 і Е-46.

До **другої** групи відносять сталі, що мають задовільну зварність металу, зокрема, сталі 30 і 35, низьколегувальні з наявністю вуглецю 0,3...0,35% –

20ХНЗА, 20ХГСА і 30Х та високолегувальні 12Х14А, 9Х14А, 30Х13 сталі і таке ін. Під час їх зварювання і наплавлення в нормальних умовах тріщини не виникають, але бажаною є термообробка. Для зварювання і наплавлення цих деталей використовують відповідно Е-45, Е-50 і ЕН-250, ЕН-300 електроди.

До *третьої* групи відносять сталі з обмеженою зварністю металу, зокрема, вуглецеві 40, 45, 50, низьколегувальні з наявністю вуглецю до 0,45% 30ХГС, 40ХМЮ і 45Л, високолегувальні 20Х18Н9, 36Х18Н25С2 і 20Х23Н18 сталі і таке ін. У цих марках сталі при звичайних умовах зварювання і наплавлення виникають тріщини. Тому після зварювання і наплавлення вони підлягають обов'язковій термообробці. Для їх зварювання і наплавлення використовують відповідно Е-50, Е-55 і ЕН-300, ЕН-350 електроди.

Якщо деталі підлягають термообробці до високої твердості близько 350 НВ, то для наплавлення застосовують електроди 12АН-ЛІИВТ, Т-590 і ЕН-400.

До *четвертої* групи відносять сталі з поганою зварністю металу, зокрема, сталі з наявністю вуглецю більше 0,55% – сталі 60...85, низько- і середньолегувальні 50Г, 50ХГСА і 45ХНЗМФА, високолегувальні із цементованими робочими поверхнями 18ХНЗА, 12Х2НЧА і 3Х2В8Ф сталі і таке ін. Ці сталі важко піддаються зварюванню і наплавленню. Вони здатні під час зварювання і наплавлення до виникнення тріщин. З метою попередження виникнення тріщин на межі наплавлення з цементуючим шаром завчасно підігрівають деталь до температури 200...300°C і проводять подальшу термообробку. Для зварювання і наплавлення цих сталей використовують електроди 12АН-ЛІИВТ, Т-590, Т-620 і ЕН-400.

## 12.9. Газове зварювання і наплавлення

Газове зварювання і наплавлення здійснюють нейтральним полум'ям горючого газу. Як горючий газ використовують суміш ацетилену з киснем або пропан-бутан. В окремих випадках застосовують відновлювальне полум'я. Окислювальне полум'я використовують під час різання металу.

Для газового зварювання і наплавлення ацетилен одержують за допомогою ацетиленових генераторів, з технічними характеристиками яких можна ознайомитися в довідковій літературі. Кисень згідно з ДСТ 5583-78 зберігають і транспортують у сталевих балонах місткістю 40 літрів під тиском 15 МПа. Із балона

кисень можна використовувати до величини остаточного тиску, яка до-рівнює 0,05...0,1 МПа.

Матеріал присадкового прутка за своїми хімічними й фізико-механічними властивостями повинен бути майже таким, як і метал деталі, і відрізнятися більшою наявністю легкоокислюючих елементів. Марку присадкового дроту і його діаметр вибирають згідно з ДСТ 2246-70.

Потужність полум'я характеризується масовою витратою ацетилену, що залежить від порядкового номера наконечника горілки. Величину витрати ацетилену (в м<sup>3</sup>/год.) визначають за формулою:

$$A = K \cdot s, \quad (12.5)$$

де  $K$  – коефіцієнт, що характеризує питому витрату ацетилену на 1 мм товщини деталі, м<sup>3</sup>/(год·мм);

$s$  – товщина деталі, мм.

Кількісне значення коефіцієнта  $K$  залежно від матеріалу деталі становить для сталі – 0,1...0,12, чавуну – 0,11...0,14, латуні – 0,12...0,13, алюмінію – 0,06...0,1.

Витрата кисню на 10...20% більша, ніж ацетилену при нормальному полум'ї; на 30...40% – більша при окислювальному і менша, ніж на 10% – при відновлювальному.

На якість зварювання і наплавлення суттєво впливають техніка їх виконання та режим технологічного процесу. Наприклад, під час зварювання полум'я направляють на кінці зварювальних деталей так, щоб вони знаходились у зоні відновлювального полум'я на відстані 2...6 мм від кінця ядра. Кінець присадкового дроту також тримають в зоні відновлювального полум'я або в зварювальній ванні.

Позицію (місцезнаходження) горілки визначає кут нахилу її мундштука до поверхні металу, який зварюють. Позиція горілки залежить від товщини і теплопровідності металу. Кут нахилу мундштука горілки зростає зі збільшенням товщини металу і його теплопровідності. Так, при товщині металу менше 1 мм мундштук повинен бути нахилений під кутом 10°, а при 1...3 – мм під кутом 20°, 3...5 мм – 30°, 5...7 – 40° і т.п.; при товщині більше 15 мм – 80°. Це сприяє більш концентрованому нагріванню металу внаслідок підведення великої кількості теплоти. Кут  $\alpha$  нахилу мундштука горілки залежно від товщини  $s$  металу під час зварювання низьковуглецевої сталі зображений на рис. 12.6. На початку

зварювання для швидшого і якісного прогрівання встановлюють найбільший кут нахилу, а потім під час зварювання його зменшують до оптимальної величини. У кінці зварювання кут нахилу поступово зменшують з метою якісного заповнення кратера і попередження перепалення металу.

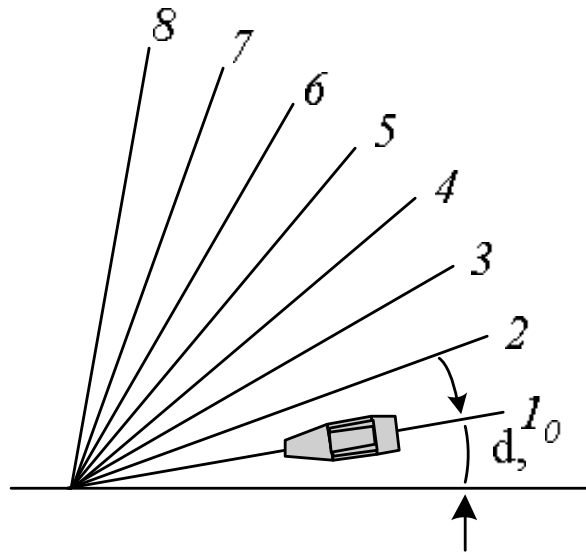


Рис. 12. 6 – Графік залежності кута нахилу мундштука горілки від товщини металу: 1, 2, 3...8 відповідає куту нахилу 10, 20, 30...80°.

У ремонтному виробництві застосовують два способи газового зварювання і наплавлення: правий і лівий. При правому способі (рис. 12.7, а) процес зварювання ведуть зліва направо. Горілку переміщують попереду присадкового прутка, а полум'я направляють на формуючий шов. Цими діями забезпечують надійний захист зварювальної ванни від насичування наплавленого металу азотом і воднем і повільне охолодження зварювального шва. Такий спосіб дозволяє одержувати зварювальні шви високої якості.

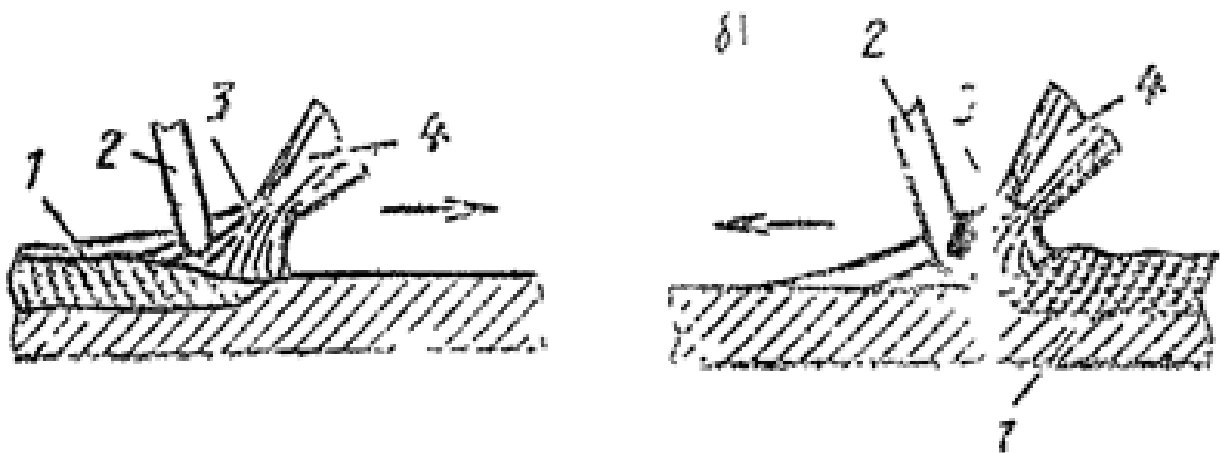


Рис. 12.7 – Основні способи газового зварювання: 1 – формуючий шов; 2 – присадковий пруток; 3 – полум'я горілки; 4 – горілка

При застосуванні лівого способу зварювання (рис. 12.7, б) процес зварювання ведуть справа наліво. Горілку переміщують за присадковим прутком, а полум'я направляють на незварені кінці. Їх підігрівають, підготовляючи до зварювання.

Правий спосіб застосовують під час зварювання металу товщиною більше 5 мм. Полум'я горілки при цьому способі зварювання обмежене з двох сторін краями деталі, а ззаду – наплавленим валиком, що значно зменшує розсіювання теплоти і підвищує її використання. Але під час застосування лівого способу зовнішній вигляд зварювального шва є кращим, бо зварювальник добре бачить зварювальний шов і може одержати його рівномірним за висотою і шириною. Це особливо важливо при зварюванні тонких листів. Тому тонкий метал завжди зварюють лівим способом. Крім того, під час застосування лівого способу полум'я вільно розтікається поверхнею металу, що знижує небезпечність його перепалення.

Вибір способу зварювання також залежить від просторового місцезнаходження зварювального шва. Під час зварювання швів у “нижній позиції” вибір способу зварювання, як відмічалось раніше, залежить від товщини металу. Зварювання вертикальних швів знизу вгору виконують лівим способом (рис. 12.8, а). Зварювання на вертикальних поверхнях горизонтальними швами здійснюють лівим способом, направляючи полум'я горілки на зварювальний шов (рис. 12.8, б). Для попередження витікання розплавленого металу зварювальну ванну формують з невеликим перекосом. Стельові шви легше зварювати правим способом, бо в цьому випадку газовий потік полум'я спрямований на шов і тим самим перешкоджає витіканню металу зі зварювальної ванни.

Під час зварювання мундштук горілки і присадковий пруток мають одночасно два прямування: одне – уздовж осі зварювального шва, а друге – коливальні прямування поперек осі шва. При цьому кінець присадкового прутка рухається в напрямку, протилежному спрямуванню мундштука.

Для отримання зварювального шва з високими механічними властивостями необхідно якісно підготувати зварювальні кінці, правильно вибрати потужність горілки і присадковий матеріал, відрегулювати зварювальне полум'я, обрати позицію горілки і напрямок переміщення її зварювальним швом.

Підготовка кінців полягає в очищенні їх від мастила, окалин та інших забруднень, розробки для зварювання і схоплення короткими швами.



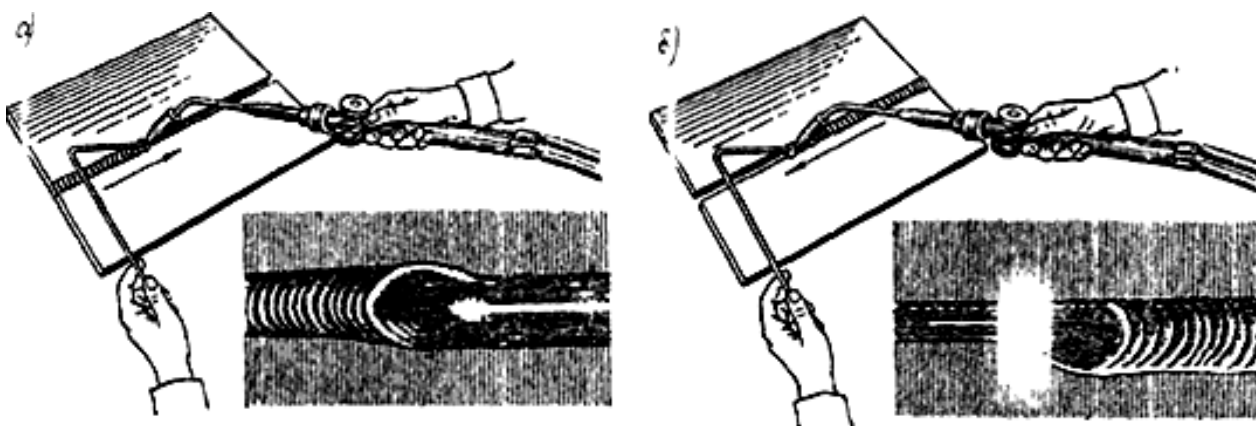


Рис. 12.8 – Схема горизонтального і вертикального способу зварювання

Зварювальні кінці зачищають на ширину 20...30 мм з кожної сторони шва. Для цього використовують полум'я зварювальної горілки. Під час нагрівання окалина відстає від металу, а фарба і мастило – вигорають. Потім поверхню зварювальних деталей зачищають сталевією щіткою до металевого блиску.

Розробка кінців для зварювання залежить від типу зварювального з'єднання, а тип з'єднання – від взаємного розміщення деталей, які зварюють.

Стикові з'єднання за допомогою газового зварювання – найбільш розповсюджений тип з'єднань. Метал товщиною до 2 мм зварюють "у стик" з відбортовкою кінців (рис. 12.9, а) без присадкового матеріалу або "у стик" без розробки кінців і без зазору (рис. 12.9, б), але з присадковим матеріалом. Метал товщиною 2...5 мм зварюють "у стик" без розробки кінців, але із зазором між ними (рис. 12.9, в). Під час зварювання металу товщиною більше 5 мм застосовують розробку кінців (рис. 12.9, г). Кут зрізу вибирають в межах 70...90°; при цих значеннях кута одержують якісне зварювання вершини шва.

Кутові з'єднання (рис. 12.9, д) також застосовують під час зварювання металів малої товщини. Такі з'єднання зварюють без присадкового матеріалу. Шов одержують за рахунок розплавлення кінців деталей, які зварюють.

Напускові (рис. 12.9, е) й таврові (рис. 12.9, ж) з'єднання рекомендують застосовувати під час зварювання металевих деталей товщиною менше 3 мм, бо при більшій товщині нерівномірне місцеве нагрівання створює великі внутрішні напруження і деформацію, а в окремих випадках – навіть тріщини в шві і в основному металі.

Зріз кінців, як правило, роблять за допомогою фрезерного верстата, а в окремих випадках – за допомогою ручного або пневматичного зубила.

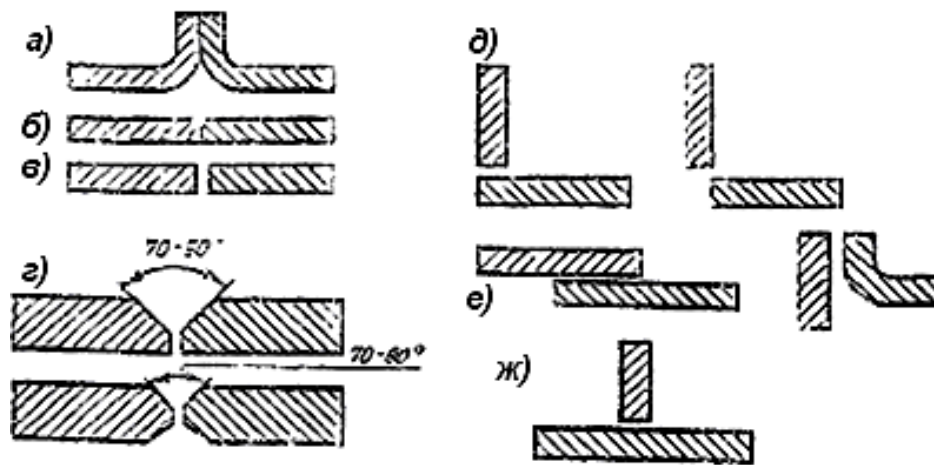


Рис. 12.9 – Види з'єднань під час газового зварювання

Щоб не допустити зміни позиції деталей, які зварюють, і величини зазору між кінцями протягом усього технологічного процесу зварювання, деталь закріплюють у спеціальних пристроях або за допомогою схоплення короткими швами. Довжина схоплень, їх кількість і відстань між ними залежать від товщини металу, довжини і конфігурації зварювального шва. Під час зварювання тонкого металу і при коротких швах довжина схоплення лежить в межах 5...7 мм, а відстань між схопленнями – 70...100 мм. Під час зварювання товстого металу і значній довжині шва схоплення роблять довжиною 20...30 мм, а відстань між ними – 300...500 мм.

До основних параметрів технологічного процесу зварювання і наплавлення відносять марку металу деталі, яку зварюють, та її товщину. На основі цих параметрів визначають необхідну потужність полум'я і його вид, марку і діаметр присадкового дроту, технологію зварювання. Шви накладають одно- і багатошарові. Одношарові шви застосовують, якщо товщина металу становить 6...8 мм, двошарові – при товщині металу до 10 мм, а тришарові і більше – при товщині металу більше 10 мм.

Товщина шару залежить від розмірів шва, товщини металу і лежить в межах 3...7 мм. Перед накладанням наступного шару поверхню попереднього шару очищають металевією щіткою. Зварювання здійснюють короткими ділянками. При цьому стики валиків у шарах не повинні сходитись. Під час багатошарового зварювання зона нагрівання менше, ніж при одношаровому. В технологічному процесі зварювання під час наплавлення наступного шару відбувається відпалювання шарів, що лежать нижче. Це дозволяє одержати зварювальний шов високої якості. Але продуктивність зварювання при цих умовах низька, а

витрата горючого газу велика.

Низьковуглецеві сталі зварюють газовим зварюванням без особливих труднощів. Відповідальні конструкції із низьковуглецевої сталі зварюють, використовуючи низьковуглецевий дріт згідно з ДСТ 2246-70. Найкращі результати одержують, використовуючи дріт марок Св-08ГА, Св-10Г2, Св-08ГС, Св-08Г2С. Зварювальні шви, які одержують з використанням цього дроту, мають високі механічні властивості. Питома потужність полум'я – 100...150 л/(г·мм).

Зварність середньовуглецевої сталі задовільна, але в зварювальному шві і в зоні термічного впливу можуть створюватись гартувальні структури і тріщини. Зварювання виконують з допомогою полум'я, де є незначна нестача кисню, бо навіть при невеликому надлишку в полум'ї кисню відбувається суттєве вигорання вуглецю. Питома потужність полум'я має бути в межах 80...100 л/(г·мм). Рекомендований спосіб зварювання – лівий, оскільки в цьому випадку метал не перегрівается. При товщині металу більше 3 мм треба завчасно виконувати загальне перегрівання деталі до 250...300°C або місцеве нагрівання до 650...700°C. Як присадковий матеріал застосовують зварювальний дріт тих же марок, що і для маловуглецевої сталі, і крім того, ще дріт Св-12ГС.

При зварюванні правим способом потужність полум'я визначають шляхом підвищення на 20...25% питомої потужності. Підвищення потужності полум'я збільшує продуктивність зварювання, але внаслідок цього зростає можливість перепалювання матеріалу.

Діаметр присадкового дроту під час зварювання лівим способом металу товщиною до 15 мм визначають за формулою:

$$d = \frac{S}{2} + 1, \quad (12.6)$$

де  $S$  – товщина металу, який зварюють, мм.

Під час зварювання правим способом діаметр присадкового дроту визначають за умови, що він дорівнює половині товщини металу, який зварюють, тобто:

$$d = \frac{S}{2}. \quad (12.7)$$

Під час зварювання металу товщиною більше 15 мм застосовують дріт діаметром 6...8 мм.

Після зварювання рекомендують виконувати проковування шва металу в

гарячому стані і наступну нормалізацію при температурі 800...900°C. Після цих технологічних операцій метал одержує достатню пластичність і малозернисту структуру.

### **13. Відновлення деталей із сталі механізованим способом зварювання і наплавлення**

Відновлення деталей із сталі механізованим способом зварювання і наплавлення у порівнянні з іншим дає можливість одержати на поверхні деталі шар необхідної товщини і потрібного хімічного складу, високої твердості й зносостійкості.

У загальному обсязі робіт з відновлення деталей в ремонтному виробництві транспортних засобів використовують механізовані способи зварювання і наплавлення у такому відношенні: електродугове наплавлення під флюсом – 32; електродугове зварювання і наплавлення в середовищі захисного газу – 20; автоматичне вібродугове наплавлення – 12; електродугове наплавлення порошковим дротом – 10; електроконтактне наплавлення – 6; електрошлакове наплавлення – 4,5; інші способи – 15,5.

#### **13.1. Автоматичне електродугове наплавлення під флюсом**

Теорія і практика технологічного процесу механізації електродугового наплавлення під флюсом були розроблені відомим українським ученим академіком Є.О. Патоном. Сьогодні успішно працюють над удосконаленням цього методу його учні в Інституті електрозварювання Національної Академії наук України імені Є.О. Патона.

У технологічному процесі електродугового наплавлення під флюсом механізовані два основні прямуювання електрода, зокрема, подача його в міру оплавлення до деталі і переміщення уздовж зварювального шва.

Електродуговим наплавленням під флюсом відновлюють деталі з досить великим зносом – до 5 мм, використовуючи наплавляючий пристрій. Основною його складовою частиною є обертач, що забезпечує закріплення та обертання деталі під час наплавлення і переміщення наплавочного апарата відносно деталі, яку відновлюють. На практиці в якості обертача використовують спеціально переустаткований токарний верстат. В його патроні або в центрах закріплюють

деталь, а на супорті встановлюють наплавочний апарат типу А-580, ОКС-10315, ОКС-1252М, ПАУ-1, АБС, А-384, А-409.

Наплавочний апарат складається з механізму подачі дроту, що забезпечує плавну зміну швидкості подачі електрода, мундштука, який підводить дріт до деталі, і флюсоапарата, що являє собою бункер із засувкою для регулювання кількості флюсу і флюсопроводом. Як видно з рис. 13.1, електродний дріт 4 подають з касети 2 роликками механізму подачі наплавочного апарата 1 в зону горіння електричної дуги. Прямкування електрода уздовж зварювального шва досягають за рахунок одержання деталі 5. Переміщення електрода за довжиною поверхні, що відновлюється, забезпечують за рахунок поздовжнього руху супорта верстата. Наплавлення виконують гвинтовими валиками із взаємним їх перекриттям на одну третину. Флюс в зону горіння дуги надходить з флюсоапарата 3.

Під час автоматичного наплавлення електрична дуга горить не на відкритому повітрі, як це відбувається при ручному зварюванні, а під шаром розплавленого флюсу. Як показано на рис 13.2, між електродом 1, що проходить через мундштук, і основним металом деталі 4 збуджується електрична дуга. У зону горіння дуги по флюсопроводу 7 надходить флюс. Теплова енергія, що виникає під час горіння електричної дуги, оплавляє електрод і розплавляє флюс. Гази, що виділяються під час горіння дуги, утворюють над зварювальною ванною флюсовий пухир, до складу якого входять газова оболонка і розплавлений флюс 2.

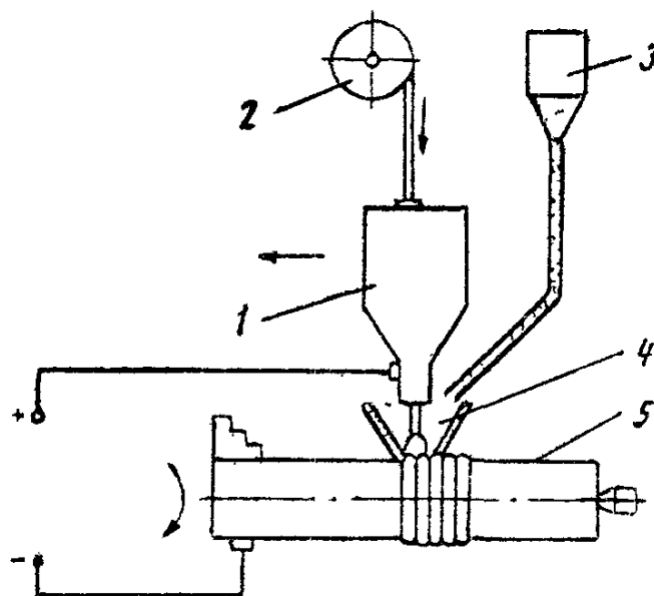


Рис. 13.1 – Принципова схема автоматичного електродугового наплавлення деталі під флюсом

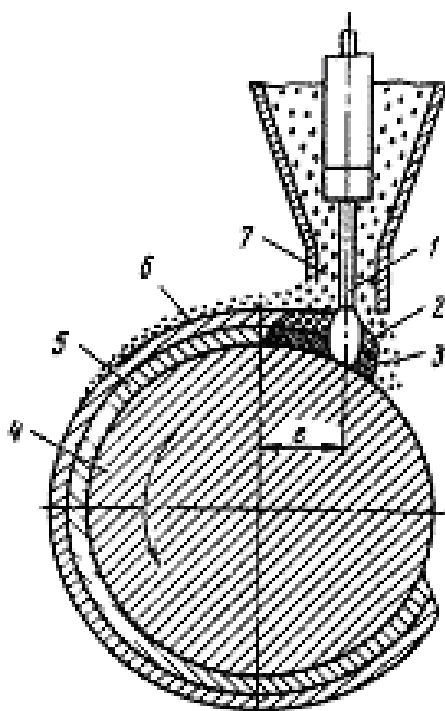


Рис. 13.2 – Схема автоматичного наплавлення деталі під флюсом

У зоні зварювання тиск газів завжди вищий, ніж атмосферний, що перешкоджає доступу повітря до розплавленого металу 3. Під час переміщення зварювальної ванни наплавлений метал 5 застигає і формується під захисною шлаковою кіркою 6.

Наплавлення металу під флюсом забезпечує найбільш високу якість наплавленого металу, бо зварювальна дуга і ванна рідкого металу повністю захищені від шкідливого впливу кисню і азоту, що знаходяться в навколишньому середовищі. Повільне охолодження сприяє найбільш повному видаленню із наплавленого металу газів і шлакових з'єднань. Повільне охолодження наплавленого металу також забезпечує сприятливі умови для найбільш повного протікання дифузних процесів і, отже, легування металу через дріт і флюс. Цілком виключається можливість розбризування металу. Причиною розбризування металу, як відомо, є реакція відновлення окису заліза вуглецем з утворенням вуглекислого газу. Можливість протікання цієї реакції під час електродугового наплавлення металу під флюсом майже повністю виключається, бо окислення металу не відбувається.

При автоматичному електродуговому напавленні під флюсом заданий режим майже не змінюється, тому за кожен проміжок часу розплавлюють визначену кількість електродного металу і флюсу. Це дозволяє одержувати наплавлений метал рівномірним за хімічним складом і властивостями. Якість наплавле-

ного металу і його зносостійкість залежать від вибору режиму наплавлення, марки електродного дроту і флюсу. Вибір режиму наплавлення характеризують такими параметрами: діаметром електрода (електродного дроту), напругою дуги, силою зварювального струму, швидкістю наплавлення, швидкістю подачі дроту, вильотом електрода, кроком наплавлення, зміщенням електрода із zenіту.

Діаметр електродного дроту вибирають залежно від діаметра деталі, яку відновлюють. Для наплавлення деталей транспортних засобів використовують електродний дріт діаметром 1,6...2,5 мм.

Під час наплавлення під флюсом найбільшого розповсюдження одержав постійний струм із зворотною полярністю, бо з його використання можна одержати більш високі показники стабільності і якості технологічного процесу. Напруга електричної дуги тісно зв'язана із силою зварювального струму. Зростання сили струму сприяє підвищенню напруги електричної дуги. Із зростанням напруги дуги збільшується ширина наплавленого валика і зменшується його висота. Для того, щоб одержати добре формування наплавленого валика, напруга дуги повинна знаходитись у межах 25...35 В. Її вибирають, використовуючи формулу:

$$U = 21 + 0,04I_{зв}, \quad (13.1)$$

де  $U$  – напруга дуги, В;

$I_{зв}$  – сила зварювального струму.

Сила зварювального струму впливає на глибину проплавлення, розміри валика наплавленого металу і продуктивність технологічного процесу. Глибину проплавлення визначають, використовуючи формулу:

$$h = k \cdot \sqrt[3]{\frac{I_{зв}^4}{V_{н} \cdot U^2}}, \quad (13.2)$$

де  $h$  – глибина проплавлення, мм;

$k$  – коефіцієнт пропорційності;

$V_{н}$  – швидкість наплавлення, мм/хв.

Із зростанням сили зварювального струму збільшується глибина проплавлення. Підвищення напруги дуги сприяє більшій рухомості електричної дуги, що незначно зменшує глибину проплавлення і робить наплавлений валик більш широким. Збільшення глибини проплавлення призводить до зростання деформації деталі, тому вона є небажаною.

Автоматичне наплавлення під флюсом відзначається високою продуктивністю технологічного процесу. Залежно від величини зварювального струму продуктивність процесу наплавлення під флюсом лежить у межах 1,5...10 кг/год.

Силу зварювального струму вибирають залежно від діаметра електрода за спеціальними таблицями (номограмами) й визначають за допомогою однієї з формул:

$$I_{зв} = 110d_e + 10d; \quad I_{зв} = 40 \cdot \sqrt[3]{d}, \quad (13.3)$$

де  $d_e$  – діаметр електрода, мм;

$d$  – діаметр деталі, мм.

Швидкість переміщення електричної дуги, або швидкість наплавлення обумовлює ширина і глибина наплавленого валика, оптимальне значення якого знаходиться в межах 12...45 м/год. Під час збільшення швидкості наплавлення зменшується ширина наплавленого валика і глибина проплавлення. Її визначають за формулою:

$$v_n = \frac{K_n \cdot I_{зв}}{F \cdot \gamma \cdot 100}, \quad (13.4)$$

де  $v_n$  – швидкість наплавлення, м/год.;

$K_n$  – коефіцієнт наплавлення, г/(А·год.);

$F$  – площа поперечного перерізу наплавленого валика, см<sup>2</sup>; зокрема, при  $d = 1,2...2$  мм  $F = 0,06...2$  см<sup>2</sup>;

$\gamma$  – щільність металу шва, г/см<sup>3</sup>.

Коефіцієнт наплавлення під час автоматичного наплавлення під флюсом за рахунок більш ефективного використання теплової енергії в 1,5 рази більший, ніж при ручному наплавленні і знаходиться в межах 14...15 г/(А·год.).

Коефіцієнт наплавлення характеризує питоме значення швидкості наплавлення. Його визначають за допомогою формули:

$$K_n = 2,3 + 0,065 \cdot \frac{I_{зв}}{d}. \quad (13.5)$$

Швидкість подачі електродного дроту залежить від його діаметра і сили зварювального струму. Для електродного дроту діаметром 1,6...2 мм, коли сила зварювального струму 140...360 А, швидкість подачі електродного дроту знаходиться в межах 75...180 м/год. Оптимальне значення швидкості подачі електродного дроту встановлюють в момент його повного розплавлення і визначають



за формулою:

$$H = (10 \dots 15) \cdot I \cdot d_e, \quad (13.6)$$

де  $H$  – виліт електродного дроту, мм.

Крок наплавлення впливає на хвилястість поверхні наплавленого шару, він знаходиться в межах 3...6 мм і залежить від параметрів наплавленого валика, сили зварювального струму і напруги. Оптимальне значення величини кроку наплавлення знаходять за допомогою формули:

$$S = (2 \dots 2,5) \cdot I \cdot d_e, \quad (13.7)$$

де  $S$  – крок наплавлення.

Зміщення електрода із zenіту в бік, протилежний напрямку обертання деталі (рис. 13.2), залежить від діаметра деталі. Воно, по-перше, покращує умови формування наплавленого шару, бо дозволяє попередити стікання металу і флюсу. По-друге, при зміщенні електрода із zenіту гідростатичний тиск рідинної ванни металу немовби витісняє електричну дугу, що зменшує глибину проплавлення. На практиці для деталей діаметром 50...150 мм воно повинне знаходитись в межах 3...8 мм. Оптимальне значення зміщення електрода із zenіту визначають за допомогою формули:

$$e = (0,05 \dots 0,07) \cdot I \cdot d, \quad (13.8)$$

де  $e$  – зміщення електрода із zenіту.

Фізико-механічні властивості наплавленого металу під час автоматичного електродугового наплавлення під флюсом значною мірою залежать від вибору марки електродного дроту і флюсу.

У ремонтному виробництві транспортних засобів під час автоматичного електродугового наплавлення під флюсом згідно з ДСТ 10543-82 використовують електродний дріт таких марок:

- для наплавлення деталей з маловуглецевих сталей – Св-08, Св-ГС, Св-08А, Св-08Г, Св-08ГА, Св-12ГС,
- для наплавлення деталей із середньовуглецевих і низьколегувальних сталей – пружинистий дріт 2 кл., Нп-30, Нп-50, Нп-65, Нп-50ХНТ;
- для наплавлення деталей із високолегувальних сталей – Св-20Х13, НП-30ХВ.

Призначення і властивості флюсу визначають закладом компонентів, які до

нього входять.

Шлакоутворюючі речовини, зокрема, марганцева руда, польовий шпат, кварц, плавиковий шпат та ін. утворюють шлакову кірку, яка так необхідна для захисту металу від окислення під час його охолодження і покращання формування шва металу.

Розкислюючі й легувальні речовини, зокрема, феромарганець, феротитан, ферохром, алюміній і таке ін. спричиняють розкислення зварювальної ванни і легування її відповідними елементами.

Газоутворюючі речовини (зокрема, крохмаль, декстрин, деревна мука і таке ін. під час нагрівання розкладаються з виділенням значної кількості чадного і вуглекислого газів, що витісняють повітря із зони горіння електричної дуги.

Іонізуючі речовини (зокрема, сода, поташ, двоокис титану) створюють легкоіонізуючі гази, що стабілізують горіння електричної дуги.

Флюси поділяються на плавлені й керамічні флюси і флюсосуміші. До плавлених флюсів відносяться флюси марок АН-20, АН-28, АН-60, АН-348А, ОСУ-45. Плавлені флюси виготовляють шляхом сплавлення у спеціальних печах стабілізуючих і шлакоутворюючих елементів із наступною їх грануляцією. Але до складу цих флюсів не входять легувальні добавки, що не сприяє підвищенню міцності й зносостійкості наплавленого металу.

Плавлені флюси мають невисоку вартість, забезпечують якісний захист металу і його легування марганцем і кремнієм. Покращення фізико-механічних властивостей наплавленого металу досягають методом підбору відповідного електрода. Так, під час наплавлення деталей високовуглецевим дротом Нп-65 під флюсом АН-348А одержують наплавлений метал із твердістю НВ 280...300, а під час наплавлення дротом Нп-30ХГСА під флюсом АН-20 твердість підвищується до НВ 310...320.

Керамічні флюси АНК-18, АНК-19, ЖСН-1, крім стабілізуючих і шлакоутворюючих елементів, містять легувальні добавки – феросплави, які під час наплавлення маловуглецевим дротом забезпечують високу твердість і зносостійкість наплавленого металу. Феросплави мають температуру плавлення в 1,5...2 рази вищу, ніж інші елементи. Тому ці флюси виготовляють не сплавленням, а за спеціальною технологією. Суть її полягає в тому, що складові елементи цих флюсів роздрібнюють, просівають, змішують у відповідних пропорціях з добавкою зв'язуючої речовини, наприклад, рідкого скла. Одержану масу гранулюють, підсушують і прожарюють при температурі 300...400°С.

Керамічні флюси за рахунок того, що до їх складу входять феросплави, допомагають легувати наплавлений метал хромом, титаном, алюмінієм та іншими металами. Вартість цих флюсів значно вища, ніж плавлених флюсів.

До флюсосуміші входять: дешевий плавлений флюс і добавки, стружки з чавуну, графіт і феросплави. Їх готують за такою технологією. Суміш розстелюють шаром 15...20 мм на металевому листі, сушать 15...20 хв. при температурі 100...120°C, а потім просівають через сито №16 і остаточно висушують при температурі 150...200°C протягом 3...4 годин.

Щоб позбутись сепарації добавок, яка призводить до нерівномірного розподілу легувальних елементів у наплавленому металі, використовують флюс-агломерат. Він складається з 75...80% феросплавів і 20...25% рідкого скла.

Змішуючи агломерат з флюсосумішами в заданих пропорціях, одержують легувальний флюс, використання якого дозволяє одержати наплавлений шар однакового хімічного складу, високої твердості та зносостійкості.

Як джерело постачання електричної енергії під час наплавлення під флюсом використовують перетворювач ПСГ-500, випрямлячі ВС-300, ВДУ-504, ВС-600, ВДГ-301 із жорсткою зовнішньою характеристикою.

При наплавленні можливі такі дефекти:

- нерівномірність ширини і висоти наплавленого валика внаслідок зносу робочих поверхонь мундштука або роликів;
- збільшений виліт електродного дроту;
- нашарування металу внаслідок збільшеної сили зварювального струму або недостатнього зміщення електрода із zenіту;
- наявність пор в наплавленому металі внаслідок підвищеної вологості флюсу (його сушать протягом 1...1,5 год. при температурі 250...300°C);
- нестійка електрична дуга як наслідок ненадійного контакту.

Оцінюючи автоматичне електродугове наплавлення під флюсом як спосіб компенсації зносу деталей під час їх відновлення, необхідно відзначити такі його переваги: висока продуктивність технологічного процесу, яка досягається за рахунок використання значної за величиною щільності струму і високого коефіцієнта наплавлення, значна економічність, обумовлена зниженням питомої витрати електроенергії за рахунок зниження теплових втрат під час теплообміну електричної дуги із зовнішнім середовищем, можливість отримання шару наплавленого металу значної товщини, рівномірність наплавленого шару покрит-

тя, а, отже, невеликі припуски на механічну обробку; можливість отримання за рахунок легування наплавленого металу з необхідними фізико-механічними властивостями, незалежність якості наплавленого металу від кваліфікації робітника, покращання умов праці зварювальника за рахунок ліквідації ультрафіолетового випромінювання. До недоліків цього технологічного процесу слід віднести: високе нагрівання деталі під час наплавлення, неможливість наплавлення деталей діаметром менше 40 мм через стікання наплавленого металу і труднощі утримання флюсу на поверхні деталі, важкість вилучення шлакової кірки, необхідність застосування термічної обробки наплавленого металу з метою підвищення його зносостійкості.

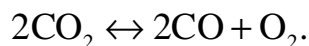
## **13.2. Механізоване електродугове зварювання і наплавлення в середовищі захисних газів**

### **13.2.1. Автоматичне наплавлення і напівавтоматичне зварювання в середовищі вуглекислого газу**

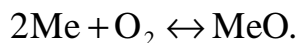
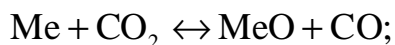
Ефективним способом захисту розплавленого металу під час зварювання і наплавлення від кисню і азоту, що знаходяться в навколишньому середовищі, є використання захисних газів. При ремонті транспортних засобів для відновлення його деталей часто застосовують автоматичне наплавлення і напівавтоматичне зварювання в середовищі вуглекислого газу і аргонодугове зварювання.

Під час зварювання і наплавлення захист металу від окислення здійснюють струменем вуглекислого газу, що надійно ізолює зону зварювання або направлення від навколишнього середовища і забезпечує отримання наплавленого металу високої якості з мінімальною кількістю пор і окислів.

Але під час зварювання або наплавлення частина вуглекислого газу потрапляє до зони горіння електричної дуги і зазнає дисоціації, тобто:

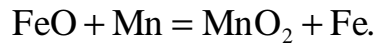
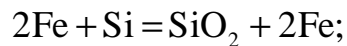


Відбувається реакція окислення розплавленого металу:



Спостерігається інтенсивне вигорання вуглецю, легуючих компонентів, погіршується якість наплавленого металу. Для усунення цього явища рекоменду-

ють застосовувати легувальний електродний дріт з наявністю таких розкислювачів, як марганець і кремній (не менше 1...2%), що сприяє відновленню оксидів:



Оксиди марганцю і кремнію спливають на поверхню зварювальної ванни і утворюють тонку шлакову кірку.

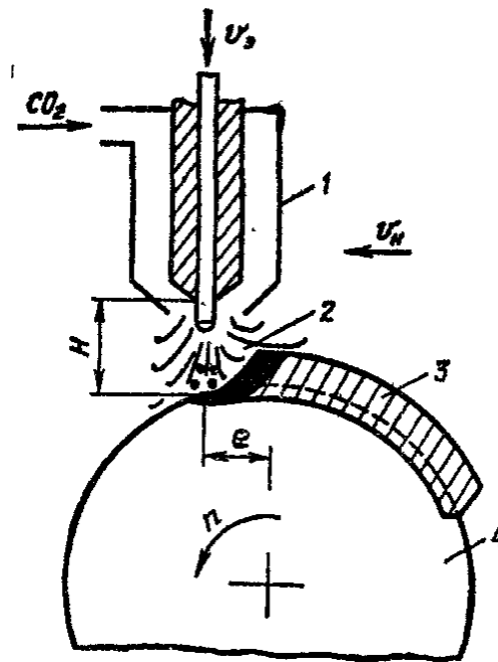


Рис. 13.3 – Схема наплавлення в середовищі вуглекислого газу:

1 – наплавочний пальник; 2 – зона подачі вуглекислого газу; 3 – наплавлений метал; 4 – деталь; H – виліт електрода; e – зміщення електрода із zenіту

Автоматичне наплавлення в середовищі вуглекислого газу застосовують під час відновлення зношених робочих поверхонь деталей, які виготовлені із середньовуглецевих сталей 30, 40, 45X і таке ін. Для цієї мети використовують технологічний процес автоматичного електродугового наплавлення із застосуванням одного з наплавлених апаратів (рис. 13.3) А5808, АБС, А-384, А-409, ОКС-1252М. Їх використовують і при напавленні під флюсом, але на них в цьому випадку встановлюють спеціальний мундштук з пальником для подачі захисного газу. Для наплавлення використовують і аналогічний наплавний пристрій, як і під час автоматичного наплавлення під флюсом, де як обертач використовують спеціально переустаткований токарний верстат (рис. 13.4). В його патроні або в центрах закріплюють деталь 8, а на супорті встановлюють наплавочний апарат 2. Подачу вуглекислого газу в зону наплавлення здійснюють за

схемою: балон з вуглекислим газом 7, який знаходиться під тиском 7,5 МПа, – підігрівач газу 6 – осушувач 5, заповнений силікагелем КСМ фракціями 2,8...7 мм, – редуктор-витратомір марки ДРЗ-1-5-7, або один з ротаметрів марок З РС-3, РС-3А, РКС-65, або кисневий редуктор 4 марки РК-53Б, – горілка 2, що знаходиться в наплавочному апараті.

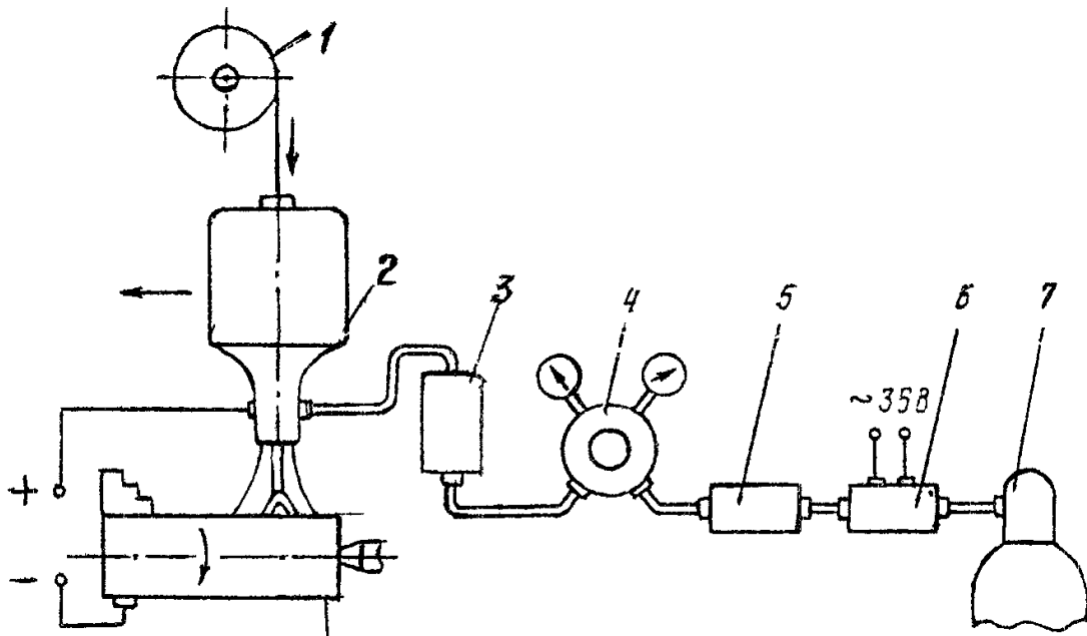


Рис. 13.4 – Принципова схема пристрою для автоматичного електродугового наплавлення в середовищі вуглекислого газу

Щоб підігріти вуглекислий газ, який виходить із балона і переохолоджується внаслідок розширення, його пропускають через електричний підігрівач. Вологу, що може міститись в вуглекислому газі, вилучають за допомогою осушувача. Він являє собою патрон, який наповнюють зневодненим мідним купоросом або силікагелем. Тиск вуглекислого газу знижують до 0,12...0,15 МПа за допомогою кисневого редуктора, а витрати його контролюють ротаметром.

Напівавтоматичне зварювання в середовищі вуглекислого газу використовують під час ремонту кузова та інших деталей складальних одиниць транспортних засобів, які виготовлені з тонкої листової сталі. При цьому застосовують напівавтоматичні зварювальні апарати А-547Р, А-825М, А-537У, ПДГ-302 і т. ін.

Зварювання і наплавлення в середовищі вуглекислого газу виконують на постійному струмі зворотної послідовності. Джерело струму повинне мати жорстку зовнішню характеристику. Ним може бути перетворювач ПСГ-350, а також випрямлячі ВС-200, ВСУ-300, ВС-400 і таке ін.

Фізико-механічні властивості наплавленого металу можна змінити за рахунок відповідного підбирання електрода. Під час зварювання деталей застосову-

ють електродний дріт Св-08ГС, Св-08Г2С, Св-12ГС, а при наплавленні – легувальний дріт Св-18ХГСА, Нп-30ХГС, Нп-65Г. При використанні зварювального дроту (наприклад, Св-08Г2С) одержують твердість наплавленого металу НВ 220...250, а при застосуванні Нп-30ХГСА – НВ 250...290. Щоб одержати більш високу твердість, застосовують цементацію, гартування електричним струмом високої частоти або наплавлення з використанням порошкового дроту.

Режим наплавлення визначають за такими ж параметрами, що й під час наплавлення під флюсом, але існує різниця в їх величині. Так, діаметр електродного дроту рекомендують використовувати не більше 0,8...2 мм.

Силу зварювального струму визначають за допомогою напруги на електричній дузі, швидкості подачі й діаметра електрода. Вона може знаходитися в межі 70...220А при нарузі 18...22 В.

Із підвищенням напруги і зменшенням сили струму втрати вуглецю, марганцю і кремнію в наплавленому металі збільшуються. Зростання сили струму більш суттєво позначається на глибині проплавлення під час наплавлення в середовищі вуглекислого газу, ніж під час наплавлення під флюсом.

Швидкість наплавлення збільшується до 80...100 м/год. у порівнянні з наплавленням під флюсом. Підвищення швидкості наплавлення сприяє зниженню витрат металу на вугар і розбрикування, зменшенню глибини проплавлення і незначному підвищенню міцності наплавленого металу.

Витрата вуглекислого газу знаходиться в прямопропорційній залежності від сили струму і досягає 8...15 л/хв. Від витрати вуглекислого газу залежать коефіцієнт розплавлення, хімічний склад наплавленого металу і наявність в ньому пор. Тому вуглекислий газ, який використовують під час зварювання і наплавлення, повинен містити домішок не більше 0,5%, в тому числі парів води не більше 0,3%. Виліт електрода під час зварювання має бути 2...4 мм, а під час наплавлення – 8...15 мм.

Наплавлення в середовищі вуглекислого газу у порівнянні з автоматичним наплавленням під флюсом має такі достоїнства: менше нагрівання деталей, можливість зварювання і наплавлення деталі в будь-якому положенні її в просторі; більш висока продуктивність технологічного процесу за площею покриття в одиницю часу; можливість наплавлення деталей діаметром менше 40 мм; відсутність трудомісткої операції з вилучення шлакової кірки. До недоліків цього способу наплавлення слід віднести: підвищене розбрикування металу; необхідність використання легувального електродного дроту для одержання наплав-

леного металу з необхідними властивостями, зниження на 10...50% втомлювальної міцності відновлюваних деталей.

### 13.2.2. Аргонодугове зварювання

Під час аргонодугового зварювання електрична дуга горить між вольфрамовим електродом, що не плавиться, і деталлю. У зону зварювання подають захисний газ аргон, який, оточуючи зварювальну дугу, створює зону зосередженого нагрівання деталі. Присадковий матеріал вводять до зварювальної дуги у вигляді дроту так само, як при газовому зварюванні. Аргон надійно захищає розплавлений метал від окислення киснем, що знаходиться в повітрі. Наплавлений метал одержують твердим, без пор, раковин і пустот.

Аргонодугове зварювання здійснюють за допомогою пристроїв УДАР і УДГ. Найбільше застосування одержали пристрої УДГ-301 і УДГ-501, які працюють на змінному струмі. Для закріплення вольфрамового електрода, підведення до нього зварювального струму і подачі в зону горіння дуги аргону застосовують спеціальні горілки ГРАД-200 і ГРАД-400. Вони розраховані на величину струму відповідно не більше 200 А і 400 А.

Як наплавляючий електрод використовують прутки лантанірованого вольфраму діаметром 4...10 мм. Величину струму встановлюють залежно від діаметра електрода в межах 100 А...500 А. Застосування електродів із збільшеним діаметром для даної величини струму забороняється, бо це стане причиною зниження нагрівання електрода, зменшення електронної емісії і нестійкого горіння електричної дуги.

Перевагами аргонодугового зварювання є:

- висока якість зварювального шва (відсутність пор, раковин і пустот);
- висока продуктивність технологічного процесу (в 3...4 рази вища, ніж під час газового зварювання);
- невелика зона термічного впливу; зниження втрат енергії дуги на світлове випромінювання, бо аргон затримує ультрафіолетове проміння.
- До недоліків аргонодугового зварювання слід віднести високу вартість технологічного процесу (майже в 3 рази дорожче, ніж під час газового зварювання) і дефіцитність аргону.

Незважаючи на вказані недоліки, аргонодугове зварювання знайшло широке застосування при зварюванні деталей з алюмінієвих сплавів і титану.



### 13.2.3. Автоматичне вібродугове наплавлення

**Вібродугове наплавлення** – різновид електродугового наплавлення металевим електродом. На рис. 13.5 наведена принципова схема пристрою для вібродугового наплавлення з використанням охолоджувальних речовин для захисту розплавленого металу. Деталь 9, що підлягає відновленню, вставляють у патрон або центри переустаткованого токарного верстата. На супорті монтують наплавочний апарат, що складається з механізму подачі 4 електродного дроту 8 з касетою 5, електромагнітного вібратора 6 з мундштуком 7. Живлення електричним струмом пристрою забезпечують за допомогою джерела струму 3. Послідовно з джерелом струму вмикають додаткову індуктивність (дросель) 1 низької частоти. До зони наплавлення за допомогою насоса 2 з бака подають охолоджувальну рідину.

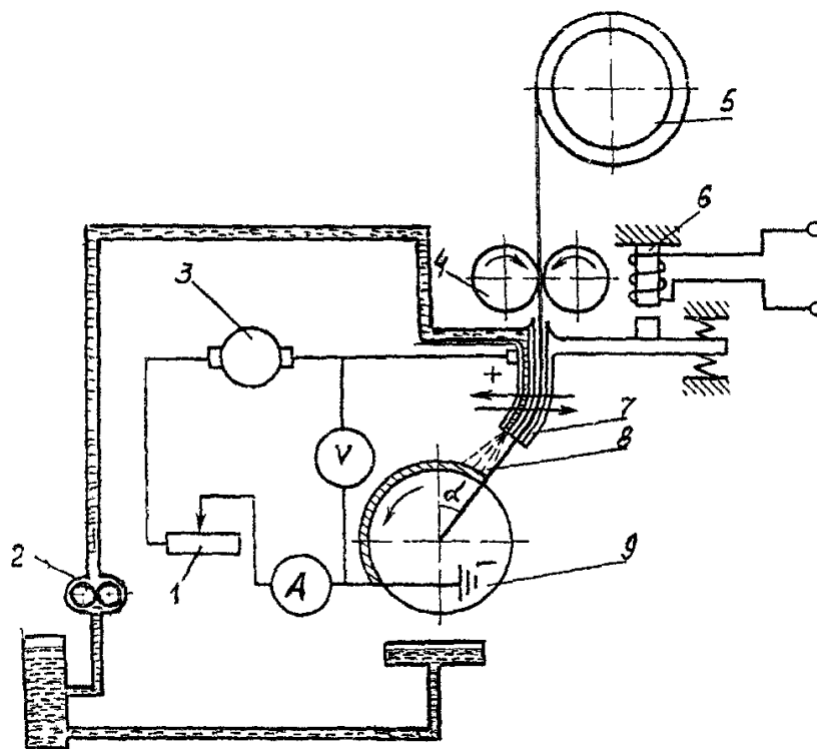


Рис. 13.5 – Принципова схема пристрою для автоматичного вібродугового наплавлення

Наплавочний агрегат застосовують для подачі електрода в зону горіння електричної дуги і надавання йому зворотно-поступального руху (вібрації). На якість наплавлення великий вплив справляє конструкція наплавочного агрегату. В ремонтному виробництві транспортних засобів використовують наплавочні агрегати УАНЖ-5, УАНЖ-6, ВДГ-5 з електромагнітним вібратором і ОКС-6569, ОКС-1252А (ГМВК-2), КУМА-5М з механічним вібратором.

Вібратор коливає мундштук і кінець електрода з частотою 100...120 Гц і амплітудою коливань 2...4 мм.

Як джерело струму з жорсткою зовнішньою характеристикою і напругою 16...20 В використовують низьковольтні генератори типу АНД 500/250, АНД 1000/500, а також випрямлячі ВСГ-3А, ВСА-600/300, ВАСС-15/600 й перетворювачі ПД-305 і ПСГ-500.

Як додаткову індуктивність використовують зварювальний дросель, або дросель власного виготовлення. Він стабілізує величину зварювального струму. Вибір електродного дроту залежить від твердості, яку необхідно отримати в наплавленому металі. Під час відновлення сталевих деталей з твердістю НРС 50...55 необхідно застосовувати дріт Нп-65 і Нп-80. Якщо треба одержати твердість наплавленого металу НРС 35...40, то наплавлення слід виконувати дротом Нп-30ХГСА, а при твердості НВ 180...240 можна застосовувати дріт Св-08.

Для захисту розплавленого металу застосовують вуглекислий газ, флюс, пар та охолоджувальні рідини, зокрема, 4...6%-ий розчин кальцинованої соди, 10...20%-ий розчин технічного гліцерину у воді або їх суміш. Наплавлення в середовищі охолоджувальної рідини набуло широкого розповсюдження при відновленні деталей з високою твердістю. При цьому рідина, випаровуючись, витискує із зони горіння електричної дуги повітря, знижуючи вміст азоту в наплавленому металі. Тоді, наприклад, кальцинована сода, розкладаючись, стабілізує, з одного боку, горіння електричної дуги, а з другого – знижує корозію обладнання і деталей, які відновлюють. Гліцерин зменшує швидкість охолодження наплавленого металу і, отже, тріщиноутворення під час використання високовуглецевого наплавленого дроту.

Фізична сутність технологічного процесу вібродугового наплавлення полягає в тому, що вібрація кінця електрода, яка виникла під час роботи вібратора, сприяє періодичному замиканню і розмиканню електричного дроту, що знаходиться під напругою, і поверхнею деталі. Це зумовлює наплавлення металу при низькому значенні напруги джерела струму відносно невеликої потужності зварювального кола.

При таких умовах безперервний дуговий процес зварювання виконати неможливо. Кожен цикл вібрації кінця електрода включає чотири послідовних процеси: коротке замикання 1, відривання електрода від деталі, електричний розряд 2 і холостий хід 3 (рис. 13.6).

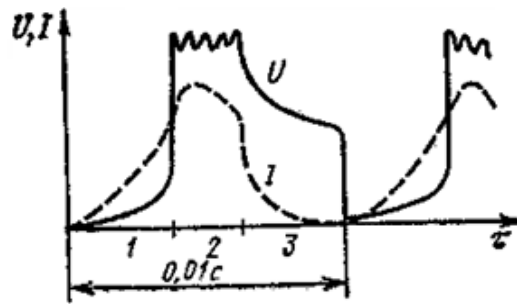


Рис. 13.6 – Осцилограма зміни струму і напруги під час вібродугового наплавлення

У момент короткого замикання, тобто стикання електрода з деталлю опір електродного кола (джерело струму – електрод – деталь) наближається до нуля, що сприяє падінню напруги при одночасному прагненні струму до нескінченності. Реальна потужність джерел струму, яку використовують під час зварювання, обмежує це значення до 1100...1300 А. Така величина струму є недопустимою для електрода малого діаметра, бо він розплавляється і розбризкується під дією електродинамічних сил. Тому для обмеження струму в електричне коло послідовно включають додаткову індуктивність (дросель).

За рахунок вібрації на кінці електрода він відривається від деталі і в розриві виникає електрична дуга (період дугового електричного розряду). Енергія, якою запасся дросель, починає звільнитись. До складу електрорушійної сили самоіндукції надходить і електрорушійна сила джерела струму, внаслідок чого напруга на дуговому розряді виявляється в двічі і більше разів вищою, ніж на затискачах джерела струму. До того ж вона підтримується приблизно постійною, незважаючи на зміну довжини електричної дуги. У цей період виділяється 90...95% теплової енергії і кінчик електрода оплавляється.

Під час достатнього віддалення електрода від деталі і при витраті енергії, якою запасся дросель, електрична дуга гасне. Починається період холостого ходу. Він закінчується тоді, коли електрод знову торкається деталі і крапля розплавленого металу переноситься на її поверхню. Цикл багаторазово повторюється, а на деталі формується валик наплавленого металу.

Вібродугове наплавлення застосовують під час відновлення зношених поверхонь різної номенклатури деталей. Його використовують при відновленні деталей не тільки із сталі, але і з ковкого й сірого чавуну при нарощуванні зношених зовнішніх (а) і внутрішніх (б) циліндричних, конічних (в) поверхонь, а також нарізних поверхонь та шліців (г) (рис. 13.7).

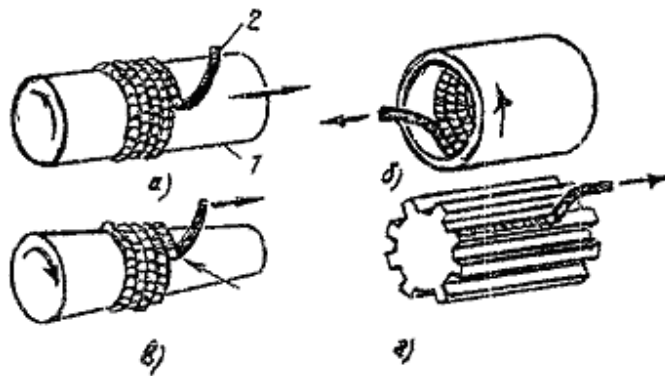


Рис. 13.7 – Схема вібродугового наплавлення зношених поверхонь

Для наплавлення внутрішніх циліндричних поверхонь наплавочний агрегат розміщують на токарному верстаті так, щоб площа мундштука уміщувалась з віссю деталі, яку приводять в обертальний, а наплавочний агрегат – в поступальний рух.

Конічні зовнішні поверхні наплавляють дротом, який підводять з боку. Необхідне поперечне переміщення наплавочного агрегату виконують ручним способом.

Під час наплавлення плоских поверхонь деталі встановлюють у горизонтальне положення і закріплюють нерухомо, а наплавочний апарат переміщують паралельно деталі.

Підготовка поверхонь до наплавлення полягає в очищенні їх від бруду та іржі. Всі отвори й пази, які необхідно зберегти, заповнюють мідними або графітовими вставками так, щоб вони виступали над поверхнею на величину, що перевищує товщину наплавленого шару.

Оцінюючи автоматичне вібродугове наплавлення як спосіб відновлення зношених робочих поверхонь деталей, можна відзначити наступні її переваги: незначне нагрівання деталей, що не впливає на їх термічну обробку, невелика зона термічного впливу, достатньо висока продуктивність відновлюваного процесу; за площею покриття складає  $8...10 \text{ см}^2/\text{хв}$ . До недоліків відносять зниження втомної міцності деталей після наплавлення на  $30...40\%$ .

### 13.3. Фактори, що впливають на властивості наплавленого металу

Властивості наплавленого металу залежать від режиму наплавлення, хімічного складу електродного дроту, кількості охолоджувальної рідини й способу її підведення, швидкості охолодження наплавленого металу.

Режим вібродугового наплавлення визначають за допомогою електричних та механічних параметрів; оптимальне значення характеризує властивість і якість наплавленого металу.

До електричних параметрів режиму відносять: полярність струму, напругу і силу зварювального струму, індуктивність зварювального кола. Вібродугове наплавлення виконують на постійному струмі зворотної полярності при напрузі холостого ходу 12...24 В. Оптимальним значенням напруги джерела струму є 18...20 В.

Сила зварювального струму залежить від діаметра електродного дроту і швидкості його подачі. При діаметрі дроту 1,6...2 мм і зміні швидкості подачі дроту в межах 1,0...3,5 м/хв. сила струму змінюється від 100 до 200 А, її визначають за формулою:

$$I = j \cdot F_d, \quad (13.9)$$

де  $I$  – сила струму, А;

$j$  – щільність струму, А/мм<sup>2</sup>, яка при  $d_e < 2$  мм знаходиться в межах 60...75 А/мм<sup>2</sup>, а при  $d_e > 2$  мм – 50...75 А/мм<sup>2</sup>;

$F_d$  – поперечний переріз електродного дроту, мм<sup>2</sup>.

Індуктивність дроселя залежить від джерела живлення, довжини з'єднувальних кабелів. Її визначають експериментально за величиною мінімального розбризкування металу та якістю його сплавлення з основою. Більш ретельно її знаходять при включенні 6...8 витків дроселя РСТЕ-34.

До механічних параметрів режиму вібродугового наплавлення відносять швидкість наплавлення, швидкість подачі дроту, крок наплавлення, амплітуду вібрації електрода, виліт електрода.

Важливим механічним параметром режиму є швидкість наплавлення, від якої залежать продуктивність процесу і товщина шару наплавленого металу. Її визначають за експериментальною залежністю

$$V_n = -(0,4...0,7) \cdot V_e \quad (13.10)$$

або за допомогою формули:

$$V_n = \frac{0,785 \cdot d_e \cdot V_e \cdot \eta}{h \cdot S \cdot a}, \quad (13.11)$$

де  $V_n$  – швидкість наплавлення, м/хв.;

$V_e$  – швидкість подачі електродного дроту, м/хв.;

$d_e$  – діаметр електродного дроту, мм;

$\eta$  – коефіцієнт переходу електродного матеріалу в наплавлений метал, що знаходиться в межах 0,8...0,9;

$h$  – товщина наплавленого металу, мм;

$S$  – крок наплавлення, мм/об;

$a$  – коефіцієнт, що враховує відхилення фактичної площі перерізу наплавленого валика, знаходиться в межах 0,7...0,85.

Швидкість подачі електродного дроту знаходиться в межах 0,5...0,35 м/хв.

Її визначають за формулою:

$$V_e = \frac{0,1j \cdot U}{d_e^2}. \quad (13.12)$$

Крок наплавлення впливає на міцність зчеплення наплавленого металу з основним металом, знаходиться в межах 2,5...3,5 мм при діаметрі дроту 1,6...2 мм, його визначають за формулою:

$$S = (1,6 \dots 2,2) \cdot d_e.$$

Амплітуду вібрації електрода визначають за формулою:

$$A = (1,2 \dots 1,3) \cdot d_e.$$

Виліт електрода знаходять за формулою:

$$H = (5 \dots 8) \cdot d_e.$$

Товщину наплавленого шару металу при вказаних оптимальних параметрах режиму можна одержати в межах 0,8...3,5 мм.

Параметри режиму уточнюють під час пробної і підготовчої роботи. Якість наплавленого металу покращують шляхом застосування комбінованого захисту металу від впливу оточуючого середовища, наприклад, з використанням вуглекислого газу, флюсу.

Підвищення втомлюваної міцності відновлених деталей досягають, використовуючи термомеханічні або ультразвукові методи зміцнювальної технології.

Властивості наплавленого металу, зокрема, його структура і твердість залежать від хімічного складу електродного дроту, кількості охолоджувальної рідини та способу її підведення під час наплавлення. Так, при наплавленні з використанням електродного дроту марки Нп-80, де відсотковий склад вуглецю дорівнює 0,75...0,85, валик в охолоджувальній рідині загартовується до високої твердості і частково відпускається, утворюючи неоднорідну структуру від мар-

тенситу загартування до тростосорбіту відпускання з твердістю 26...55 HRCe. При наплавленні низьковуглецевим дротом Св-0,8 отримують твердість поверхні наплавленого шару 14...19 HRCe. Основним показником міцності відновленої деталі є опір втомленості, який залежить від трьох параметрів, зокрема, кількості охолоджувальної рідини, яку подають в зону наплавлення, кроку й швидкості наплавлення.

При одному і тому ж матеріалі дроту одержують різні властивості наплавленого металу залежно від кількості охолоджувальної рідини і способу її підведення. Так, під час подачі рідини безпосередньо в зону наплавлення підвищуються твердість наплавленого металу і його зносостійкість, але знижується втомлювана міцність на 30...40%. Зниження втомлюваної міцності буде менш значним, якщо охолодження наплавленого металу виконувати на деякому віддаленні від зони наплавлення, але при цьому знижуються твердість і зносостійкість металу. Витрату рідини беруть не більше 0,5 л/хв.

Отже, застосування охолоджувальної рідини в поєднанні з різними електродними матеріалами і способами її підведення виключає з технологічного процесу відновлення наступну термічну обробку через отримання твердості наплавленого металу 58...60 HRC. Товщину наплавленого металу можна регулювати від 0,5 до 3 мм. При необхідності здійснюють багатошарове напилення.

#### **13.4. Наплавлення порошковим дротом**

Для підвищення якості наплавлення металу і спрощення технологічного обладнання, яке використовують під час наплавлення, в ремонтному виробництві транспортних засобів застосовують наплавлення деталей порошковим дротом під флюсом, в середовищі вуглекислого газу і відкритою електричною дугою.

При наплавленні деталей порошковим дротом використовують переустатковані токарні верстати з такими наплавочними апаратами: А-580М, ОКС-1252М, А-765, А-1197, а також спеціальні верстати УД-139, УД-140, УД-143, УД-144, УД-209, У- 651, У- 653, ОКС-11200, ОКС-14408.

Наплавлення порошковим дротом виконують за допомогою постійного струму зворотної полярності. Джерелами живлення електричної дуги можуть бути перетворювач ПСТ – 500, випрямлячі ВДУ-504, ВДУ-301, ВДУ-1001, ВС-600, ВДМ-1001. Усі джерела мають жорстку зовнішню характеристику.

Широкий асортимент дроту, який випускає промисловість, дозволяє одержати метал з необхідними властивостями. Дріт розрізняють за конструкцією, призначенням, системою захисту і складом шихти.

**Конструктивно порошковий дріт** – це металева трубка, всередині якої знаходиться порошок-шихта. Склад шихти визначає її властивості й призначення. До її складу входять газоутворюючі, шлакотвірні, легувальні, розкислювальні, іонізуючі та інші компоненти. За призначенням і матеріалом вони відповідають складовим частинам, що входять до раніше розглянутих флюсів, які використовують під час наплавлення.

Трубку виготовляють з маловуглецевої сталі шляхом її вальцювання. Найбільше розповсюдження одержав дріт із суцільного (рис. 13.8, а) та простого трубчатого перерізу. Але під час горіння дуги шихта розплавляється пізніше ніж оболонка, що погіршує захист та властивості наплавленого металу.

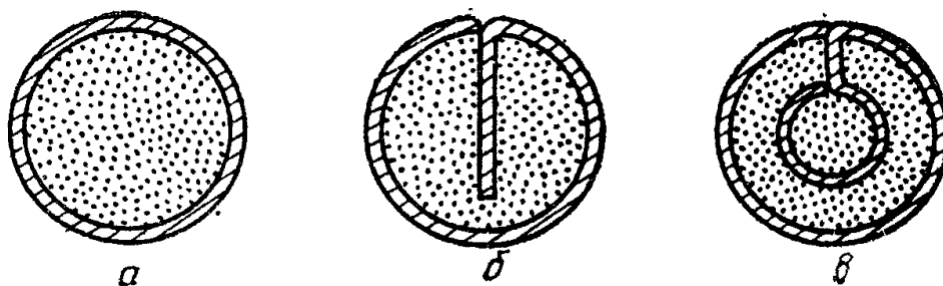


Рис. 13.8 – Номенклатура зварювального порошкового дроту

З метою підвищення електропровідності шихти до її складу додають 30% залізного порошку або розділяють осердя дроту на частини за допомогою металевих перегородок, які мають електричний зв'язок з його оболонкою (рис. 13.8, б, в).

За призначенням дріт є придатним для зварювання вуглецевих і низьколегувальних сталей, легувальних і високолегувальних сталей, чавуну, кольорових металів і сплавів, наплавлення поверхневих шарів з особливими властивостями.

За складом шихти розрізняють: дріт із зовнішнім захисником (ПП-АН1, ПП-АН4, ПП-АН8, ПП-АН106, ПП-АН125) і дріт для наплавлення відкритою електричною дугою без допоміжного захисту (ПП-ЗХВЗФ-0, ПП-У15Х12М-0, ПП-У25Х17Т-0, ПП-1Х14Т-0).

Під час наплавлення використовують порошковий дріт діаметром 2,0...3,2 мм. Як допоміжний захисник застосовують вуглекислий газ або флюс марок АН-8, АН-20, АН-348А, ОСЦ-45.



Для більшості марок порошкового дроту коефіцієнт наплавлення знаходиться в межах 13...15 г/(А·год.), тобто значення цього коефіцієнта вище, ніж під час наплавлення звичайними електродами. Діаметр порошкового дроту залежить від товщини наплавленого металу з припуском на механічну обробку 0,8...1,5 мм на сторону. Силу струму визначають залежно від швидкості наплавлення і діаметра дроту. Продуктивність наплавлення знаходиться в межах 10...11 кг/год. при щільності струму 150...170 А/мм<sup>2</sup>, що є високим показником. Використання порошкового дроту дозволяє значно знизити витрату зварювального дроту. Так, для одержання 1 кг наплавленого металу витрачають 1,6 кг електродів, а при напавленні порошковим дротом відкритою дугою і під флюсом – 1,15...1,25 кг. Недоліком цього способу є дефіцит порошкового дроту.

### 13.5. Електроконтактне наплавлення

Фізична суть технологічного процесу відновлення деталей електроконтактним напавленням полягає в нагріванні до пластичного стану сталеві стрічки значними за величиною імпульсами електричного струму з наступним її деформуванням і приварюванням до поверхні деталі.

Як показано на рис. 13.9, стрічка 2, яку приварюють до деталі 3, притискується до неї роликком 1. Між деталлю і роликком пропускають електричний струм великої щільності від понижуючого трансформатора 5. Амплітуду і тривалість імпульсів струму регулюють за допомогою регулятора 6.

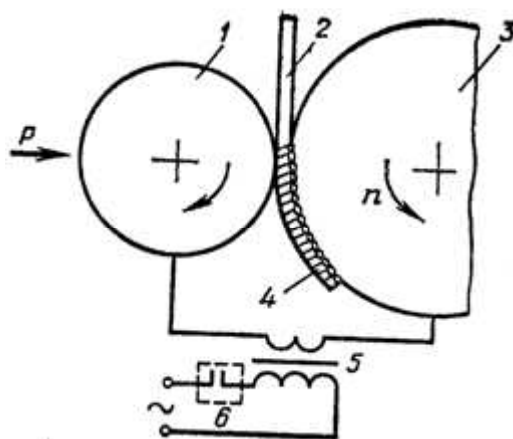


Рис. 13.9 – Схема електроконтактного наплавлення

Для зменшення нагрівання деталі і покращання властивостей привареної стрічки в зону зварювання подають охолоджену рідину.

Велика швидкість, з якою відбувається технологічний процес електрокон-

тактного наплавлення, дозволяє обходитись без використання захисних газів і флюсів.

Пристрій для електроконтактного наплавлення складається з обертача, наплавочного апарата і системи живлення електричним струмом.

У ремонтному виробництві залежно від відновлюваної поверхні використовують такі марки пристроїв, що виготовляються промисловістю: ОП-1-02М (шийки валів), ОП-1-10 (стакани підшипників), ОП-1-08 (шатуни), 01.11-022 (великогабаритні деталі).

Як матеріал, що наварюють, використовують металеві стрічки, дріт і порошок. Під час застосування порошку при наплавленні відбувається запікання його на поверхні деталі, яку відновлюють. Схема електроконтактного запікання порошку на поверхні деталі зображена на рис. 13.10.

Від марки сталі, з якої виготовляють стрічки і дріт, залежить твердість наплавленої шару. Так, при використанні марок сталі 20 і 45 одержують твердість наплавленого шару HRC 30...35 і 45...50.

Високу зносостійкість наплавленого металу отримують за рахунок порошоків різноманітного складу.

Після запікання наплавлений метал складається з в'язкої залізохромонікелевої матриці, яка армована частинками карбідів, борідів, нітридів хрому, титану, вольфраму та інших металів, які мають високу твердість.

Режим наплавлення характеризують такими показниками: сила зварювального струму, кА; тривалість імпульсів і пауз, с; зусилля стиснення електродів, кН; швидкість приварювання, м/год.; подача електрода, мм/об; ширина робочої частини електродів, мм; витрата охолоджуючої рідини, л/год.; твердість наплавленого шару HRC. Режим наплавлення (запікання) залежить від питомого опору, питомої маси, температури теплопровідності, температури плавлення присадкового матеріалу.

Кількість теплоти, необхідної для сплавлення металеві стрічки або запікання порошку до деталі, визначають за законом Джоуля-Ленца:

$$Q = I^2 \cdot R \cdot t, \quad (13.13)$$

де  $Q$  – кількість теплоти, Дж;

$I$  – сила зварювального струму, А;

$R$  – опір електричного кола, Ом;

$t$  – тривалість циклу, с.

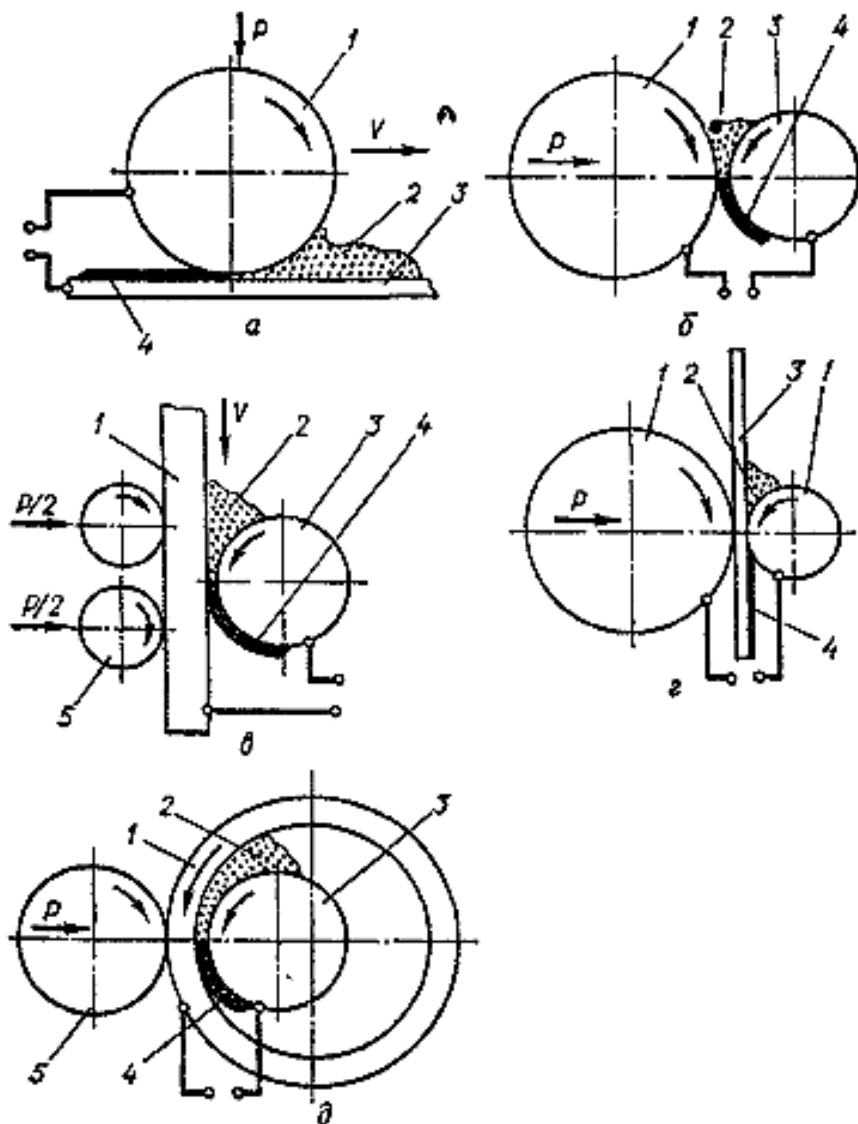


Рис. 13.10 – Схема електроконтактного запікання порошку на поверхні деталі:  
 а) на площині; б) і в) на зовнішній поверхні; г) на стрічці; д) на внутрішній  
 поверхні; 1 – контактний ролик (електрод); 2 – металевий порошок; 3 – деталь;  
 4 – наплавлена куля; 5 – натискний ролик;  $P$  – зусилля;  $V$  – швидкість подачі

Мала кількість теплоти спричиняє неповне спікання присадкового матеріалу, а надмірна – зумовлює виполіскування металу і погіршення якості наплавленого шару.

Підготовка деталі до наплавлення полягає в усуненні такого дефекту, як зміна геометричної форми і розміру робочої поверхні за допомогою шліфування. Після закінчення шліфування деталей знежирюють.

При електроконтактному наплавленні зварювальні точки треба перекривати на 25...35% за рахунок таких його параметрів: частота обертання деталі, подача присадкового матеріалу, крок приварювання і частота імпульсів.

Після наплавлення виконують розмірну обробку робочих поверхонь деталі

шляхом розточування і шліфування. Припуск на механічну обробку складає 0,1...0,2 мм.

Перевагою цього способу наплавлення є висока продуктивність (до 100 см<sup>2</sup>/хв), мінімальна витрата присадкового матеріалу (до 5%), мінімальний припуск на механічну обробку, можливість регулювання товщини наплавленого шару в межах 0,3...1,5 мм як зовнішніх, так і внутрішніх робочих поверхонь деталей, що виготовлені з різноманітних марок сталі, чавуну й кольорових металів і сплавів, можливість отримання наплавленого шару металу із заданими трибологічними властивостями, що в декілька раз підвищують зносостійкість та корозійну стійкість деталі. Міцного зв'язку між присадковим матеріалом і основним металом досягають за рахунок дифузійних явищ та часткового наплавлення дуже тонкого шару основного металу в зоні контакту. Тому електроконтактне наплавлення використовують для відновлення і зміцнення шийок валів, отворів у корпусних та інших деталях. До недоліків способу відносять низьку стійкість роликів електродів і зв'язану з цим нестабільність процесу, високу трудомісткість при підготовці деталі до наплавлення.

### **13.6. Електрошлакове наплавлення**

Електрошлакове наплавлення використовують для відновлення і виготовлення біметалічних деталей із зносостійким шаром значної товщини (до 10 мм). Фізична суть цього технологічного процесу полягає в тому, що присадковий матеріал, який надходить в зону плавлення, розплавляють не теплом, яке виділяється при горінні електричної дуги, а за рахунок електричної енергії, що безпосередньо переходить в теплову під час проходження електрода через ванну розплавленого електродного флюсу. Цей процес забезпечує значне зменшення теплових втрат, що дозволяє майже вдвічі знизити витрати електроенергії. На рис. 13.11 зображена схема електрошлакового наплавлення, з якої видно, що відновлювану деталь 7 встановлюють на обертач. До деталі підводять водоохолоджуючий мідний кристалізатор (повзун) 3, що формує шар наплавленого металу. Між кристалізатором і деталлю встановлюють ванну 4, куди досипають флюс 2 і подають електричний струм на електрод 1. Між електродом і технологічною планкою збуджується електрична дуга. Вона розплавляє флюс і утворює електропровідну шлакову ванну, що згодом шунтує і гасить електричну дугу. Струм проходить через розплавлений шлак і починається електрошлаковий

процес. Температура ванни значно вища ( $1700^{\circ}\text{C}$ ), ніж температура плавлення електрода. Внаслідок цього метал електрода розплавляється і під дією сили ваги осідає униз, утворюючи ванну 5 розплавленого металу. Внаслідок його охолодження за допомогою кристалізатора 3 створюють наплавлений шар металу 6.

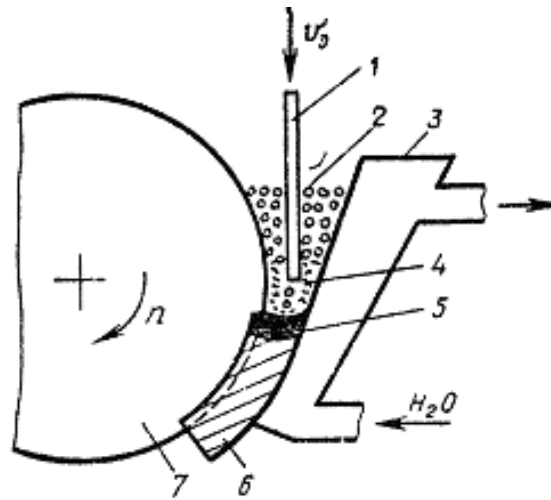


Рис. 13.11 – Схема електрошлакового наплавлення

Установка для електрошлакового наплавлення складається з пристрою, що формує наплавлений метал і автоматично регулює рівень ванни рідкого металу, механізмів подачі електродного матеріалу і переміщення деталі.

Як джерело живлення використовують спеціальні трансформатори, що дозволяють одержати зварювальний струм до 1000 А при напрузі 30...45 В.

Флюси, крім значних захисних властивостей, мають високу температуру кипіння і електропровідність в рідкому стані й мінімальне газоутворення. Промисловість для цього випускає спеціальні флюси АН-8, АН-22, АН-348А.

Як електродний матеріал застосовують зварювальний дріт і стрічки. Фізико-механічні властивості наплавленого металу задають хімічним складом електродного матеріалу. Крім того, можна використовувати додаткове легування металу шляхом введення різноманітних металевих порошків до зварювальної ванни.

Режими наплавлення вибирають з умов стійкості процесу, розмірів, форми і якості металу.

Діаметр і кількість електродів визначають, виходячи з товщини і ширини наплавленого шва металу. Діаметр майже завжди приймають як такий, що дорівнює 3 мм, товщину металу – 20...30 мм, ширину шва – 60 мм. Для розширення діапазону вказаних значень застосовують переміщення електрода ванною зі швидкістю 30...40 м/год. і багатеелектродний процес.

Силу зварювального струму і напругу встановлюють за кількістю теплоти, необхідної для розплавлення відповідного обсягу металу з урахуванням втрат. Її визначають за формулою:

$$I = A + B \cdot s, \quad (13.14)$$

де  $I$  – сила зварювального струму, А;

$s$  – товщина наплавленого металу, мм;

$A$  і  $B$  – емпіричні коефіцієнти, що знаходяться в межах  $A = 220 \dots 280$ ,

$B = 3,2 \dots 4,0$ .

Швидкість подачі електрода встановлюють за формулою:

$$V_e = \frac{I}{C}, \quad (13.15)$$

де  $C$  – емпіричний коефіцієнт, що знаходиться в межах  $C = 1,6 \dots 2,7$ .

Глибина шлакової ванни суттєво впливає на технологічний процес наплавлення. Недостатнє її значення порушує стійкість процесу, призводить до кипіння і розбризкування шлаку, а надто велике – зменшує наплавлення основного металу деталі. Оптимальною вважають глибину, що дорівнює 40...60 мм. Сухий виліт електрода знаходиться в межах 100...150 мм.

Технологічний процес відновлення відповідальних деталей електрошлаковим наплавленням вперше був розроблений у Запорізькому державному машинобудівельному інституті. Його розпочинають з підготовки деталей до відновлення, зокрема, очищення від мастильних матеріалів та знежирювання. Відновлення виконують за допомогою установки, наприклад, ОКС-7755. Закінчується технологічний процес термічною обробкою.

Перевагою цього способу наплавлення є висока продуктивність у порівнянні з іншими способами наплавлення, велика якість наплавлення, що не потребує навіть механічної обробки, отримання шару наплавленого металу необхідного хімічного складу, відновлення деталей із значними за величиною зносами, витрата флюсу не перевищує 5% від маси наплавленого металу, що в 15...30 разів нижче, ніж під час наплавлення під флюсом, зменшення втрат електроенергії за рахунок зменшення теплових втрат. Тому електрошлакове наплавлення використовують для відновлення плоских робочих поверхонь деталей, а також робочих поверхонь тіл обертання.

До недоліків способу відносять: труднощі з автоматизацією технологічного процесу й високу трудомісткість.

### 13.7. Електродугове наплавлення з газополум'яним захистом

В умовах ремонтного виробництва транспортних засобів під час відновлення деталей широкої номенклатури використовують великі технологічні можливості електродугового наплавлення із газополум'яним захистом. За допомогою цього способу на деталі наплавляють міцні шари металу, використовуючи доступний і відносно дешевий вуглецевий дріт. Метал, який наплавляють високowęглецевим дротом на сталеві деталі, добре гартується. Можна також наплавляти сталевий низьковуглецевий дріт на чавунні деталі. Наплавлений шар в цьому випадку легко піддається обробці.

Фізична суть способу полягає в тому, що захисні гази в зварювальну зону подають (як показано на рис. 13.12) двома концентричними потоками: в зовнішньому потоці II подають природний газ, а у внутрішньому потоці I – кисень. При цьому, природний газ та продукти його згоряння захищають зварювальну зону від проникнення азоту з повітря. Але вуглекислий газ створює під час зварювання велику пористість. Згубний вплив газу на щільність наплавленого металу стримують киснем, який подають в зону електричної дуги за допомогою сопла 2. Виходячи з горілки, газ згорає, утворюючи над електричною дугою факел газокисневого полум'я.

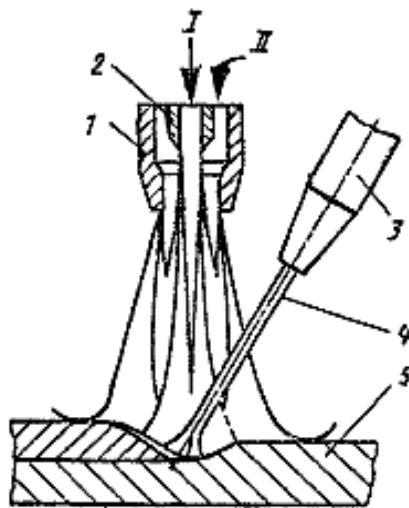


Рис. 13.12 – Схема електродугового наплавлення з газополум'яним захистом

Для електродугового наплавлення з газополум'яним захистом використовують наплавні установки УД-209, У-653 або спеціальні наплавні апарати; в якості обертача застосовують переустаткований токарний верстат. Для утворення газополум'яного захисту установку оснащують двосопловим пальником, системою живлення пальника газами і системою охолодження пальника і деталі 5,

яку наплавляють. Двосопловий газовий пальник прикріплюють до мундштука 3 таким чином, щоб його вісь збігалась з кінцем електрода 4 на відстані від нако- нечника, що дорівнює вильоту електрода.

Для захисту від перегрівання під час наплавлення газовий пальник і голов- ку мундштука забезпечують оболонками (сорочками) водяного охолодження, які включають послідовно в систему живлення водою.

Для живлення електричної дуги застосовують джерела з пологопадаючою або жорсткою характеристикою: ВС-600, ВДУ-505, ВДУ-50, ВДУ-601, ПСГ-500 та ін. Завжди позитивний потенціал джерела живлення підключають до горілки.

На сталеві й чавунні деталі міцні шари металу наплавляють за допомогою сталевого зварювального дроту Св-08, Св-08ГА, Св-08Г2С і наплавочного дроту Нп-30ХГСА, або вуглецевого і низьковуглецевого дроту, наприклад, із сталі 08КП, 10, 20, 45, 65Г, 80 і таке ін. Наявність розкислювачів у складі дроту не є обов'язковою. Доцільно більшість сталевих деталей наплавляти пружинним дротом II класу (ДСТ 9378 – 75). Можна використовувати й інший дріт, що містить до 0,7% вуглецю, а легувальний дріт – ще й до 1 % марганцю.

Примусове охолодження деталі дозволяє зберегти задовільне формування шару під час наплавлення з використанням сили струму більшої величини, ніж під час наплавлення в середовищі вуглекислого газу. Завдяки цьому (в порів- нянні з наплавленням в середовищі вуглекислого газу) можна наплавляти деталі меншого діаметра без їх перегрівання, застосовувати дріт більших діаметрів і продуктивніше вести технологічний процес. Поєднувати технологічний процес наплавлення з інтенсивним охолодженням наплавленого металу струменем охо- лоджуючої рідини (4%-вим розчином кальцинованої соди або водою), під час наплавлення пружинним дротом II класу можна одержати наплавлені шари з твердістю 56-64 HRC.

### **13.8. Лазерне зварювання і наплавлення**

Лазерна технологія знаходить застосування в ремонтному виробництві для виконання багатьох технологічних процесів, у тому числі – для зварювання та наплавлення. Під час відновлення зношених деталей лазерний промінь викори- стовують як джерело тепла для наплавлення металевого порошку на робочі по- верхні деталі.

Для лазерного зварювання і наплавлення застосовують два типи установок:



з рубіновим квантовим генератором випромінювання і з газовим генератором. У газовому генераторі як робоче тіло використовують суміш вуглекислого газу, азоту і гелію.

Установка для лазерного зварювання (крім квантового генератора із джерелом) живлення містить замкнуту систему охолодження, оптичну систему фокусування лазерного променя і систему подачі інертного газу для захисту зварювальних деталей від окислення. Установка для лазерного наплавлення деталей містить у собі (крім перерахованих складових частин) ще систему подачі в зону наплавлення металевго порошку і механізми обертання деталі та переміщення лазерного наплавного апарата.

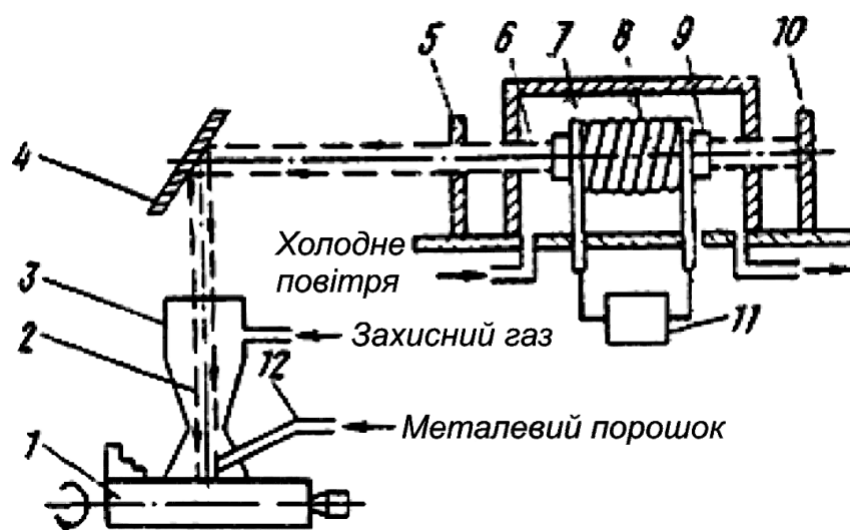


Рис. 13.13 – Схема установки для лазерного зварювання і наплавлення з рубіновим генератором

На рис. 13.13 зображена схема установки для лазерного зварювання і наплавлення з рубіновим генератором, де рубіновий стержень 9 опромінюють імпульсною лампою 8, що живиться від конденсаторної батареї 11. Відбивач 7 і заднє дзеркало 10 направляють лазерний промінь 6 на напівпрозоре дзеркало 5 і через поворотне дзеркало 4 фокусують лінзу 3 на деталь 1, яку наплавають. До зони наплавлення трубою 12 вводять наплавний матеріал у вигляді порошку. Для захисту розплавленого металу від окислення в зону наплавлення через сопло 2 подають захисний газ (аргон).

Використовують лазерне наплавлення із завчасним нанесенням порошку у вигляді обмазки шаром відповідної товщини. Найбільш якісне покриття одержують під час використання самоформуючих порошоків марки СНГН. При їх використанні твердість наплавленого шару досягає HRC 60...63, а міцність зчеплення з основним металом – 250 МПа. Поверхні деталей після наплавлення

одержують рівними, чистими; вони легко піддаються обробці абразивним інструментом.

До основних переваг лазерного зварювання і наплавлення відносять: високу мобільність лазерного променя, який можна направити у важкодоступні ділянки виробу; незначне тепловкладання до виробу, який обробляють, що практично виключає можливість утворення зони термічного впливу. До недоліків слід віднести складність установок для лазерного зварювання і наплавлення. Незважаючи на це, лазерне зварювання і наплавлення поступово знаходять широке застосування в ремонтній сфері транспортних засобів.

### 13.9. Плазмове наплавлення

При плазмовому наплавленні як джерело теплової енергії використовують струмінь плазми.

*Плазма* – це частково або повністю іонізуючий газ, нагрітий до дуже високої температури, що має властивість електропровідності. Плазмовий струмінь одержують у спеціальних пристроях, які називають плазмотронами, або плазмовими пальниками. На рис. 13.14 зображена схема плазмотрону, з якої видно, що останній складається з двох основних складових частин – катодної та анодної, що розділені ізоляційною прокладкою 2. Катод 1 плазмотрону являє собою стержень діаметром 6...8 мм, виготовлений із лантанового вольфраму. Його (катод) через водяну оболонку охолоджує проточна вода. Анодну частину (сопло) 3, виготовлену з міді, теж охолоджує вода.

Для того, щоб одержати плазмовий струмінь 4, між анодом і катодом збуджується електрична дуга, а в зону її горіння вводять плазмоутворюючий газ, який, проходячи через дуговий проміжок, нагрівається до високої температури і іонізується, тобто розпадається на позитивно й негативно заряджені іони.

Під дією електромагнітного поля відбувається обтискування стовпа дуги. Завдяки надмірному тиску газу дуга витягується за напрямком руху струменя. Це сприяє значному збільшенню щільності струму і підвищенню температури струменя. Плазмовий струмінь виходить з каналу сопла плазмотрону у вигляді тонкого шнура, довжина видимої частини якого складає 50...60 мм.

В якості плазмоутворюючого газу використовують аргон, азот, гелій, водень та їх суміші. Аргоновий плазмовий струмінь має найбільш високу температуру (до 15000...20000°C) і надзвукову швидкість витікання (до 1000...1200 м/с).

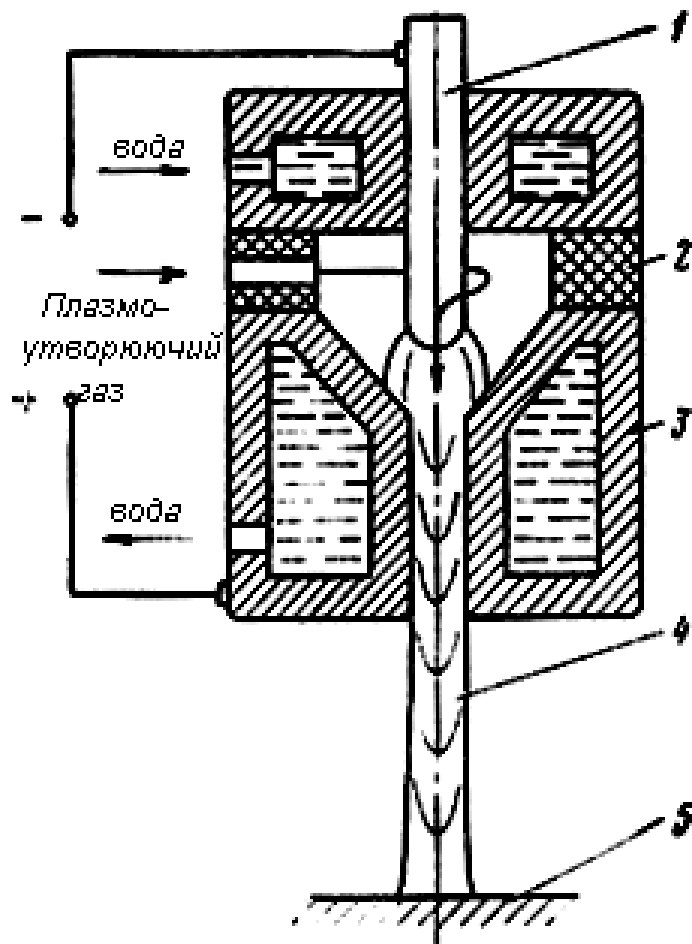


Рис. 13.14 – Схема плазмотрону

Присадковий матеріал під час плазмового наплавлення вводять до зварювальної ванни у вигляді металевого порошку або дроту. Наплавлення з використанням металевого порошку виконують двома методами: подачею порошку безпосередньо до зварювальної ванни і шляхом вдування його до плазмового струменя.

Для подачі електродного дроту до плазмового струменя можна використувати механізм подачі дроту від зварювального напівавтомата ПЩ-54.

При плазмовому наплавленні в якості обертача деталі використовують переустаткований токарний верстат. Деталь 5 закріплюють в патроні або центрах переустаткованого токарного верстата, а плазмотрон і механізм подачі дроту – на супорті. Для керування плазмотроном використовують універсальну плазмову установку УПУ-ЗД, до складу якої входять: пульт керування, джерело живлення електричним струмом ИПН-160/600 і плазмотрон.

Висока концентрація теплової енергії в плазмовому струмені, стабільність дугового розряду, можливість роздільного регулювання ступеня нагрівання основного і присадкового матеріалів визначають переваги використання плазми

при наплавленні робочих поверхонь деталей.

Плазмове наплавлення забезпечує високу якість наплавного металу і за своїми техніко-економічними показниками не поступається, а в деяких випадках навіть перевершує інші способи механізованого наплавлення.

### **13.10. Особливості технологічного процесу зварювання чавунних деталей**

Багато деталей складових частин транспортних засобів виготовляють із сірого й ковкого чавуну. Характерними дефектами цих деталей є тріщини, пошкодження, нарізки та ін. Найбільш поширеним способом усунення цих дефектів є зварювання.

Основною складністю зварювання чавунних деталей є можливість вибілювання шва. Воно відбувається внаслідок охолодження наплавленого металу і вигорання кремнію. Під час швидкого охолодження вуглець не встигає виділитись у вигляді графіту і залишається в хімічно зв'язаному стані у вигляді цементу. Зварювальний шов одержують дуже твердим і крихким. Він не піддається обробці.

Під час зварювання внаслідок місцевого нагрівання деталей і значної усадки чавуну при охолодженні із розплавленого стану в деталях виникають значні внутрішні напруження. При зварюванні чавуну також створюються тугоплавкі окисли, температура плавлення яких досягає майже 1400°C. Вони на поверхні зварювальної ванни утворюють тверду плівку, що перешкоджає вільному виходу газів з розплавленого металу і, таким чином, сприяє виникненню пор та раковин.

При відновленні чавунних деталей застосовують два способи зварювання: зварювання підігрітої деталі і зварювання холодної деталі.

При зварюванні підігрітої деталі спочатку виконують механічну підготовку деталі до зварювання, тобто засвердлення кінців тріщини, розробку її країв та ін., а потім у спеціальних печах деталь підігрівають до температури 550...600°C. Зварювання виконують ацетиленокисневим полум'ям. В якості присадкового матеріалу використовують стержень діаметром 6...8 мм, який відливають із сірого чавуну з підвищеним вмістом кремнію (у межах 3...3,5%). Для захисту наплавленого металу від окислення і вилучення окислів застосовують флюс, до складу якого входять суміш бури і двовуглекислого натрію.

Рекомендують такий режим зварювання: потужність зварювального паль-

ника вибирають з розрахунку витрати  $0,1 \dots 0,12 \text{ м}^3/\text{год}$ . ацетилену на 1 мм товщини зварювального металу; зварювальне полум'я має бути нейтральним або з незначним надлишком ацетилену. Після зварювання деталі повільно охолоджують у термостатах (копильниках).

Спосіб зварювання підігрітої чавунної деталі забезпечує високу якість зварювання, але в технологічному відношенні він дуже складний. Тому його майже не застосовують, за винятком складних корпусних деталей.

Спосіб зварювання холодної чавунної деталі в технологічному відношенні є простішим, тому в ремонтному виробництві транспортних засобів він знайшов більше застосування. При цьому часто використовують ручне і напівавтоматичне електродугове зварювання сталевими електродами і електродами з кольорових металів та їх сплавів.

Зварювання чавуну сталевими електродами є простим і економічним способом зварювання, але під час зварювання можливі вуглецювання і загартування шва, що погіршує умови обробки. При зварюванні цим способом рекомендують використовувати електроди марки Ц2-4, виготовлені зі зварювального дроту Св-08 з товстим покриттям, що містить титан.

Зварювання чавуну електродами з кольорових металів менш економічне, але дає непогані показники з точки зору міцності, пластичності й щільності шва. Найбільш широке застосування одержали мідні електроди марки ОЗЧ-1 з покриттям, що містить залізний порошок і мідно-нікелеві електроди марки УО-НИ-55. Найкращі результати одержують під час зварювання електродами МНЧ-1. Зварювальний шов при цьому складається із залізонікелевого сплаву, має високу міцність і пластичність.

При зварюванні холодної чавунної деталі застосовують електроди діаметром 3...4 мм, постійний струм зворотної полярності, напругу 20...25 В, силу струму 120...150 А.

Напівавтоматичне зварювання сірого й ковкого чавуну виконують, використовуючи самозахисний електродний дріт ПАНЧ-11 і ПАНЧ-12. Для зварювання чавунних деталей цим дротом, застосовують зварювальний напівавтомат А-547-У.

Найбільшу схильність до вибілювання шва має ковкий чавун. Для запобігання вибілюванню шва ковкого чавуну його зварювання виконують при значно меншій температурі, ніж температура розпаду вуглецю під час відпалювання ( $950^\circ\text{C}$ ). Найбільш значні результати одержують під час паяння-зварювання, за-

стосовуючи латунні електроди марок ЛОМНА-54-10-4-О, ЛОК-59-1-03 і Л-62. Паяння-зварювання чавунних деталей виконують ацетиленокисневим полум'ям із застосуванням флюсу марки ФПСН-2, що містить 50% борної кислоти, 25% вуглекислого натрію. Під час паяння-зварювання кінці деталей нагрівають до 700...750 °С.

### **13.11. Особливості технологічного процесу зварювання деталей з алюмінієвих сплавів**

Багато деталей транспортних засобів виготовляють з алюмінієвих сплавів типу АЛ-4 та АЛ-10. Характерними їх дефектами є механічні пошкодження, які ліквідують зварюванням.

Основною особливістю зварювання алюмінієвих сплавів є їх інтенсивне окислення з утворенням тугоплавких окислів, температура плавлення яких досягає 2050°С, що більше ніж в 3 рази перевищує температуру плавлення алюмінію. Окисли алюмінію мають велику питому вагу, тому залишаються в металі у вигляді суміші і знижують його міцність. Через велике споріднення алюмінію з киснем відновити окисли неможливо. Тому для їх вилучення використовують флюси – фізичні розчини типу АФ-4А, до складу якого входять: хлористий натрій – 28, хлористий калій – 50, хлористий літій – 14, фтористий натрій – 8%. Флюси створюють з окислами легкоплавкі з невеликою питомою вагою розчини, що спливають на поверхню зварювальної ванни у вигляді шлаку.

Алюмінієві сплави в розплавленому стані активно розчиняють водень, який під час швидкого охолодження металу не встигає покинути зварювальну ванну і утворює в наплавленому металі пори, пустоти, раковини. Основним джерелом постачання водню до наплавленого металу є волога. Тому перед зварюванням деталі рекомендують прогрівати, а гігроскопічний флюс просушувати.

При зварюванні деталей з алюмінієвих сплавів у них виникає значне за величиною внутрішнє напруження. Воно сприяє виникненню деформації. Причиною виникнення внутрішнього напруження є велика миттєва усадка під час охолодження сплаву з розплавленого стану і високий коефіцієнт його лінійного розширення. Для зниження внутрішнього напруження рекомендують перед зварюванням підігрівати деталі до температури 250...300°С і повільно охолоджувати після зварювання.

Найбільш широке застосування під час відновлення деталей з алюмінієвих

сплавів знайшли ацетиленокисневе газове і аргонодугове зварювання.

Згідно з вимогами нормативно-технологічних документів перед зварюванням деталей виконують обробку їх кінців та очищення поверхонь, які зварюють, від забруднень і окислів. Крім того, необхідно знежирювати поверхні розчинниками.

Ацетиленокисневе зварювання алюмінієвих сплавів виконують тільки нейтральним полум'ям, пальником, що забезпечує витрату ацетилену 0,075...0,1 м<sup>3</sup>/год. на 1 мм товщини металу, який зварюють. Як присадковий матеріал при зварюванні застосовують прутки діаметром 6...8 мм, відлиті зі сплаву алюмінію з наявністю 5...6% кремнію. Після зварювання деталь поступово охолоджують, зварювальний шов звільняють від шлаку і промивають гарячою водою від залишків флюсу, який не використали.

Аргонодугове зварювання під час з'єднання деталей з алюмінієвих сплавів останнім часом витісняє газове зварювання. Як присадковий матеріал під час аргонодугового зварювання використовують дріт Св.АК12, Св.АК10, Св.АК5. Режим зварювання визначають залежно від товщини деталі, яку зварюють. При товщині деталі 4...6 мм діаметр вольфрамового електрода повинен бути 4...5 мм; сила струму – 150...250 А; витрата аргону – 8...10 л/хв. Під час зварювання деталей товщиною 7...10 мм діаметр електрода має бути 6...10 мм, сила струму – 250...400 А; витрата аргону – 10...15 л/хв. Напруга на дузі зварювання має бути в межах 12...20 В.

## **14. Відновлення деталей газотермічним напиленням**

### **14.1. Класифікація способів газотермічного напилення**

Газотермічне напилення є одним із способів нанесення металевих покриттів на робочі поверхні відновлюваних деталей. Фізична сутність газотермічного напилення полягає в нанесенні розплавленого металу на спеціально підготовлену робочу поверхню деталі за допомогою струменя стиснутого газу (повітря). Маючи велику швидкість, дрібні частинки розпиленого металу досягають поверхні деталі в пластичному стані. Під час удару об робочу поверхню вони деформуються і, укорінюючись в її пори й нерівності, утворюють покриття. З'єднання металевих частинок розплавленого металу з поверхнею деталі і між собою має в основному механічний характер і тільки в окремих точках вони

зварюються.

Газотермічним напиленням відновлюють і змінюють зношені робочі поверхні деталей, а також захищають метали від корозії.

Технологія газотермічного напилення металів має ряд переваг у порівнянні з іншими способами відновлення. До основних з них слід віднести високу продуктивність процесу, незначне нагрівання деталей (120...180°C), велику зносостійкість покриттів, простоту технологічного процесу та обладнання, можливість нанесення покриттів товщиною 0,1...10 мм з різних матеріалів та сплавів як на металеву так і на неметалеву (кераміка, скло і таке ін.) основу.

Важливою характеристикою, що визначає працездатність газотермічного напилення, є міцність зчеплення частинок розплавленого металу з робочою поверхнею деталі. Вона залежить від якості підготовки робочої поверхні, виду матеріалу, яким напиляють, способу і режиму нанесення газотермічного напилення. Підготовка поверхні полягає у створенні такої шорсткості, що б сприяла механічному зчепленню матеріалу, яким напиляють.

Міцність зчеплення підвищують шляхом: напилення як основи (підшару) молібдену, ніхрому, алюмінію, нікелю, підігрівання деталі перед нанесенням покриття; оплавлення нанесеного шару розплавленого металу після напилення.

Залежно від теплової енергії, яку використовують в апаратах для напилення, в ремонтному виробництві застосовують такі способи напилення: газополум'яне, електродугове, високочастотне, детонаційне, іонно-плазмове і плазмове.

## 14.2. Газополум'яне напилення

*Газополум'яне напилення* – це процес, при якому присадковий матеріал, яким напиляють, розплавляється у спеціальному апараті ацетиленокисневим полум'ям, а потім за допомогою струменя стиснутого повітря наносять на робочу поверхню відновлюваної деталі. Як зображено на рис. 14.1, металевий дріт, яким напиляють, подають через центральний отвір направляючої втулки 4 пальника, де він розплавляється, потрапляючи в зону полум'я 7 з найбільш високою температурою. Струмień стиснутого повітря розпилює розплавлений метал на дрібні частинки 8, що осаджуються на робочій поверхні 9, яку напиляють до необхідної товщини. Дріт діаметром до 3 мм подають із сталюю швидкістю роликками, що рухаються за допомогою електродвигуна.



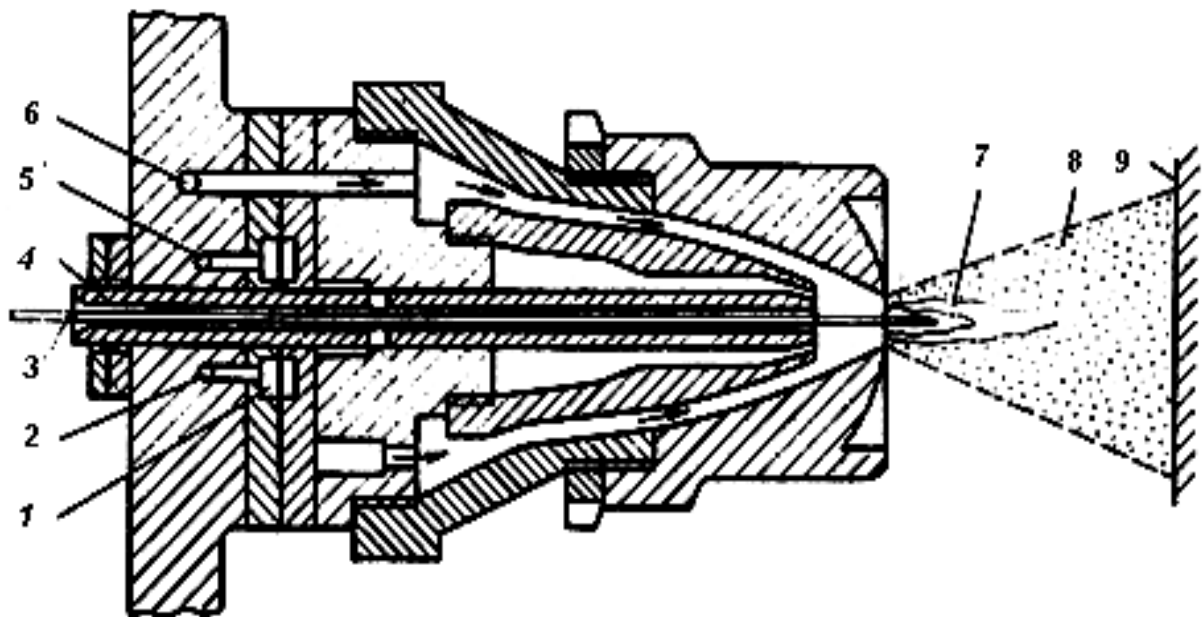


Рис. 14.1 – Схема розпилювальної головки газополум'яного дротового апарату для напилення: 1 – змішувальна камера; 2 – канал для підведення кисню; 3 – дріт; 4 – направляюча втулка; 5 – канал для підведення ацетилену; 6 – канал для підведення стиснутого повітря; 7 – ацетиленокисневе полум'я; 8 – газометалевий струмінь; 9 – поверхня деталі, яку напиляють

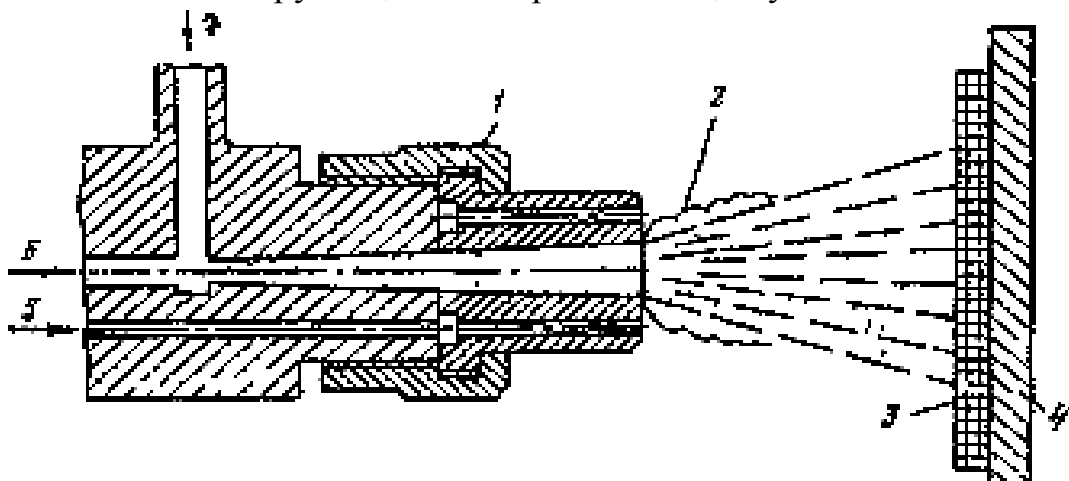


Рис. 14.2 – Схема розпилювальної головки газополум'яного порошкового апарату для напилення:

1 – сопла; 2 – факел газового полум'я; 3 – покриття, яким напиляють; 4 – поверхня, яку відновлюють газополум'яним покриттям; 5 – канал для підведення кисню і горючого газу; 6 – канал для підведення транспортуючого газу (повітря); 7 – канал для підведення порошку, яким напиляють

На рис. 14.2 показана схема газополум'яного напилення, де в якості присадкового матеріалу використовують порошок 7, що надходить з бункера. Цей порошок за допомогою транспортуючого газу (повітря) 6 подається до факела газового полум'я 2, де нагрівається до необхідної температури.

Для газополум'яного напилення промисловість виготовляє апарати марки

МГИ-4А і МГИ-4П. В якості горючого газу використовують ацетилен або пропан-бутан.

Під час газополум'яного напилення тугоплавких матеріалів застосовують пристрій УПН-8-68. Він складається з розпилювальної головки, автономно розміщеного постачальника та допоміжного обладнання. Працює на ацетиленокисневому полум'ї. В якості транспортуючого газу використовують кисень.

Перевагами газополум'яного напилення є: незначне окислення металу, дрібне розпилення, достатньо висока міцність покриття. До недоліків слід віднести невисоку продуктивність процесу (2...4 кг/год.).

### 14.3. Електродугове напилення

*Електродугове напилення* – це процес, за якого присадковий матеріал, яким напиляють, розплавляється у спеціальному апараті електричною дугою, а потім за допомогою струменя стиснутого повітря наносять на робочу поверхню відновлюваної деталі.

На рис. 14.3 подана схема електродугового напилення, яку розробили російські інженери Е.М. Линник, та Н.В. Катц. Електродний металевий дріт подають двома парами ізолюваних один відносно другого роликів 2. Виходячи з латунних наконечників 1, що знаходяться під напругою, ця пара дроту контактує, в результаті чого виникає електрична дуга і відбувається процес плавлення дроту.

Струмień стиснутого повітря, виходячи із сопла 3, розпилює краплі рідкого металу, що утворилися після розплавлення дроту, на дуже дрібні частинки, і з силою подає їх до робочій поверхні відновлюваної деталі 4.

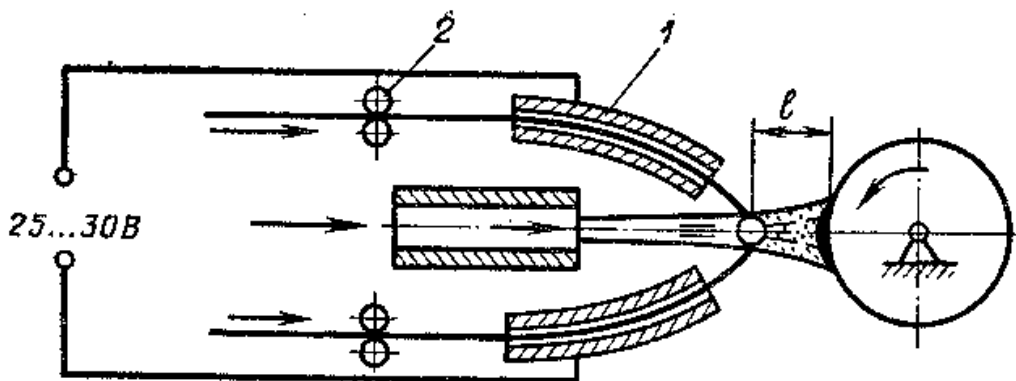


Рис. 14.3 – Схема електродугового напилення: 1 – латунний наконечник; 2 – ізолюваний ролик; 3 – сопло; 4 – деталь, яку відновлюють;  $\ell$  – відстань від поверхні деталі до осередку плавлення дроту

Частинки розжареного металу, стикаючись із струменем стиснутого повітря, охолоджуються, але досягають робочої поверхні деталі в пластичному стані. Оскільки частинки рухаються зі швидкістю до 200 м/с, вони ударяються об поверхню з великою силою, внаслідок чого розплющуються і заповнюють нерівності.

Невеликі за обсягом роботи з електродугового напилення виконують за допомогою переносних (ручних) електродугових апаратів (електрометалізаторів) ЕМ-3А, ЕМ-9, ЕМ-14М. Значні за обсягом роботи проводять верстатними електродуговими апаратами ЕМ-6, ЕМ-12, а також високочастотними апаратами МВЧ-1, МВЧ-2. Покриття на робочих поверхнях деталей з різномірних металів одержують за допомогою багатозначних металізаторів УМА-1.

Для подачі дроту в зону горіння електричної дуги в ручних апаратах використовують повітряну турбінку, а у верстатних апаратах – електродвигун.

Основною перевагою електродугового напилення є висока продуктивність процесу (3...14 кг/год.). Висока температура електричної дуги сприяє нанесенню покриття з тугоплавких матеріалів. Під час використання електродного дроту з двох різних металів одержують покриття з їх сплавів. До переваг електродугового напилення відносять простоту обладнання, а також незначні витрати на нього; до недоліків – підвищене окислення металу, значне вигорання легуючих елементів і зниження щільності покриття.

#### 14.4. Плазмове напилення

*Плазмове напилення* – це спосіб напилення металевого покриття, при якому для розплавлення і перенесення металу на робочу поверхню відновлюваної деталі використовують теплові й динамічні властивості плазмової дуги. Плазма являє собою високотемпературний, сильно іонізуючий газ. Його створюють за допомогою дугового розряду, який розміщують у вузькому каналі спеціального плазмотрона, під час обдування електричної дуги співвісним потоком плазмоутворюючого газу, в якості якого використовують аргон, азот, гелій. Тільки азотна плазма має порівняно невисоку температуру (до 10000...15000°С), але в неї велика ентальпія (тепловміст). Це пояснюють тим, що процес утворення азотної плазми має дві стадії: дисоціацію (коли  $N_2 \rightarrow 2N$ ) і іонізацію (коли  $N \rightarrow N^+ + e$ ). Обидві стадії процесу утворення плазми протікають з поглинанням теплової енергії. Процес утворення, наприклад, аргонної плазми має тіль-

ки одну стадію – іонізацію. Таким чином, азотна плазма є носієм більшої кількості теплової енергії, ніж аргонна. Висока ентальпія азотного плазмового струменя і низька вартість азоту обумовили його широке застосування як плазмоутворюючого газу при плазмовому напиленні.

У всіх відомих конструкціях плазмотронів застосовують вольфрамовий катод, що не плавиться (рис. 14.4). Анодом може бути деталь, водоохолоджуюче сопло або деталь і сопло одночасно. У першому випадку плазмову дугу називають відкритою, в другому – закритою, а в третьому – комбінованою.

При відкритій плазмовій дузі струм тече між електродом і деталлю. Плазмоутворюючий газ збігається з дуговим розрядом на всьому шляху його руху від катода до анода. Такий процес супроводжується передачею великої кількості тепла. Тому відкриту плазмову дугу застосовують під час різання металу.

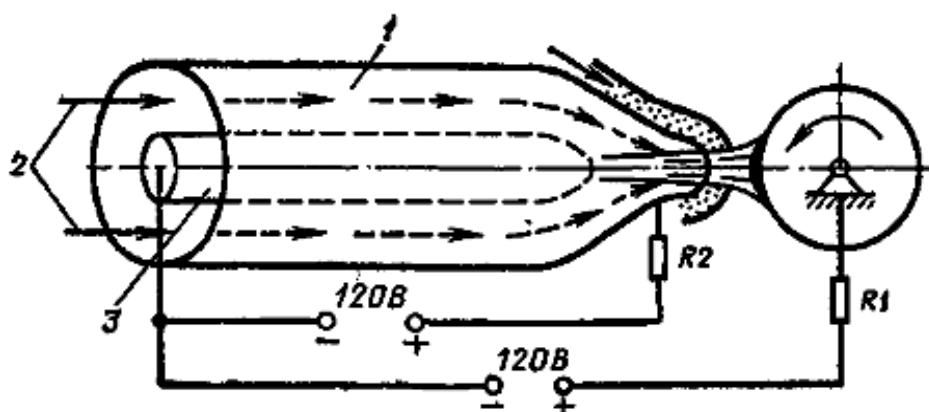


Рис. 14.4 – Схема плазмового напилення: 1 – пляшкоподібне сопло (анод); 2 – плазмоутворюючий газ; 3 – вольфрамовий катод;  $R_1$ ,  $R_2$  – опори

При закритій плазмовій дузі плазмоутворюючий газ збігається з дуговим розрядом лише на частині шляху і, відділяючись від нього, виходить з сопла плазмотрона у вигляді факела плазми. Температура такої дуги (її стиснутої частини) на 25...30% більша, ніж відкритої; її використовують під час плавлення тугоплавких порошків, які подають у стиснуту частину дуги, і подальшого напилення робочих поверхонь відновлюваної деталі.

При комбінованій плазмовій дузі горять дві дуги одночасно між вольфрамовим електродом і відновлюваною деталлю, вольфрамовим електродом і водоохолоджуючим соплом.

Плазмотрон із комбінованою дугою дозволяє окремо регулювати плавлення присадкового і основного матеріалів шляхом зміни величини відповідних опорів  $R_1$  і  $R_2$ .

Як присадковий матеріал використовують електродний дріт або спеціальні

порошки. Дріт як присадковий матеріал використовують не часто, особливо для наплавлення шару значної товщини (до 3 мм), бо під час його застосування одержують крупнозернисту структуру покриття. Крім того, не всі матеріали для напилення можна виготовити у вигляді дроту. Тому під час плазмового напилення в якості присадкового матеріалу застосовують гранульовані порошки з розміром частинок 50...150 мкм. Вони дорого коштують, за цього їх використовують для відновлення деталей з невеликим зносом (до 1 мм).

З метою одержання зносостійкого покриття застосовують хромонікелеві порошки марки СНГН і ПГ-ХН80СР4. Бор зменшує температуру плавлення нікелю, хрому, заліза і в сполученні з кремнієм утворює боросилікатне скло, яке виконує роль флюсу під час розплавлення композиції. Крім того, розроблена суміш порошків ПГ-У30Х28Н4С4 "Сормайт-1" і ПГ-ХН80СР4 у ваговому відношенні 4:1 з добавкою порошку алюмінію в кількості 4% від маси. Одержують цю суміш у відношенні 77:19:4. Добавка алюмінію сприяє створенню міцної оксидної плівки, що дозволяє відновлювати деталь без захисних газів. Використовуючи цю суміш порошків, наплавляють шар значної товщини із зносостійкістю, що перевищує відповідний показник загартованої "сталі 45" майже в три рази.

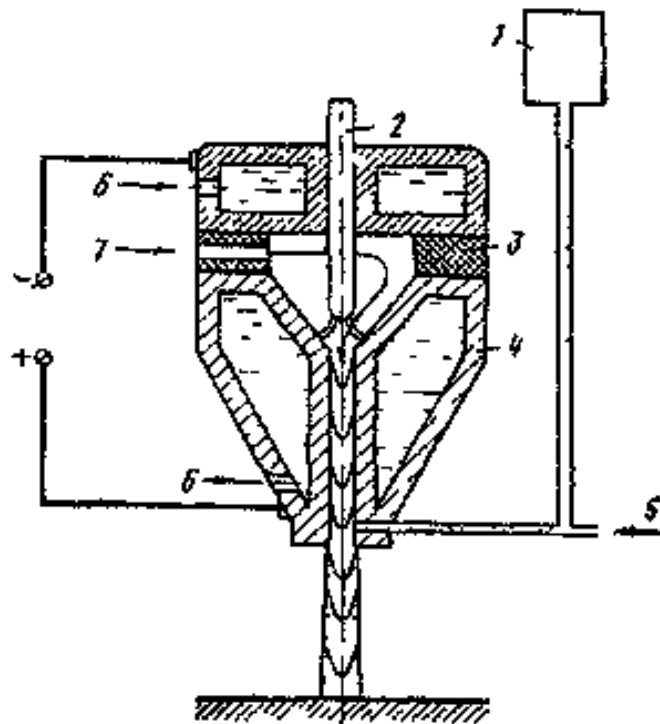


Рис. 14.5 – Схема плазмотрона для напилення металевим порошком:  
 1 – порошок дозатор; 2 – вольфрамовий катод; 3 – ізоляційна прокладка;  
 4 – сопло (анод); 5 – транспортуючий газ; 6 – подача води в охолоджуючу систему; 7 – подача плазмоутворюючого газу

У ремонтному виробництві для плазмового напилення застосовують напівавтомат 15В-Б. Він являє собою камеру напилення з маніпулятором для обертання деталі, яку відновлюють, і переміщення плазмотрона. Напівавтомат комплектують пристроями УПУ-ЗД і УМП-5, до складу яких входять плазмотрон ГН-5Р, постачальник порошку (дозатор), пульт управління, джерело електропостачання, системи газопостачання і охолодження плазмотрона.

Як видно з рис. 14.5, порошок в сопло 4 плазмотрона подають з дозатора 1 за допомогою транспортуючого газу (азоту) 5. Дозатор визначає витрату порошку і, отже, продуктивність процесу напилення. Витрату порошку можна регулювати в межах 3...12 кг/год.

Потрапляючи в плазмовий струмінь, металевий порошок розплавлюється і напиляється на робочу поверхню відновлюваної деталі.

Властивості покриття залежать від температури нагрівання частинок і швидкості їх польоту під час їх зустрічі із поверхнею деталі. Швидкість польоту металевих частинок визначають за допомогою двох факторів – сили струму дуги і витрати плазмоутворюючого газу. Залежно від значення цих факторів вона може досягати 150...200 м/с. Найбільшій швидкості розплавлені частинки металу досягають на відстані 50...80 мм від сопла плазмотрона.

Велика швидкість польоту частинок порошку і висока температура їх нагрівання в момент зустрічі з робочою поверхнею деталі забезпечують більш високі, ніж при інших способах напилення, механічні властивості покриття і більш міцне його з'єднання з робочою поверхнею відновлюваної деталі.

Режим плазмового напилення залежить від присадкового матеріалу. Він характеризується силою струму, що знаходиться в межах 350...400 А, напругою струму – 60...70 В, витратою плазмоутворюючого газу – 30...35 л/хв., витратою присадкового матеріалу – 5...8 кг/год., відстанню від сопла плазмотрона – 125...150 мм.

Економічна ефективність і продуктивність процесу напилення залежить від того, яка частина присадкового матеріалу потрапляє до робочої поверхні деталі і закріплюється на ній, тобто від коефіцієнта напилення. Величина коефіцієнта напилення при плазмовому напилюванні більша, ніж при інших способах напилення, і залежить від матеріалу присадкового порошку, діаметра робочої поверхні деталі, що відновлюється, а також від основних параметрів режиму роботи плазмотрона. Так, під час напилення порошку “Сормайт-1” на деталь діаметром 26 мм в умовах оптимального режиму коефіцієнт напилення не перевищує

65...70%, а при напилюванні хромонікелевого порошку на деталь діаметром більше 50 мм він досягає 90...95%.

З інших переваг процесу плазмового напилення слід відзначити його високу продуктивність, можливість нанесення покриття з будь-яких матеріалів, повну автоматизацію управління процесом.

Усі ці переваги процесу плазмового напилення дозволяють зробити висновок щодо можливості його широкого використання для відновлення деталей транспортних засобів.

### 14.5. Іонно-плазмове напилення

*Іонно-плазмове напилення* – це спосіб напилення металевого покриття, яке наносять в середовищі реактивного газу (азоту) у вакуумній камері, де присадковий матеріал за рахунок тепла електричної дуги перетворюється в плазмовий стан і переноситься до робочої поверхні відновлюваної деталі, на яку подають від’ємний потенціал позитивно зарядженими іонами металевої плазми.

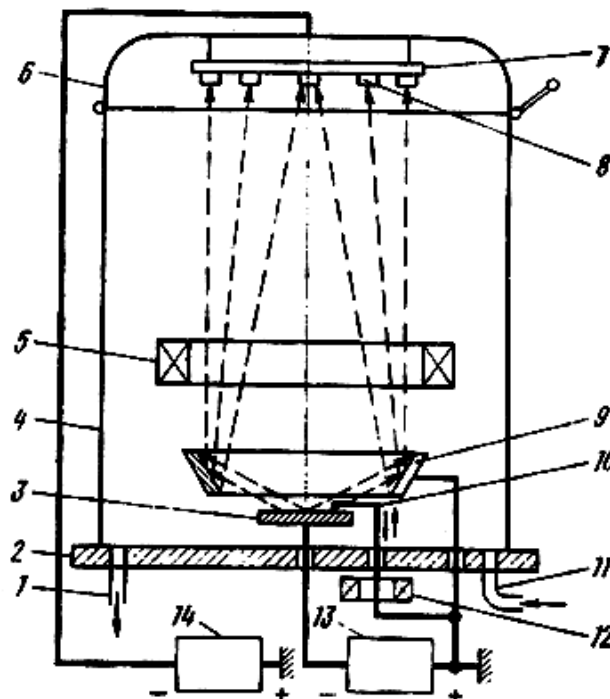


Рис. 14.6 – Схема пристрою для іонно-плазмового напилення

Для іонно-плазмового напилення вітчизняна промисловість випускає пристрій ПУСК-77, схема якого зображена на рис. 14.6. Цей пристрій складається з вакуумної камери 4, на столі 2 якої змонтовані: катод 3, виготовлений з присад-

кового матеріалу; кільцеподібний анод 9, розміщений концентрично до катода; соленоїд 5, призначений для прискорення руху потоку плазми до відновлюваної деталі 8; електрод 10, призначений для підпалювання електричної дуги, з електромагнітним вібратором 12. На кришці 6 вакуумної камери встановлена касета 7, в якій розміщують відновлювані деталі. Живлення пристрою здійснюють від двох джерел струму 13 і 14 напругою 1000 В.

Для відновлення деталі її встановлюють у вакуумну камеру і створюють в ній робочий вакуум за допомогою вакуумного насоса, який підключають до патрубка 1.

Подають до катода і анода напругу від джерела живлення. Від другого джерела живлення подають від'ємний потенціал до відновлюваної деталі. Електродом підпалювання електричної дуги збуджують її. Під дією дугового розряду метал катода переходить у плазмовий стан. Металева плазма під дією магнітного поля соленоїду прискорюється при її рухові до відновлюваної деталі.

Іони металевої плазми під час руху до відновлюваної деталі взаємодіють з реактивним газом (азотом), що поступає до вакуумної камери через патрубок 11.

Іонно-плазмове напилення застосовують для відновлення деталей з незначним зносом (в межах 10...15 мкм), для підвищення прироблювання і зносостійкості спряжених деталей за рахунок нанесення покриття з нітриду молібдену, а також для зміцнення різального інструменту шляхом нанесення покриття з нітриду титану.

#### **14.6. Високочастотне напилення**

*Високочастотне напилення* – це спосіб напилення, за якого для розплавлення присадкового матеріалу використовують принцип індукційного нагрівання, а розпилення матеріалу і перенесення його до робочої поверхні відновлюваної деталі здійснюють за рахунок струменя стиснутого газу.

Як присадковий матеріал для високочастотного напилення використовують металевий дріт. На рис. 14.7 надана схема розпилювальної головки апарату високочастотного напилення, де як присадковий матеріал використовують металевий дріт. До основних складових одиниць розпилювальної головки відносяться: індуктор 4, як джерело живлення якого використовують генератор струму високої частоти; концентратор струму 3, що забезпечує розплавлення металевого



дроту на невеликій ділянці його довжини; систему охолодження індуктора; регульовану в межах 0,4...0,6 МПа систему стиснутого газу 5, за допомогою якої здійснюють розпилення розплавленого металу і перенесення його до робочої поверхні відновлюваної деталі 1; систему подачі металевого дроту, до складу якої входять направляючий канал 8, використовуючи який, дріт подають до горілки валиками 7, що приводяться в рух із швидкістю 46...120 см/хв. за допомогою електропривода.

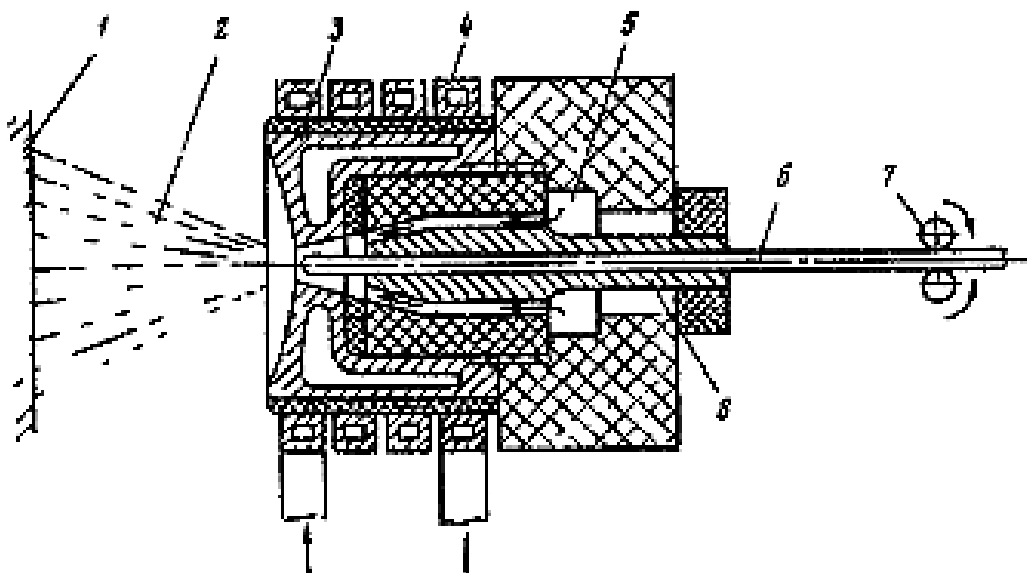


Рис. 14.7 – Схема розпилювальної головки апарату високочастотного напилення

Принцип дії розпилювальної головки полягає в тому, що металевий дріт за допомогою системи подачі доставляють до індуктора і концентратора струму, де він нагрівається і розплавляється вихровим струмом, який виник під дією змінного магнітного поля, що створилось під час проходження струму високої частоти через котушку індуктора. Розплавлений метал розпилюється струменем повітря і наноситься на відновлювану деталь. При напильованні металів, які взаємодіють з киснем, замість стиснутого повітря застосовують інертні гази. Тоді процес напильовання виконують у камері з інертними газами.

До переваг високочастотного напильовання відносять незначне окислення металу завдяки можливості регулювання температури нагрівання металевого дроту при його плавленні і високу механічну міцність покриття, до недоліків – порівняно невисоку продуктивність процесу та складність і високу вартість обладнання.

#### 14.7. Детонаційне напильовання

*Детонаційне напильовання* – це спосіб напильовання, за якого розплавлення

присадкового матеріалу, його розпилення і перенесення до робочої поверхні відновлюваної деталі здійснюються за рахунок енергії, що виділяється в результаті миттєвого згоряння вибухової суміші.

При детонаційному напилюванні як присадковий матеріал застосовують металевий порошок, а як транспортуючий газ – стиснутий азот або повітря. Вибухова суміш складається з ацетилену і кисню, або пропан-бутану і кисню.

На рис. 14.8 зображена схема пристрою для детонаційного напилення, до складу якого входять: вибухова камера 3 з порошковим постачальником 1 і запальним пристроєм 2, де зосереджуються компоненти вибухової суміші і металевого порошку; змішувальна камера 4, куди з балонів надходить вибухова суміш; ствол 5, що являє собою трубу, яка охолоджується водою.

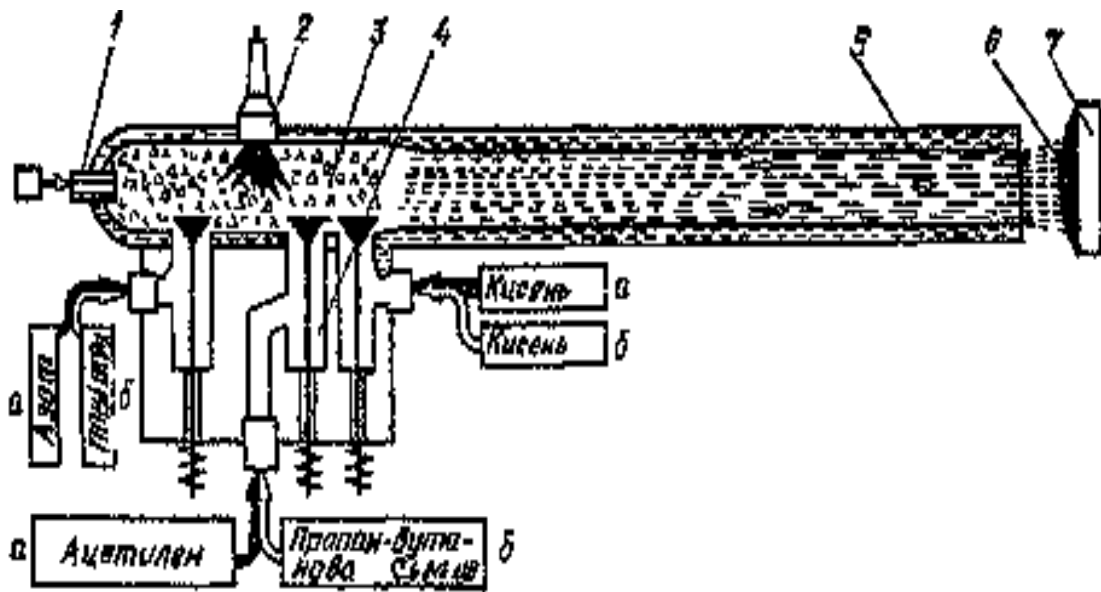


Рис. 14.8 – Схема пристрою для детонаційного напилення

Процес детонаційного напилення відбувається таким чином: до вибухової камери із змішувальної камери надходить точно виміряна кількість вибухової суміші. Потім до камери за допомогою транспортуючого стиснутого газу із порошкового постачальника подають точно виміряну кількість металевого порошку з грануляцією в 50...100 мкм. За допомогою запального пристрою вибухову суміш запалюють. Вибухова хвиля надає частинкам порошку велику швидкість льоту, котра на відстані 75 мм від зрізу ствола досягає 600...1200 м/с.

Під час удару об деталь кінетична енергія частинок порошку переходить в теплову енергію, в результаті чого вони нагріваються до температури 4000 °С.

Залежно від співвідношення компонентів вибухової суміші можна змінювати температуру і швидкість частинок порошку. Найбільшої швидкості досяга-

ють за наявності, наприклад, ацетиленокисневої суміші 50%, а найбільше тепловиділення – за 71% (за об'ємом) кисню.

Ударяючись об робочу поверхню відновлюваної деталі, частинки порошку утворюють твердий шар покриття.

Після нанесення кожної дози порошку ствол пристрою продувають стиснутим газом з метою виведення продуктів згоряння. Цей процес повторюється автоматично з частотою 3...4 рази за секунду. За один цикл на поверхню деталі наносять шар металу товщиною до 6 мкм.

У ремонтному виробництві транспортних засобів для детонаційного напилення використовують пристрій типу ДНП-5М.

До переваг цього способу напилення слід віднести: високу продуктивність процесу, наприклад, за діаметра ствола 20...25 мм за 15 сек. наносять шар покриття товщиною 0,3 мм на площині до 5 см<sup>2</sup>; високу міцність зчеплення покриття з робочою поверхнею деталі; температура на поверхні деталі не перевищує 200 °С; до недоліків – високий рівень шуму (до 140 дБ), необхідність виконання технологічного процесу в спеціальній звукопоглинальній камері.

#### **14.8. Присадковий матеріал і властивості покриттів**

При відновленні деталей транспортних засобів напиленням в якості присадкового матеріалу використовують металевий дріт або порошкові сплави.

При газополум'яному, електродуговому та високочастотному напилюванні звичайно застосовують металевий дріт. Середньовуглецевий дріт використовують для відновлення посадкових поверхонь на сталевих і чавунних деталях. Для деталей, які працюють в умовах тертя, рекомендують застосовувати сталевий дріт з підвищеною концентрацією вуглецю. Для плазмового і детонаційного напилення рекомендують застосовувати зносостійкі порошкові сплави на основі нікелю або дешевші сплави на основі заліза з високою концентрацією вуглецю. Ці сплави мають високі технологічні й експлуатаційні властивості. Наявність в їх структурі твердих складових елементів (карбідів, боридів) і порівняно м'якої основи (твердого розчину) дозволяє одержувати покриття з високими допоміжними властивостями.

Порошкові сплави на основі нікелю марок ПГ-СР2, ПГ-СР3 і ПГ-СР4 мають ряд цінних властивостей, зокрема: низьку температуру плавлення (250...1050°С), твердість HRC 35...60 залежно від наявності бору, рідинно-

текучість, високу зносостійкість і властивості самофлюсування завдяки наявності у складі бору (Р) і кремнію (С), що активно вилучають кисень від окислів. Основним їх недоліком є висока вартість, що знижує ефективність застосування цих сплавів для відновлення робочих поверхонь деталей.

Сплави на основі заліза з високою концентрацією вуглецю типу ПГ-С1, ФБХ-6-2, КБХ мають високу твердість НРС 56...63, високу зносостійкість, вони недефіцитні, але більш тугоплавкі (температура плавлення 1250...1300°С), не володіють властивістю самофлюсування.

У ремонтному виробництві дістали застосування композиційні суміші цих порошків з порошками сплавів на основі нікелю. Порошкова суміш, що складається з 50% ПГ-СР3 і 50% ПГ-С1, має високу зносостійкість, невелику температуру плавлення (1100...1150°С), має властивості самофлюсування і коштує вдвічі дешевше порошкових сплавів на основі нікелю.

Для відновлення посадочних поверхонь під підшипники в чавунних корпусних деталях слід застосовувати сталевий порошок ПЖ-5М з добавкою 1...2% порошку алюмінію АКП. Ця порошкова суміш з добавкою 4...5% мідного порошку ПМС-2 або 2...3% нікелевого порошку може бути застосована при відновленні плазмовим напиленням опор під вкладиші корінних підшипників агрегатів.

Напилені покриття за своїми властивостями значно відрізняються від литих металів; їх особливістю є пористість покриття, яка залежить від способу напилення, матеріалу, режиму його нанесення та від інших факторів. Найбільшу пористість (15...20%) мають покриття, що нанесені електродуговим напиленням, а найменшу (5...10%) – покриття, які одержані під час плазмового і детонаційного напилення. Пористість покриття за всіма способами напилення збільшується із зростанням площі напилення. Крім того, вона буде тим нижчою, чим більшу температуру нагрівання і швидкість польоту матимуть частинки металу при ударі об робочу поверхню відновлюваної деталі і чим менше вони будуть зазнавати окислення. Ці умови в найбільш сприятливому поєднанні мають місце при плазмовому напилюванні. Пористість покриття під час рідинного і граничного тертя має велике значення, бо пори добре затримують мастило, що сприяє підвищенню зносостійкості деталі. Але пористе покриття має низьку механічну міцність.

Твердість покриття є узагальненою характеристикою, яка в певній мірі визначає його зносостійкість. Вона залежить від багатьох факторів і перш за все –

від присадкового матеріалу і режиму нанесення покриття.

При газополум'яному і електродуговому напиленні твердість покриття збільшується із зростанням концентрації вуглецю в сталевому дроті. При цьому твердість покриття під час газополум'яного напилення одержують вищу, ніж при електродуговому напилюванні. Цей факт можна пояснити тим, що при електродуговому напилюванні відбувається більш інтенсивне вигорання вуглецю.

Зносостійкість напилення покриттів в умовах тертя з мастилом вища, ніж зносостійкість початкового матеріалу. Це пояснюється тим, що пористе покриття добре затримує мастило, тому коефіцієнт тертя знижується.

Найбільшу зносостійкість мають покриття, одержані в результаті напилення зносостійкими порошками на основі нікелю, а також сплаву ПГ-С1. Зносостійкість покриття, одержаного при плазмовому напиленні сплавом ПГ-С1, перевищує в 1,5...2 рази зносостійкість зразків із сталі 45, загартованої до твердості HRC 58...62.

Механічна міцність покриття значно нижча міцності початкового матеріалу, що застосовується при напилюванні. Для сталевих покриттів межа міцності на розтягування складає при різних способах нанесення покриттів 150...250 МПа. Найбільшу міцність мають покриття, виконані способом плазмового напилення.

Міцність зчеплення покриттів з робочою поверхнею деталі є одним з основних параметрів. Він дозволяє визначити можливість застосування напилення для відновлення деталей. Залежно від методу підготовки поверхні деталі до напилення, способу напилення, складу присадкового матеріалу, міцність зчеплення покриття з поверхнею деталі на відрив складає 15...50 МПа.

Найбільший вплив на міцність зчеплення справляє метод підготовки поверхні деталі до напилення. Чим більш шорсткою буде поверхня деталі, тим вищою буде міцність її зчеплення з покриттям.

Міцність зчеплення покриття з поверхнею деталі залежить від температури нагрівання і швидкості льоту металевих частинок у момент удару їх об робочу поверхню деталі. Так, при нанесенні покриття із сталі 45 на сталевий зразок, який підготували до покриття дрібноструминною обробкою, міцність зчеплення на відрив складала: при газополум'яному напиленні – 15...16 МПа, електродуговому – близько 30 МПа. При плазмовому напиленні зчеплення покриття з порошкового сплаву ПГ-С1, який нанесли на зразок із сталі 45, який підготували до покриття дрібноструминною обробкою, було ще вище і складало 40...45 МПа. Більш міцне зчеплення покриття з робочою поверхнею деталі, яку отримали під

час електродугового і плазмового напилення, можна пояснити наявністю більш високої температури нагрівання частинок. При всіх способах напилення відзначене зниження міцності зчеплення покриття з робочою поверхнею деталі при віддаленні робочої поверхні деталі від апарату для напилення більше ніж 80...100 мм, коли температура металевих частинок і швидкість їх льоту значно знижуються.

Міцність зчеплення покриття з робочою поверхнею деталі можна підвищити шляхом напилення підшару з тугоплавких металів, наприклад, молібдену з температурою плавлення 2620°C. Підвищити міцність зчеплення можна також при напилюванні в середовищі захисних газів або у вакуумі.

Втомлювана міцність деталей при їх напилюванні майже не знижується, якщо при підготовці цих деталей до напилення застосувати методи утворення шорсткості, що не впливають на їх втомлювану міцність. До таких методів відносять дрібноструминну обробку, накатку робочої поверхні деталі зубчастим роликком. Ці методи підготовки забезпечують високу міцність зчеплення покриття з робочою поверхнею деталі і в той же час – не знижують втомлювану міцність.

#### **14.9. Технологічний процес газотермічного напилення**

Газотермічне напилення використовують як спосіб, що забезпечує компенсацію величини зносу зовнішніх і внутрішніх циліндричних робочих поверхонь деталі.

Технологічний процес газотермічного напилення складається з підготовки деталі до напилення, нанесення покриття та обробки деталі після напилення.

Готують деталь до напилення, в першу чергу, з метою забезпечення міцного зчеплення напиленого металу з робочою поверхнею деталі. До технологічного процесу підготовки деталі до напилення відносять: знежирення, очищення від бруду, механічну обробку, утворення шорсткості на поверхні деталі.

Під час механічної обробки з робочої поверхні деталі знімають такий шар металу, щоб після закінчення обробки деталі після напилення на її поверхні залишилось покриття товщиною не менше 0,5...0,8 мм.

Для утворення на робочій поверхні деталі необхідної за величиною шорсткості її піддають дробоструминній обробці або накатці зубчастим роликком. Дробоструминну обробку виконують у спеціальній камері чавунним дротом ма-

рки ДЧК-1,5. При обробці застосовують такий режим роботи: відстань від сопла дробоструминного апарату до поверхні деталі 25...50 мм; тиск повітря 0,5...0,6 МПа, кут нахилу струменя до поверхні деталі 45°, час обробки 5...7 хв.

Накатку для утворення шорсткості застосовують при відновленні деталей з твердістю не більше НВ 350...400. Її виконують за допомогою однорядного зубчастого ролика, який встановлюють на токарному верстаті.

Після завершення підготовки деталі виконують газотермічне напилення. Відрізок часу між підготовкою і нанесенням покриття має бути мінімальним і не перевищувати 1,5...2 год.

Під час нанесення газотермічного напилення деталей закріплюють в патроні переобладнаного токарного верстату, а металізований апарат – на супорті верстату. В окремих випадках газотермічне напилення здійснюють у спеціальних камерах, які повинні мати відповідні механізми для взаємного переміщення деталі і металізатора. Пост напилення обладнують витяжною вентиляцією.

Режим напилення залежить від способу останнього. Після нанесення покриття деталей поступово охолоджують до температури навколишнього середовища і обробляють робочу поверхню до розміру, що відповідає ремонтному рисунку. Залежно від твердості покриття, точності й шорсткості робочої поверхні деталі застосовують технологічний процес обробки різанням або шліфуванням.

#### **14.10. Плазмове напилення з наступним оплавленням покриття**

Покриття, одержані шляхом плазмового напилення, мають більш високі фізико-механічні властивості, ніж покриття, нанесені іншим способом напилення. Але вони поступаються покриттям з тих же матеріалів, які одержують наплавленням.

Усі властивості плазмових покриттів можна покращити шляхом введення до технологічного процесу відновлення деталей порівняно просту за технологією операцію – оплавлення. При оплавленні покриття плавиться тільки найбільш легкоплавка складова частина сплаву. Метал деталі при цьому тільки підігрівається, але залишається в твердому стані. Рідка фаза сприяє більш інтенсивному протіканню дифузійних процесів. Внаслідок оплавлення значно підвищується міцність зчеплення покриття з робочою поверхнею деталі, збільшується механічна міцність, зникає пористість, підвищується зносостійкість покриття і спряжених з ним деталей.

Оплавлення покриття може бути здійснене ацетиленокисневим полум'ям, плазмовим струменем струму високої частоти і в нагрівальних печах. Непогані результати одержують при оплавленні струмом високої частоти, оскільки при цьому забезпечується локальне нагрівання, що не погіршує термообробку всієї деталі.

У тому випадку, якщо технічними умовами допускається загальне нагрівання, то оплавлення покриття проводять у пісковій формі в електричній нагрівальній печі. При оплавленні цим способом деталей майже не деформується, а покриття стають більш рівномірними за товщиною.

До сплавів, що підлягають оплавленню, ставлять такі вимоги: температура плавлення легкоплавкої складової частини сплаву має бути не більше 1000...1100°C; в оплавленому стані вони повинні добре змочувати підігріту поверхню деталі і володіти властивістю самофлюсування, тобто мати елемент, що флюсує. Практично всім цим вимогам у повній мірі задовольняють порошкові сплави на основі нікелю, що мають температуру плавлення 980...1050°C і містять флюсуючі елементи (бор, кремній) і 50% суміші порошків марки ПГ-СРЗ і ПГ-С1 з температурою плавлення 1080...1100°C.

Технологічний процес відновлення деталей з наступним оплавленням покриття включає такі технічні операції: шліфування деталі для забезпечення правильної геометричної форми робочої поверхні; дробоструминну обробку чавунним дротом ДЧК-1,5 під тиском повітря 0,4...0,6 МПа на відстані від поверхні деталі 20...25 мм протягом 3...5 хв.; нанесення покриття згідно з режимом, який рекомендують для плазмового напилення; оплавлення покриття за допомогою установки, що використовує струм високої частоти і працює за наступним режимом: частота струму 75...100 кГц; зазор між деталлю та індуктором 5...6 мм; частота обертання деталі 15...20 об/хв.; сила струму високого ступеня генератора струму високої частоти 5...8 А; шліфування робочої поверхні деталі до встановленого робочим рисунком розміру.

Оплавлення покриття має такі властивості:

- під час оплавлення покриття із сплаву на основі нікелю його структура стає рівномірною, складається з твердого розчину, температура плавлення якого знаходиться в межах 980...1050°C, а мікротвердість  $H_{\mu} = 2,6...2,9$  ГПа і твердих кристалів (боридів і карбідів) з мікротвердістю  $H_{\mu} = 10,0...12,0$  ГПа і температурою плавлення 1600...1700°C;



- мікротвердість оплавленого покриття, напиленого сплавом на основі нікелю залежно від наявності в ньому бора, складає HRC 35...60;
- завдяки присутності в структурі оплавленого покриття твердих кристалів його зносостійкість значно підвищується і при напиленні сплавом ПГ-СР4 перевищує в 2...3 рази зносостійкість сталі 45, загартованої до твердості HRC 54...58, при напилюванні порошковою сумішшю, що складається з 50% ПГ-СР4 і 50% ПГ-СР1 – в 5...10 разів;
- міцність зчеплення покриття з робочою поверхнею сталеві деталі після оплавлення підвищується в 8...10 разів і складає 400...450 МПа;
- втомлювана міцність деталі після оплавлення покриття підвищується на 20...25%, що пояснюється зміцнювальним впливом покриття.

Таким чином, плазмове напилення з наступним оплавленням покриття є перспективним способом відновлення деталей, бо дозволяє повернути їм не тільки властивості нових деталей, але і значно їх покращити.

Плазмовим напиленням з наступним оплавленням покриття можна відновлювати робочі поверхні деталей, які працюють в умовах значних знакозмінних і контактних навантажень.

## Список використаних джерел

1. Бондаревский Д.И., Кобозев В.М. Эксплуатация и ремонт подвижного состава городского электрического транспорта. – М.: Высшая школа, 1973. – 392 с.
2. Ремонт машин /Под ред. Тельнова Н.Ф. – М.: Агропромиздат, 1992. – 560 с.
3. Ремонт автомобилей /Под ред. Румянцева С.И. – М.: Транспорт, 1988. – 327 с.
4. Чумак М.Г. Матеріали та технологія машинобудування – К.: Либідь, 2000. – 368 с.
5. Тетянич І.К. Довідник по відновленню деталей автотракторного і силового електрообладнання – К.: Урожай, 1989. – 192 с.
6. Кулаков Б.М., Резник М.Я. Ремонт трамвайних вагонів. – М.: Транспорт, 1980. – 463 с.
7. Молодык Н.В., Зенкин А.С. Восстановление деталей машин: Справочник. – М.: Машиностроение, 1989. – 480 с.
8. Коган Л.Я. и др. Эксплуатация и ремонт троллейбусов – М.: Транспорт, 1978. – 248 с.
9. Зеркалов Д.В. Обладнання для технічного обслуговування і ремонту машин. Довідник. – К.: Урожай, 1991. – 208 с.
10. Устройство и ремонт электропоездов метрополитена / Под ред. Сементовского Э.А. – М.: Транспорт, 1991. – 335 с.
11. Хасуй А. Техника напыления. Перевод с японского. – М.: Транспорт, 1975. – 288 с.
12. Далека В.Х., Голтв'янський М.А. Ремонт транспортних засобів МЕТ. Навчальний посібник. – Харків: ХДАМГ, 2002. – 250 с.

# НАВЧАЛЬНЕ ВИДАННЯ

Андрій Віталійович **Коваленко**,  
Микола Антонович **Голтв'янський**

Конспект лекцій

з дисциплін

«Ремонт транспортних засобів»,

«Ремонт технічних засобів електричного транспорту»

Частина II

для студентів 4–5 курсів усіх форм навчання спеціальностей

7.092201 «Електричні системи і комплекси транспортних засобів»,

6.092200 «Електричний транспорт»

Відповідальний за випуск *В. Х. Далека*

Редактор *Д. Ф. Курильченко*

Комп'ютерне верстання *Н. В. Зражевська*

План 2009, поз. 78Л

---

Підп. до друку 28.12.09  
Ум. друк. арк.4,0

Формат 60×84 1/16  
Тираж 50 пр.

Друк на ризографі.  
Зам. №

Видавець і виготовлювач:

Харківська національна академія міського господарства,  
вул. Революції, 12, Харків, 61002

Електронна адреса: [rectorat@ksame.kharkov.ua](mailto:rectorat@ksame.kharkov.ua)

Свідоцтво суб'єкта видавничої справи: ДК №731 від 19.12.2001

---