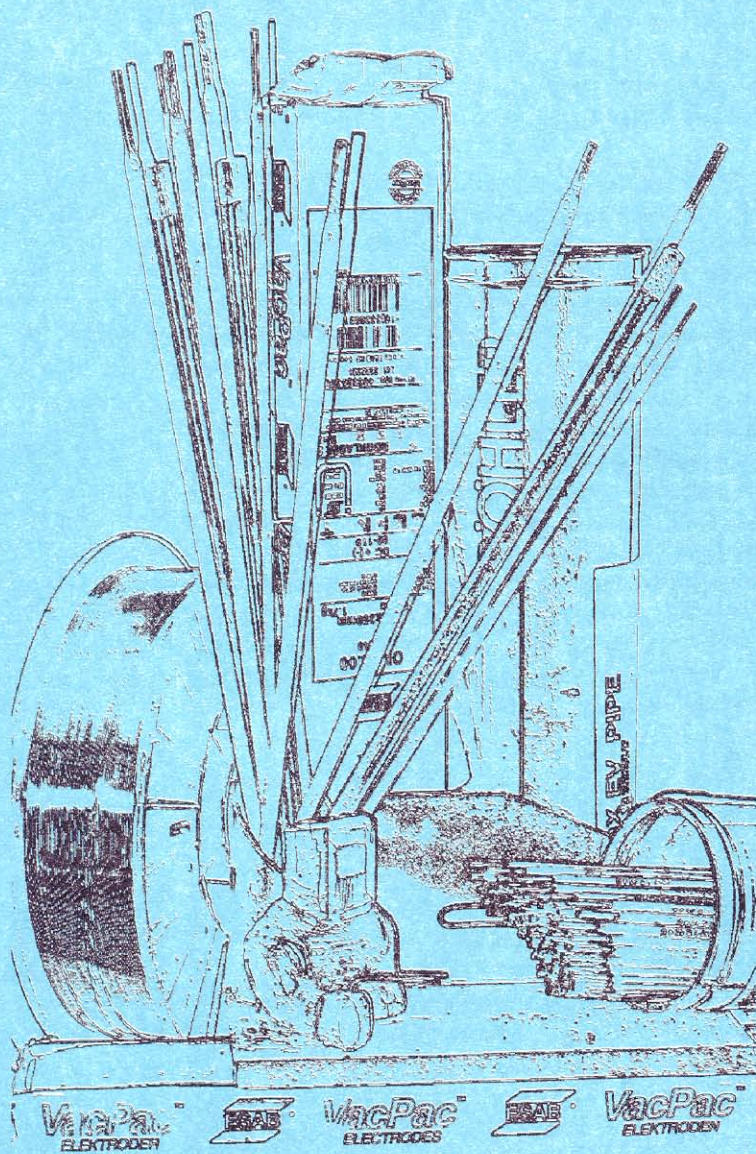


О.М. КОСТІН  
ЗВАРЮВАЛЬНІ МАТЕРІАЛИ



МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
Національний університет кораблебудування  
імені адмірала Макарова

О.М. КОСТІН

## **ЗВАРЮВАЛЬНІ МАТЕРІАЛИ**

Рекомендовано Міністерством освіти і науки України як навчальний посібник для студентів, що навчаються за напрямом 0923 "Зварювання"

МИКОЛАЇВ 2004

УДК 621.791  
ББК 30.61  
К 32

*Рекомендовано Міністерством освіти і науки України  
як навчальний посібник для студентів вищих навчальних закладів,  
лист № 14/18.2–2008 від 07.09.04 р.*

*Рецензенти:* доктор технічних наук, професор В.В. Чигарьов,  
доктор технічних наук, професор Д.І. Котельников

*Науковий редактор* доктор технічних наук, професор В.Ф. Квасницький

**Костін О.М.**

К 32 Зварювальні матеріали: Навч. посібник. – Миколаїв: НУК, 2004. –  
225 с.

ISBN 966-321-029-x

Дається загальний підхід до зварювальних матеріалів залежно від хімічного складу металу, що зварюється. Наведені рекомендації, з урахуванням вітчизняних, європейських та міжнародних класифікацій, дають можливість легко орієнтуватися у всій різноманітності зварювальних матеріалів, що пропонуються світовим співтовариством.

Посібник призначений для студентів, що навчаються за напрямом 0923 "Зварювання", а також може використовуватися інженерами та іншими фахівцями зварювального виробництва і споріднених спеціальностей.

УДК 621.791  
ББК 30.61

ISBN 966-321-029-x

© Костін О.М., 2004  
© Видавництво НУК, 2004

## ВСТУП

Підготовка фахівців за спеціальністю "Технологія та устаткування зварювання" передбачає вивчення курсу "Зварювальні матеріали". Метою курсу є оволодіння студентами знаннями, які дозволяють їм розумітися у великій кількості сучасних зварювальних матеріалів.

Правильний вибір зварювальних матеріалів є стратегічним завданням при розробці технології зварювання будь-якого об'єкта, в тому числі такого складного як сучасне судно. У зв'язку з цим в навчальному посібнику розглядаються зварювальні матеріали з урахуванням особистостей суднобудівного виробництва. Це насамперед матеріали для дугових способів зварювання та наплавлення: захисні активні та інертні гази і їх суміші, горючі гази, дроти суцільного перетину та порошкові дроти, плавлені та керамічні флюси в комбінації зі зварювальними дротами, плавкі покриті та неплавкі електроди для широкого спектру низько-, середньо- та високолегованих сталей, кольорових металів та їх сплавів, чавунів та інших конструкційних матеріалів.

Загальні металургійні та технологічні основи вибору та використання зварювальних матеріалів залежно від складу основного металу розглядаються на базі вітчизняних зварювальних матеріалів, але наведені європейські та міжнародні класифікації надають інформації універсальний характер. При цьому приділяється увага особливостям технології вироб-

ництва, транспортування та зберігання зварювальних матеріалів, а також впливу різноманітних металургійних та технологічних чинників на якість зварних з'єднань.

Посібник складається з п'яти розділів, додатку та довідкового додатку. В першому розділі описано класифікації суднобудівних сталей та зварювальних матеріалів відповідно до "Правил класифікації та побудови морських суден" Регістру Судноплавства України. Надано принципи вибору зварювальних матеріалів для виготовлення конструкцій корпусів суден. У другому розділі розглядаються плавкі покриті електроди для зварювання, наплавлення та різання, а також основні типи неплавких електродів. В третьому – розглянуто суцільні та порошкові дроти. В четвертому – описано плавлені, керамічні та плавлено-керамічні флюси для зварювання та наплавлення в комбінації з дротами. В п'ятому розділі надано інформацію стосовно захисних та горючих газів і газових сумішей. В додатку наведено хімічний склад, механічні, металургійні та технологічні властивості зварювальних матеріалів і їх призначення. В довідковому додатку наведено класифікації зварювальних матеріалів відповідно до стандартів IIW (Міжнародний інститут зварювання), ISO (Міжнародна організація зі стандартизації), EN (загальноєвропейський стандарт), а також деяких національних стандартів (AWS, DIN та ін.).

Надана широка інформація може бути використана студентами та аспірантами при виконанні курсових і дипломних проектів, атестаційних робіт, а також іншими фахівцями зварювального виробництва та споріднених спеціальностей.

## *Розділ 1. ЗВАРЮВАЛЬНІ МАТЕРІАЛИ В СУДНОБУДУВАННІ*

На суднобудівних підприємствах широко використовують "Правила класифікації та побудови морських суден" Регістру Судноплавства України, які регламентують використання суднобудівних сталей і зварювальних матеріалів для їхнього зварювання. Аналогічний підхід існує й у деяких визнаних світовим співтовариством Регістрах. Наприклад: Maritime Register of Shipping (Росія), Lloyd's Register (Англія) та ін.

### **1.1. Суднобудівні сталі**

З огляду на обмежений обсяг навчального посібника наведемо лише найбільш широко вживані категорії суднобудівних сталей. Більш докладну інформацію можна знайти в "Правилах класифікації та побудови морських суден" [17].

Суднобудівна сталь умовно поділяється на сталь нормальної міцності (з мінімальною границею текучості 235 МПа) і сталь підвищеної міцності (трьох рівнів міцності, з мінімальною границею текучості 315, 355 і 390 МПа відповідно). Крім того широко використовують сталі високої міцності (з мінімальною границею текучості 420 МПа і вище). Виплавка сталі повинна здійснюватися в мартенівських або електричних печах або в кисневому конвертері з продувкою чистого кисню зверху. Застосування інших способів виплавки сталі повинно бути узгоджене з Регістром.

При виробництві сталей застосовуються наступні процеси прокатування:

(AR) гарячекатана сталь – процес прокатування сталі при високій температурі (деформація здійснюється й закінчується в температурній області рекристалізації аустеніту, вище температури нормалізації) з наступним охолодженням на повітрі. Міцність і пластичність такої сталі звичайно нижчі, ніж у сталі після термічної або термомеханічної обробки;

(N) нормалізація – процес, що складається з нагрівання гарячекатаної

сталі вище критичної температури  $A_{c3}$  в області рекристалізації аустеніту, ближче до нижньої її границі, з наступним охолодженням на повітрі. Цей процес поліпшує властивості сталі за рахунок зменшення величини зерна;

(CR) контрольоване прокатування (нормалізоване прокатування (NR) – процес, при якому останні проходи під час прокатування виконуються в області температури нормалізації, у результаті чого одержується метал, властивості якого, в основному, відповідають властивостям після нормалізації;

(TM) термомеханічна обробка (термомеханічне контрольоване прокатування (TMCP) – процес, що передбачає суворий контроль температури й ступеню деформації під час прокатування. Як правило, метал деформується при температурах, близьких до температури  $A_{c3}$ . Закінчення деформації можливе в двофазній області. На відміну від контрольованого прокатування (нормалізованого прокатування) властивості після термомеханічної обробки не можуть бути відтворені нормалізацією або іншими видами термообробки;

(AcC) прискорене охолодження – процес, при якому забезпечується поліпшення властивостей сталі за рахунок її контрольованого охолодження зі швидкістю, більшою ніж охолодження на повітрі. Цей процес виконується безпосередньо після завершення деформації при термомеханічному процесі. Дане призначення не поширюється на пряме гартування. Застосування прискореного охолодження в комплексі з термомеханічним процесом, так само, як і відпуск після термомеханічного процесу, є в кожному випадку предметом спеціального розгляду та узгодження з Регістром.

Властивості, отримані сталлю після TM і AcC прокатування, не можуть бути відтворені при нормалізації або при інших видах термообробки.

Стан постачання сталей нормальної та підвищеної міцності повинен відповідати вимогам, наведеним у табл. 1.1 і 1.2 [17].

**Таблиця 1.1. Стан постачання сталі нормальної міцності**

Категорія	Товщина, мм	Стан постачання
А	$t \leq 50$	Будь-який
	$50 < t \leq 100$	Нормалізація (N), контрольоване прокатування (CR) або термомеханічна обробка (TM)
В	$t \leq 50$	Будь-який
	$50 < t \leq 100$	Нормалізація (N), контрольоване прокатування (CR) або термомеханічна обробка (TM)
D	$t \leq 35$	Будь-який
	$35 < t \leq 100$	Нормалізація (N), контрольоване прокатування (CR) або термомеханічна обробка (TM) <sup>1</sup>
E	$t \leq 100$	Нормалізація (N) або термомеханічна обробка (TM) <sup>1</sup>

<sup>1</sup>За спеціальним узгодженням з Регістром профільна сталь категорії D може постачатися гарячекатаною за умови задовільних результатів випробувань на ударний згин. За тих самих умов профільна сталь категорії E може постачатися гарячекатаною або після контрольованого прокатування.

Сталь, що працює при низьких температурах (до  $-50$  °C), може бути або нормалізована (N), або загартована і відпущена (T), або термомеханічно оброблена (TMCP). Стан постачання підлягає узгодженню з Регістром і позначається в сертифікаті.

Сталь високої міцності підлягає гартуванню та відпуску.

Хімічний склад сталі повинен визначатися виробником за результатами аналізу проб, відібраних з кожного ковша всіх плавок.

Хімічний склад сталі нормальної міцності повинен відповідати вимогам, наведеним в табл. 1Д<sup>2</sup>, підвищеної міцності – табл. 2Д, сталей, що використовуються при низьких температурах, – табл. 3Д, а сталей високої міцності – у табл. 1.3 [17].

Механічні властивості сталі нормальної міцності повинні відповідати вимогам, наведеним у табл. 1Д, сталі підвищеної міцності – у табл. 2Д і табл. 1.4, сталі, яка працює при низьких температурах, – табл. 1.5, а сталі високої міцності – у табл. 1.6 [17]. При позначенні категорій сталі підвищеної міцності до символу категорії може додаватися літера H, наприклад DH36.

<sup>2</sup>Тут і надалі позначення номерів таблиць з літерою "Д" означає посилання на таблиці з додатку.



Таблиця 1.2. Стан постачання сталі підвищеної міцності

Категорія	Елементи, що по-дрібнюють зерно	Товщина, мм	Стан постачання
A32 A36	Nb i/або V	$t \leq 12,5$	Будь-який
		$12,5 < t \leq 100$	Нормалізація (N), контрольоване прокатування (CR) або термомеханічна обробка (TM)
A32 A36	Al або Al i Ti	$t \leq 20$	Будь-який
		$20 < t \leq 35$	Будь-який, постачання в гарячекатаному стані (AR) вимагає спеціального узгодження
		$35 < t \leq 100$	Нормалізація (N), контрольоване прокатування (CR) або термомеханічна обробка (TM)
A40	Будь-які	$t \leq 12,5$	Будь-який
		$12,5 < t \leq 50$	Нормалізація (N), контрольоване прокатування (CR) або термомеханічна обробка (TM)
D32 D36	Nb i/або V	$t \leq 12,5$	Будь-який
		$12,5 < t \leq 100$	Нормалізація (N), контрольоване прокатування (CR) або термомеханічна обробка (TM)
D32 D36	Al або Al i Ti	$t \leq 20$	Будь-який
		$20 < t \leq 25$	Будь-який, постачання в гарячекатаному стані (AR) вимагає спеціального узгодження
		$25 < t \leq 100$	Нормалізація (N), контрольоване прокатування (CR) або термомеханічна обробка (TM)
D40	Будь-які	$t \leq 50$	Нормалізація (N), контрольоване прокатування (CR) або термомеханічна обробка (TM)
E32 E36	Будь-які	$t \leq 50$	Нормалізація (N), контрольоване прокатування (CR) або термомеханічна обробка (TM)
		$50 < t \leq 100$	Нормалізація (N), термомеханічна обробка (TM)
E40	Будь-які	$t \leq 50$	Нормалізація (N), термомеханічна обробка (TM) або гартування з відпуском (QT)

*Примітка.* За узгодженням з Регістром профільна сталь категорій A32, A36, D36 може постачатися в гарячекатаному стані за умови задовільних результатів випробувань на ударний згин; за тих самих умов профільна сталь категорій E32 і E36 може постачатися в гарячекатаному стані або після контрольованого прокатування.

**Таблиця 1.3. Хімічний склад сталей високої міцності**

Рівень міцності сталі, МПа	Категорія сталі	Вміст елементів, %, не більше					
		C	Si	Mn	P	S	N
420...690	A	0,21	0,55	1,70	0,035	0,035	0,020
	D, E	0,20			0,030	0,030	
	F	0,18		1,60	0,025	0,025	

**Таблиця 1.4. Мінімальна величина роботи удару для сталі підвищеної міцності, Дж**

Категорія сталі	Температура, °С	Товщина листа					
		$t \leq 50$ мм		$50 \text{ мм} < t \leq 70$ мм		$70 \text{ мм} < t \leq 100$ мм	
		KV <sub>L</sub> <sup>1</sup>	KV <sub>T</sub> <sup>2</sup>	KV <sub>L</sub>	KV <sub>T</sub>	KV <sub>L</sub>	KV <sub>T</sub>
A32	0						
D32	-20	31	22	38	26	46	31
E32	-40						
A36	0						
D36	-20	34	24	41	27	50	34
E36	-40						
A40	0			Не встановлюються			
D40	-20	41	27				
E40	-40						

<sup>1</sup>Для поздовжніх зразків.

<sup>2</sup>Для поперечних зразків.

**Таблиця 1.5. Механічні властивості сталі, що використовується при низьких температурах**

Категорія сталі	Мінімальна границя текучості R <sub>eH</sub> , МПа	Тимчасовий опір R <sub>m</sub> , МПа	Мінімальне відносне подовження A <sub>5</sub> , %	Випробування на ударний згин		
				Температура, °С	Мінімальна робота удару, Дж	
					KV <sub>L</sub>	KV <sub>T</sub>
F32	315	440...590	22	-60	31	22
F36	355	490...620	21	-60	34	24
F40	390	510...650	20	-60	41	27

Для вуглецевої сталі нормальної міцності сума вмісту вуглецю плюс 1/6 вмісту мангану не повинна перевищувати 0,40 %. Еквівалент вуглецю для сталі підвищеної міцності визначається при випробуваннях на допуск за даними ковшового аналізу й підраховується за формулою

$$C_{\text{екв}} = C + \frac{\text{Mn}}{6} + \frac{\text{Cr} + \text{Mo} + \text{V}}{5} + \frac{\text{Ni} + \text{Cu}}{15}.$$

Максимальне значення вуглецевого еквівалента ( $C_{екв}$ ) повинне відповідати даним табл. 1.7 [17].

Більш детальна інформація стосовно обсягу випробувань, огляду, маркування та інших вимог наведена в "Правилах класифікації та побудови морських суден" [17].

**Таблиця 1.6. Механічні властивості сталі високої міцності**

Категорія сталі	Мінімальна границя текучості $R_{eH}$ , МПа	Тимчасовий опір $R_m$ , МПа	Мінімальне відносне подовження $A_5$ , %	Випробування на ударний згин		
				Температура, °C	Мінімальна робота удару, Дж,	
					$KV_L$	$KV_T$
A420	420	530...680	18	0	42	28
D420				-20		
E420				-40		
F420				-60		
A460	460	570...720	17	0	46	31
D460				-20		
E460				-40		
F460				-60		
A500	500	610...770	16	0	50	33
D500				-20		
E500				-40		
F500				-60		
A550	550	670...830	16	0	55	37
D550				-20		
E550				-40		
F550				-60		
A620	620	720...890	15	0	62	41
D620				-20		
E620				-40		
F620				-60		
A690	690	770...940	14	0	69	46
D690				-20		
E690				-40		
F690				-60		

*Примітки.* 1. На вимогу Регістра повинно бути встановлено конкретне значення тимчасового опору на розрив. 2. Для сталі категорії А, при задовільних результатах контрольних випробувань, за погодженням з Регістром обсяг випробувань на ударний згин може бути зменшений.

**Таблиця 1.7. Вуглецевий еквівалент  $C_{екв}$  для різних категорій сталі**

Категорія сталі	Вуглецевий еквівалент (max), %	
	Товщина $t < 50$	Товщина $50 < t < 100$
A32, D32, E32, F32	0,36	0,38
A36, D36, E36, F36	0,38	0,40
A40, D40, E40, F40	0,40	–

Для оцінки схильності сталі високої міцності до виникнення холодних тріщин за результатами хімічного аналізу ковшової проби повинен визначатися коефіцієнт, що характеризує ступінь крихкості сталі внаслідок структурних перетворень, за формулою

$$P_{CM} = C + Si/30 + Mn/20 + Cu/20 + Ni/60 + Cr/20 + Mo/15 + V/10 + 5B, \% .$$

Максимальне значення  $P_{CM}$  повинне бути погоджено з Регістром і включено в схвалену ним специфікацію.

## **1.2. Зварювальні матеріали для суднобудівних сталей**

Матеріали для зварювання суднобудівної сталі нормальної міцності поділяються на категорії 1, 2, 3, суднобудівної сталі підвищеної міцності – на категорії 1Y, 2Y, 3Y, суднобудівної сталі високої міцності – на категорії 3Y<sub>xx</sub>, 4Y<sub>xx</sub>, 5Y<sub>xx</sub> (індекс "xx" використовується для позначення однієї із шести груп міцності наплавленого металу та зварного з'єднання), а для суднобудівної сталі, що працює при низьких температурах – на категорії 5Y, 5Y<sub>xx</sub>.

Залежно від галузі схвалення зварювальних матеріалів їх умовне позначення повинне містити наступні індекси:

**T** – схвалення зварювальних матеріалів для двопрохідної технології. Остання передбачає зварювання в один прохід з кожного боку шва, в тому числі однопрохідну однобічну зі зворотним формуванням, і власне двопрохідну двосторонню без підварки та зачищення кореня шва;

**M** – схвалення зварювальних матеріалів для багатопрохідної технології;

**TM** – схвалення зварювальних матеріалів для двопрохідної і багатопрохідної технологій;

S – схвалення зварювальних матеріалів для механізованого зварювання;

V – схвалення зварювальних матеріалів для електрошлакового або для газоелектричного зварювання.

Механічні властивості і робота удару KV наплавленого металу повинні відповідати вимогам табл. 4Д і 5Д, зварного з'єднання – табл. 6Д і 7Д для відповідної категорії зварювальних матеріалів.

Залежно від вмісту дифузійного водню в наплавленому металі зварювальним матеріалам можуть бути привласнені Регістром індекси Н, НН або ННН згідно з табл. 1.8 [17]. Метод визначення вмісту водню повинен бути зазначений у протоколі випробувань. Кількість дифузійного водню розраховується для стандартних умов за температурою та тиском.

**Таблиця 1.8. Вміст водню в наплавленому металі залежно від індексу зварювальних матеріалів (не більше  $\text{см}^3/100$  г наплавленого металу)**

Індекс вмісту водню	Метод визначення	
	Вакуумний	Гліцериновий
Н	15	10
НН	8	5
ННН	5	Не застосовується

Зварювальні матеріали будь-якої категорії, якщо вони призначаються для зварювання сталі нормальної міцності, що містить 0,22 % і більше вуглецю, або зварювання подібної сталі з іншими сталями, а також для зварювання сталі підвищеної міцності, повинні забезпечувати відсутність холодних тріщин у металі шва й у зварному з'єднанні під час зварювання за температури не нижче  $-25$  °С. Вміст сірки та фосфору в наплавленому металі при цьому повинен бути не більше 0,03 % кожного.

Класифікаційний індекс зварювальних матеріалів сталей високої міцності повинен відповідати НН для категорій 3Y42...3Y50, 4Y42...4Y50, 5Y42...5Y50; ННН для категорій 3Y55...3Y69, 4Y55...4Y69, 5Y55...5Y69.

Загалом для зварювальних матеріалів повинно бути визначено механічні властивості наплавленого металу та зварного з'єднання проти утворення гарячих тріщин при зварюванні таврової проби.

За додатковими вимогами визначаються: вміст дифузійного водню у наплавленому металі, стійкість металу шва та зварного з'єднання проти утворення холодних тріщин, стійкість зварного з'єднання проти корозії у морській воді та ін.

Обсяг випробувань визначається "Правилами класифікації та побудови морських суден" [17].

### **1.3. Вибір зварювальних матеріалів для суднобудівних сталей**

Призначення категорії зварювальних матеріалів для зварювання конструкцій зі сталей нормальної та підвищеної міцності регламентовані Регістром (табл. 1.9) [17]. При цьому слід керуватися наступними вимогами:

для виконання зварних з'єднань, у яких сталь нормальної міцності зварюється із сталлю підвищеної міцності, можуть застосовуватися зварювальні матеріали, що відповідають нижчій категорії з тих, які допускаються відповідно до вимог табл. 1.9 та цього пункту для кожної сталі окремо (наприклад, у зварному з'єднанні сталей категорії D та E32 можуть використовуватися зварювальні матеріали категорії 2);

для виконання зварних з'єднань, у яких зварюються сталі з однаковим рівнем міцності, але з різними вимогами до температури випробувань на ударний згин, можуть застосовуватися зварювальні матеріали нижчої категорії з тих, які допускаються відповідно до вимог табл. 1.9 для кожної сталі окремо (наприклад, для зварного з'єднання сталей категорій D32 та E32 можуть використовуватися зварювальні матеріали категорії 2Y);

для виконання зварних з'єднань зі сталей підвищеної міцності повинні застосовуватися зварювальні матеріали з контрольованим вмістом дифузійного водню;

зварювальні матеріали, обрані за табл. 1.9, можуть бути призначені також і для зварювання іншої, ніж передбачено зазначеною таблицею сталі, якщо за механічними властивостями та хімічним складом ця сталь еквівалентна сталі, для якої був схвалений даний зварювальний матеріал.

**Таблиця 1.9. Призначення категорій зварювальних матеріалів для сталей нормальної та підвищеної міцності**

Категорія зварювальних матеріалів	Суднобудівна сталь											
	Нормальної міцності				Підвищеної міцності							
	A	B	D	E	A32, A36	D32, D36	E32, E36	F32, F36	A40	D40	E40	F40
1, 1S, 1T, 1M, 1TM, 1V	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1YS, 1YT, 1YM, 1YTM, 1YV	+	-	-	-	+ <sup>1</sup>	-	-	-	-	-	-	-
2, 2S, 2T, 2M, 2TM, 2V	+	+	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2Y, 2YS, 2YT, 2YM, 2YTM, 2YV	+	+	+	-	+	+	-	-	-	-	-	-
2Y40, 2Y40S, 2Y40T, 2Y40M, 2Y40TM, 2Y40V	2				+	+	-	-	+	+	-	-
3, 3S, 3T, 3M, 3TM, 3V	+	+	+	+	-	-	-	-	-	-	-	-
3Y, 3YS, 3YT, 3YM, 3YTM, 3YV	+	+	+	+	+	+	+	-	-	-	-	-
3Y40, 3Y40S, 3Y40T, 3Y40M, 3Y40TM, 3Y40V	2				+	+	+	-	+	+	+	-
4Y, 4YS, 4YT, 4YM, 4YTM, 4YV	+	+	+	+	+	+	+	+	-	-	-	-
4Y40, 4Y40S, 4Y40T, 4Y40M, 4Y40TM, 4YV	2				+	+	+	+	+	+	+	+

<sup>1</sup>Застосування для зварювання сталей підвищеної міцності зварювальних матеріалів категорії 1Y допускається тільки для з'єднань з товщиною металу до 25 мм включно.

<sup>2</sup>Застосування для зварювання сталей нормальної міцності категорії А, В, D, Е зварювальних матеріалів, що отримали схвалення для відповідних категорій сталей А40, D40, E40, і/або F40, можливо тільки на підставі спеціального дозволу Регістра для конкретних марок зварювальних матеріалів.

Електроди з рутиловим покриттям не повинні застосовуватися для зварювання таких з'єднань:

монтажних стиків між секціями;

усіх стиків і пазів льодового поясу зовнішньої обшивки;

стиків балок поздовжнього набору;

стикових з'єднань суднового корпусу товщиною більше ніж 20 мм;

масивних виробів (ахтерштевня, форштевня тощо), а також стикових з'єднань, що зварюються в умовах жорсткого контуру (контур вважається жорстким, якщо відношення найменшого розміру контуру до товщини листа менше 60).

Електроди з кислим покриттям не повинні застосовуватися для зварювання конструкцій корпусу судна.

Призначення категорій зварювальних матеріалів для зварювання конструкцій зі сталей високої міцності регламентовано Регістром відповідно до вимог табл. 1.10 і 1.11 [17]. При цьому слід керуватися наступними обмеженнями та вимогами:

для зварних з'єднань високоміцних сталей є небажаним застосування одно- та двопрхідної технологій зварювання;

для зварних з'єднань високоміцних сталей є небажаним застосування електрошлакового та газоелектричного зварювання;

для зварних з'єднань високоміцних сталей є небажаним застосування багатодугового та однобічного зварювання на різних типах підкладок;

електроди з рутиловим і кислим покриттям не повинні застосовуватися для зварювання конструкцій зі сталей високої міцності;

застосування для зварювання сталей високої міцності зварювальних матеріалів усіх категорій можливе тільки для з'єднань з товщиною основного металу не більше, ніж 70 мм.

Схвалення застосування перелічених технологій зварювання можливе тільки на підставі додаткових випробувань за спеціально узгодженою з Регістром програмою.

Призначення категорії зварювальних матеріалів для зварювання



конструкцій зі сталей, що працюють при низьких температурах регламентовано Регістром відповідно до вимог табл. 1.12 [17].

**Таблиця 1.10. Призначення категорій зварювальних матеріалів для сталей високої міцності за температурою випробувань на ударний згин**

Ідентифікація категорій зварювальних матеріалів за температурою випробувань	Ідентифікація категорій високоміцних сталей за температурою випробувань на ударний згин			
	A(420/690)	D(420/690)	E(420/690)	F(420/690)
3Y (42/69)	+	+	–	–
4Y (42/69)	+	+	+	–
5Y (42/69)	+	+	+	+

**Таблиця 1.11. Призначення категорій зварювальних матеріалів для сталей високої міцності за рівнем міцності**

Ідентифікація зварювальних матеріалів за рівнем міцності	Ідентифікація категорій високоміцних сталей за рівнем міцності					
	(A/F)420	(A/F)460	(A/F)500	(A/F)550	(A/F)620	(A/F)690
(3Y/5Y)42	+	–	–	–	–	–
(3Y/5Y)46	+	+	–	–	–	–
(3Y/5Y)50	+	+	+	–	–	–
(3Y/5Y)55	–	–	+	+	–	–
(3Y/5Y)62	–	–	–	+	+	–
(3Y/5Y)69	–	–	–	–	+	+

**Таблиця 1.12. Призначення категорій зварювальних матеріалів для сталей, що працюють при низьких температурах**

Категорія зварювального матеріалу	Категорія суднобудівної сталі		
	F32	F36	F40
4Y, 4YS, 4YT, 4YTM, 4YV	+	+	–
4Y40, 4Y40S, 4Y40T, 4Y40M, 4Y40V	+	+	+
5Y, 5YS, 5YT, 5YM, 5YTM, 5YV <sup>1</sup>	+	+	–
5Y40, 5Y40S, 5Y40T, 5Y40M, 5Y40TM, 5Y40V <sup>1</sup>	+	+	+
4Y42, 4Y42S, 4Y42M	–	+	+
5Y42, 5Y42S, 5Y42M <sup>1</sup>	–	+	+
4Y46, 4Y46S, 4Y46M	–	+ <sup>2</sup>	+
5Y46, 5Y46S, 5Y46M	–	+ <sup>2</sup>	+

<sup>1</sup>Залежно від ступеня відповідальності та умов експлуатації конструкцій Регістр може призначити більш високу категорію зварювальних матеріалів (наприклад, 5Y замість 4Y або 5Y40 замість 4Y40).

<sup>2</sup>Застосування зварювальних матеріалів категорій 4Y46 і 5Y46, призначених для зварювання сталей високої міцності, підлягає додатковому узгодженню з Регістром.

Таким чином, можливо отримати метал шва визначеної категорії, використовуючи різні способи зварювання та різноманітні комбінації зварювальних матеріалів. У виробника в даному випадку з'являються досить суттєві можливості варіювання за продуктивністю процесу зварювання, собівартістю, ступенем механізації та іншими металургійними, технологічними та економічними показниками. У зв'язку з цим визначення способів зварювання та комбінацій зварювальних матеріалів для конкретної конструкції, тим більше такої складної як сучасне судно, є непростим інженерним завданням. Крім того, це ускладнюється тим, що на світовому ринку є велика кількість виробників зварювальних матеріалів, які пропонують широкий вибір продукції за вартістю та якістю.

В табл. 8Д–10Д, в якості прикладу, наведено можливі варіанти вибору електродів, комбінації "зварювальний дріт–флюс" та "зварювальний дріт–захисний газ" для деяких категорій зварювальних матеріалів, що використовують для зварювання конструкцій корпусів суден. Крім того, треба пам'ятати, що зварювальні матеріали від різних виробників мають неоднакові обмеження за родом зварювального струму, просторовим положенням зварювання, умовами зберігання та іншими технологічними показниками. У зв'язку з цим треба проявити значну наполегливість і терпіння для того, щоб визначити оптимальну комбінацію зварювальних матеріалів.

## **Розділ 2. ЕЛЕКТРОДИ ДЛЯ ЗВАРЮВАННЯ, НАПЛАВЛЕННЯ ТА РІЗАННЯ**

### **2.1. Класифікація зварюваності сталей**

Вибір електродів залежить в першу чергу від властивостей зварюваного металу, які визначають його технологічну зварюваність. Технологічна зварюваність – комплексна характеристика металу, яка відбиває його реакцію на процес зварювання та визначає його відносну придатність для отримання зварних з'єднань з заданими характеристиками. Поняття технологічної зварюваності наведено в ДСТУ 3761.3–98.

Головним фактором, від якого залежить зварюваність сталі, є її хімічний склад. Крім того, суттєво впливають ліквіація шкідливих домішок (сірка, фосфор), насиченість газами та засміченість неметалевими включеннями, схильність до росту зерна при перегріві, чутливість до концентратів напружень, термічного старіння, утворення гарячих та холодних тріщин, перехідна температура крихкості та інші металургійні й технологічні чинники [5].

Всі марки сталей в промисловості залежно від якісної оцінки зварюваності поділяють на наступні групи:

добра зварюваність (коли в заданих технологічних та конструктивних умовах задовольняються необхідні експлуатаційні властивості зварних з'єднань);

задовільна зварюваність (коли забезпечуються експлуатаційні властивості з'єднань певним вибором раціонального режиму зварювання та його дотриманням в процесі виготовлення виробу);

обмежена зварюваність (коли необхідно використовувати спеціальні технологічні заходи або змінювати спосіб зварювання);

незадовільна зварюваність (коли при всіх прийнятих спеціальних технологічних заходах не досягаються необхідні експлуатаційні властивості зварних з'єднань).

Найбільш розповсюджені марки сталей розбито залежно від їх структурного стану на наступні основні класи:

перлітні (вуглецеві та низьколеговані);

феритні, мартенситно-феритні та мартенситні (високохромисті);

аустенітні та ферито-аустенітні (хромонікелеві).

Кожен клас, в свою чергу, поділено на групи, які об'єднують сталі з відносно близькими властивостями, службовими характеристиками та зварюваністю.

Високохромисті сталі (другий структурний клас) мають однофазну мартенситну та феритну структуру або проміжну двофазну ферито-мартенситну структуру залежно від вмісту в них вуглецю та хрому.

Хромонікелеві сталі (третій структурний клас) мають переважно аустенітну структуру, яка зберігається при швидкому охолодженні з високих температур. При зварюванні хромонікелевих сталей потрібно забезпечувати вміст феритної фази в зварних швах не менше 2...3 %. В іншому випадку не забезпечується стійкість проти утворення гарячих тріщин.

Всі елементи, які входять до складу високолегованих сталей, розподілено на дві основні групи: аустенітоутворюючі (C, N, Ni, Mn, Cu, Co та ін.) та феритоутворюючі (Cr, Si, Mo, V, Nb, Ti, W, Al та ін.). Залежно від співвідношення в металі шва аустеніто- та феритоутворюючих елементів може створюватись однофазна структура (аустенітна, феритна, мартенситна) або двофазна (аустенітно-феритна, аустенітно-мартенситна, мартенситно-феритна та ін.).

Для приблизної оцінки вмісту фериту в зварних швах та наплавленому металі використовують діаграму, запропоновану Шефлером (рис. 2.1), й емпіричні формули еквівалентних значень хрому ( $Cr_{екв}$ ) і нікелю ( $Ni_{екв}$ ):

$$Cr_{екв} = \% Cr + \% Si \cdot 1,5 + \% Nb \cdot 0,5 + \% Mo + \% V \cdot 0,8 + \% Ti \cdot 4,0;$$

$$Ni_{екв} = \% Ni + \% C \cdot 30 + \% Mn \cdot 0,5.$$

За розрахованими значеннями еквівалентів хрому та нікелю визначають за діаграмою Шефлера структурний стан наплавленого металу та металу зварного шва. Точність визначення феритної фази складає  $\pm 4$  %.

Необхідно відзначити, що діаграма Шефлера не враховує вплив азоту при зварюванні на величину еквівалента нікелю. Цей вплив враховано Делонгом, який визначив аустенізауючу здатність азоту як однакову з вуглецем (% N·30). У зв'язку з цим за діаграмою Делонга (рис. 2.2) отримують кількість феритної фази дещо меншу, ніж за діаграмою Шефлера. Точність визначення фериту за діаграмою Делонга складає  $\pm 2\%$ .

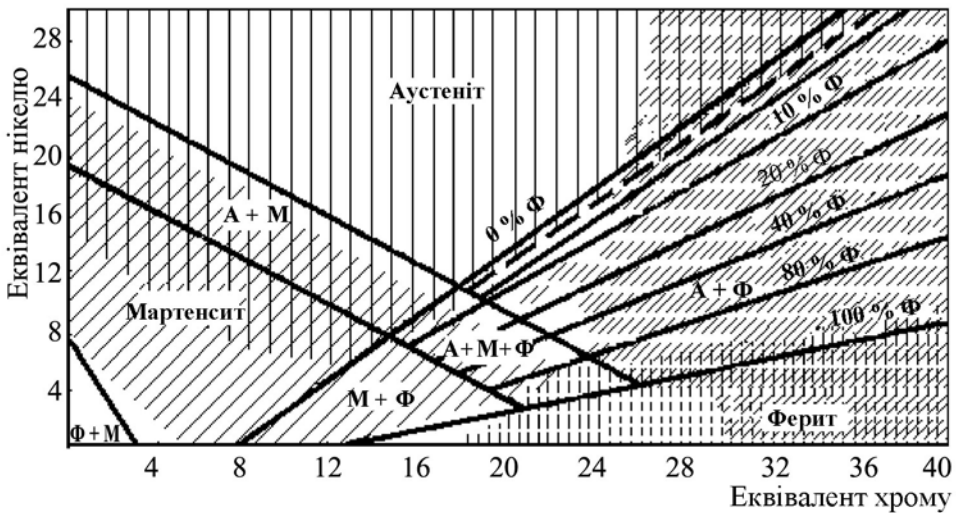
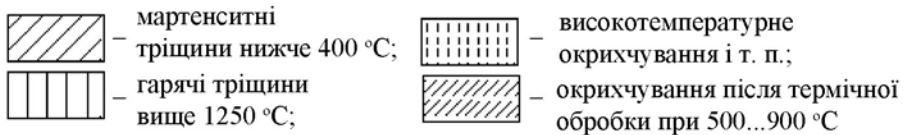


Рис.2.1. Діаграма Шефлера:



Високолеговані сталі відповідно до ГОСТ 5632–72 поділяють на не-ржавіючі, кислотостійкі, жаростійкі та жароміцні різного структурного класу.

Наведена класифікація високолегованих сталей за службовими характеристиками досить умовна, але в першому приближенні з достатньою для практики точністю може бути використана для раціонального вибору електродів при зварюванні відповідальних конструкцій.

Для визначення здатності металів до зварювання існує багато розрахункових та експериментальних методів [7, 9].

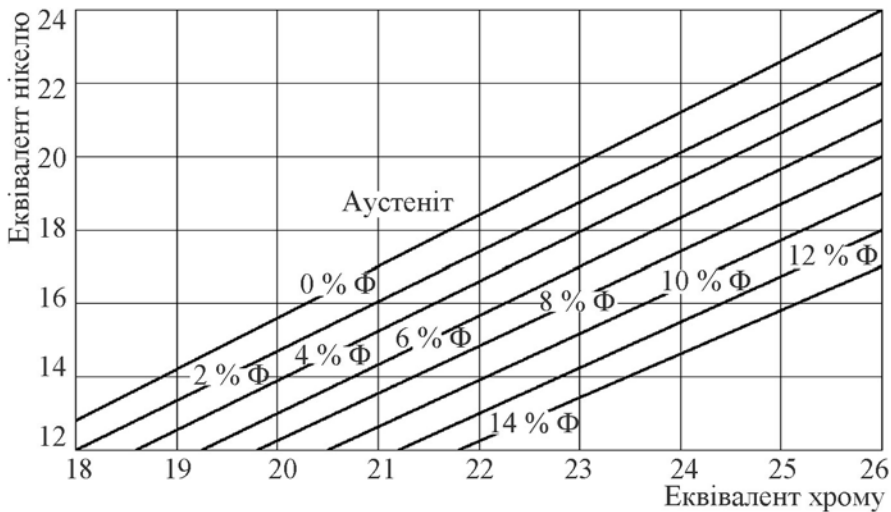


Рис.2.2. Діаграма Делонга

## 2.2. Класифікація покритих металевих електродів

Покриті металеві електроди для зварювання та наплавлення сталей систематизуються і позначаються відповідно до ГОСТ 9466–75 "Електроди покриті металеві для ручного дугового зварювання сталей і наплавлення. Класифікація, розміри і загальні технічні вимоги". Цей документ в значному ступені вже застарілий і не відповідає стану сучасного виробництва. Настала необхідність вдосконалити цей стандарт відповідно до вимог стандартів EN та ISO.

Структура умовного позначення вітчизняних електродів складається із двох рядків (рис. 2.3). При цьому в умовному позначенні електродів для зварювання вуглецевих та низьколегованих сталей, що мають границю міцності  $\sigma_b$  до 590 МПа після букви Е тире не ставлять.

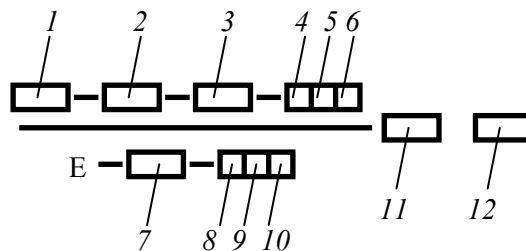


Рис. 2.3. Умовне позначення електродів за ГОСТ 9466–75

У верхньому рядку наводять паспортні дані електродів: 1 – тип за відповідним стандартом; 2 – позначення марки; 3 – діаметр, мм; 4 – призначення (літера У показує призначення для зварювання вуглецевих і низьколегованих конструкційних сталей з тимчасовим опором розриву до 590 МПа; Л – для зварювання легованих конструкційних сталей з тимчасовим опором розриву понад 590 МПа; Т – для зварювання легованих теплозміцнених сталей; В – для зварювання високолегованих сталей з особливими властивостями; Н – для наплавлення поверхневих шарів з особливими властивостями); 5 – позначення товщини покриття (літера М означає тонке покриття ( $D/d \leq 1,20$ ); С – середнє ( $1,20 < D/d \leq 1,45$ ); Д – товсте ( $1,45 < D/d \leq 1,80$ ); Г – особливо товсте ( $D/d > 1,80$ ), де  $D$  – діаметр електрода разом з покриттям;  $d$  – діаметр металевого дроту); 6 – група електродів за якістю виготовлення, яка показує вміст фосфору та сірки: групи 1, 2, 3 (в останній час не використовують (див. нижче)).

У нижньому рядку наводиться кодоване умовне позначення електродів відповідно до рекомендацій системи ISO. Код починається з літери Е (електрод), після якої вказуються наступні показники: 7 – група індексів, які характеризують механічні властивості наплавленого металу відповідно до ГОСТ 9467–75, ГОСТ 10051–75, ГОСТ 10052–75; 8 – позначення виду покриття (кисле – А, основне – Б, целюлозне – Ц, рутилове – Р, змішаному відповідає подвійне позначення (наприклад, РБ, РА, РЦ і т. п.), інше – П); 9 – позначення припустимого просторового положення при зварюванні або наплавленні: для всіх положень – 1; для всіх положень, крім вертикального "зверху–вниз", – 2; для нижнього, горизонтального на вертикальній площині і вертикального "знизу–вгору" – 3; для нижнього та нижнього "у човник" – 4; 10 – позначення роду струму, полярності постійного струму і номінальної напруги холостого ходу джерела живлення зварювальної дуги змінного струму частотою 50 Гц (відповідно до табл. 2.1 [18]); 11 – позначення дійсного стандарту; 12 – позначення стандарту на типи електродів.

Електроди поділяють на типи відповідно до ГОСТ 9467–75, ГОСТ 10051–75, ГОСТ 10052–75.

**Таблиця 2.1. Класифікація електродів за родом струму**

Рекомендована полярність постійного струму	Напруга холостого ходу джерела змінного струму, В		Позначення
	номінальна	гранична	
Зворотна	–	–	0
Будь-яка Пряма Зворотна	50	±5	1
			2
			3
Будь-яка	70	±10	4
			5
			6
Пряма	90	±5	7
			8
			9

ГОСТ 9467–75 встановлює типи електродів: Э38, Э42, Э46, Э50 або Э42А, Э46А, Э50А для зварювання вуглецевих і легованих конструкційних сталей з границею міцності  $\sigma_b < 500$  МПа. Літера А показує, що електроди забезпечують високу пластичність та ударну в'язкість металу шва. Для зварювання сталей з границею міцності  $\sigma_b > 500$  МПа використовують електроди типів Э55, Э60, Э60А, а для зварювання легованих конструкційних сталей підвищеної міцності з  $\sigma_b > 600$  МПа – електроди типів Э70, Э85, Э100, Э125, Э150.

За механічними властивостями наплавленого металу електродам для зварювання вуглецевих та легованих конструкційних сталей присвоюють індекси відповідно до табл. 2.2 [5]. Наприклад: Е 513, де перші дві цифри показують мінімальну границю міцності наплавленого металу ( $\sigma_b \geq 510$  МПа), а остання – мінімальну температуру ( $-20$  °С), при якій забезпечується ударна в'язкість  $KCV = 34$  Дж/см<sup>2</sup>.

Для зварювання легованих теплотривких сталей в позначку типів електродів входить марка електродного дроту, наприклад: Э-09МХ, Э-09Х2М1, Э-10Х1М1НФБ, та інші (всього 9 типів). За механічними вла-



стивостями наплавленого металу електродам цієї групи надають індекси відповідно до табл. 2.3 [5]. Наприклад: E-14, де перша цифра показує мінімальну температуру(+20 °С), при якій забезпечується ударна в'язкість  $KCV = 34 \text{ Дж/см}^2$ , а друга – максимальну робочу температуру, за якої регламентується тривала міцність наплавленого металу (510...525 °С).

**Таблиця 2.2. Група індексів, які визначають механічні властивості наплавленого металу при зварюванні вуглецевих та легованих конструкційних сталей відповідно до ГОСТ 9467-75**

Позначення індексів електроду	Мінімальні механічні властивості наплавленого металу		Мінімальна температура при $KCV = 34 \text{ Дж/см}^2$		
	$\sigma_b$ , МПа	$\delta$ , %	Індекс	°С	
E 410   E 430	410	430	20	0	не регламентується
E 411   E 431			20	1	+20
E 412   E 432			22	2	0
E 413   E 433			24	3	-20
E 414   E 434				4	-30
E 415   E 435				5	-40
E 416   E 436				6	-50
E 417   E 437			7	-60	
E 510	510		18	0	Не регламентується
E 511			18	1	+20
E 512			18	2	0
E 513			20	3	-20
E 514			20	4	-30
E 515			20	5	-40
E 516			20	6	-50
E 517			20	7	-60

**ГОСТ 10052-75** встановлює типи електродів для зварювання корозійностійких, жароміцних високолегованих сталей мартенситно-феритного, аустенітно-феритного та аустенітного класів. Всього 49 типів. У позначення типу електроду входить марка електродного дроту, наприклад: Э-12Г2, Э-10Х17Т, Э-10Х16Н4Б, Э-04Х10Н60М24 та ін.

**Таблиця 2.3. Групи індексів, які визначають механічні властивості наплавленого металу при зварюванні легованих теплотривких сталей відповідно до ГОСТ 9467–75**

Мінімальна температура при KCV = 34 Дж/см <sup>2</sup>		Максимальна робоча температура, при якій регламентується тривала міцність наплавленого металу	
Індекс	°C	Індекс	°C
0	Не регламентується	0	Менше 450
1	+20	1	450...465
2	0	2	470...485
3	-20	3	490...505
4	-30	4	510...525
5	-40	5	530...545
6	-50	6	550...565
7	-60	7	570...585
–	–	8	590...600
–	–	9	Більше 600

За механічними властивостями наплавленого металу при зварюванні високолегованих сталей електродам надають індекси відповідно до табл. 2.4 [5]. Наприклад: E-2 45 3, де перша цифра показує метод випробувань, за яким визначається стійкість наплавленого металу проти міжкристалітної корозії (метод АМ–АМУ); наступні дві цифри визначають максимальну робочу температуру за жароміцністю (610...650 °C) та жаростійкістю (760...800 °C); остання цифра вказує вміст феритної фази в наплавленому металі (2,0...5,5 %).

Методи визначення стійкості високолегованих сталей проти міжкристалітної корозії визначаються за ГОСТ 6032–89. Методи випробувань мають літерне позначення. Літерою А позначають метод, при якому зразки витримують у киплячому водному розчині сірчаноокислотної міді та сульфатної кислоти; літерою Б – при якому виконують анодне травлення в водному розчині інгібованої сульфатної кислоти, літерою В – при якому зразки витримують в киплячому водному розчині сірчаноокислотної міді та сульфатної кислоти з додаванням цинкового порошку; літерою Д – при якому зразки витримують в киплячому водному розчині азотної кислоти. Крім цього, до основної літери додають літеру М, якщо в розчині

при випробуваннях присутня металева мідь, літеру Ф – іони фтору, літеру У, якщо проводять прискорені випробування. Окремо позначаються літерами ТЦК додаткові випробування травленням в щавлевій кислоті.

**Таблиця 2.4. Група індексів, які визначають механічні властивості наплавленого металу при зварюванні високолегованих сталей відповідно до ГОСТ 10052–75**

**Е-2 45 3**

Стойкість проти міжкристалітної корозії за ГОСТ 6032–89		Ін-декс	Максимальна робоча температура (°С) за		Вміст феритної фази в наплавленому металі	
			жароміцністю	жаростійкістю	Ін-декс	%
Індекс	Метод випробувань	0	Не регламентується	Не регламентується	0	Не регламентується
	0	Не регламентується	1	менше 500	менше 600	1
1	А	2	510...550	610...650	2	2,0...4,0
2	АМ–АМУ	3	560...600	660...700	3	2,0...5,5
3	Б	4	610...650	710...750	4	2,0...8,0
4	В–ВУ	5	660...700	760...800	5	2,0...10,0
5	Д	6	710...750	810...900	6	4,0...10,0
		7	760...800	910...1000	7	5,0...15,0
		8	810...850	1010...1100	8	10,0...20,0
		9	більше 850	більше 1100		

**ГОСТ 10051–75** установлює 44 типи покритих металевих електродів для ручного дугового наплавлення поверхонь з особливими властивостями. Наприклад: Э-10Г2, Э-35Г6, Э80Х4С, Э-200Х29Н6Г2 та ін.

За механічними властивостями наплавленого металу електродам цієї групи надають індекси відповідно до табл. 2.5 [5]. Наприклад: Е-300/32-1, де ліворуч від риски індекс показує твердість за Вікерсом (275...324 НV), праворуч – за Роквелом (29...35 НRС), остання цифра показує, що наплавлений метал забезпечує потрібні властивості поверхонь без термічної обробки.

Електроди поділяють також на марки за технічними умовами та паспортами. Наприклад: УОНИ-13/45, ЦЛ-33, ЭА-400/10 та ін. Кожному типу електродів може відповідати одна або декілька марок. Приклад умовного позначення електродів типу Э46А за ГОСТ 9467–75, марки УОНИ-13/45, діаметром 3 мм, для зварювання вуглецевих і низьколегованих сталей (У), з товстим покриттям (Д), 2-ї групи, зі встановленою за ГОСТ 9467–75 групою індексів, що визначають характеристики наплавленого металу, з основним покриттям (Б), для зварювання в усіх просторових положеннях (1) на постійному струмі зворотної полярності (0):

Э46-УОНИ 13/45-3,0-УД2

ГОСТ 9466–75; ГОСТ 9467–75;

Е43 2(5)-Б10

у документації: електроди УОНИ-13/45-3,0-УД2, ГОСТ 9466–75.

**Таблиця 2.5. Група індексів, які визначають механічні властивості металу при наплавленні поверхневих шарів з особливими властивостями відповідно до ГОСТ 10051–75**

**Е-300/32-1**

Твердість наплавленого металу						Ін-декс	Наявність термічної обробки
HV	HRC	Індекс <sup>1</sup>	HV	HRC	Індекс <sup>1</sup>		
175...224	13...21	200/17	675...724	58	700/58	1	Без термо-обробки
225...274	22...28	250/25	725...774	59...60	750/60		
275...324	29...35	300/32	775...824	61	800/61	2	Після термообробки
325...374	36...38	350/37	825...874	62...63	850/62		
375...424	39...43	400/41	875...924	64	900/64		
425...474	44...47	450/45	925...974	65	950/65		
475...524	48	500/48	975...1024	66...67	1000/66		
525...574	49...51	550/50	1025...1074	68	1050/68		
575...624	52...54	600/53	1075...1124	69	1100/69		
625...674	55...57	650/56	1125...1174	70...71	1150/70		

<sup>1</sup> Ліворуч від риски середня твердість за Вікерсом, праворуч – за Роквелом.

Треба відзначити, що схильність зварних з'єднань до утворення холодних та гарячих тріщин у великій мірі залежить від вмісту в них водню та шкідливих домішок (сірки, фосфору). У зв'язку з цим електроди поді-

ляються за даними показниками на чотири класифікаційних рівні: з високим, середнім, низьким та особливо низьким вмістом водню та шкідливих домішок, які, в основному, визначаються видом покриття, а також технологією виготовлення електродів (табл. 2.6) [5]. Крім того, вміст водню в покритті залежить від умов зберігання електродів та температури їх прожарювання. Вміст водню визначають за ГОСТ 23338–78.

**Таблиця 2.6. Класифікація електродів за вмістом в наплавленому металі водню, сірки та фосфору**

Найменування рівня (індекс)	Вид покриття та вміст водню, см <sup>3</sup> /100 г	Вид покриття залежно від вмісту S та P
Високий (без індексу)	Рутилове, целюлозне (більше 15)	Кисле з вмістом великої кількості рудних компонентів
Середній (15Н)	Основне при вологості покриття більше 0,5 % (від 10 до 15)	Рутилове, целюлозне
Низький (10Н)	Основне при вологості покриття менше 0,5 % (від 5 до 10)	Основне
Особливо низький (5Н)	Основне при вологості покриття менше 0,1 % (до 5)	Основне (із дротом Св-08АА)

Класифікація електродів за вмістом водню в наплавленому металі суттєво полегшує їх вибір при розробці технологічних процесів зварювання конструкцій зі сталей різних класів та рівнів міцності. Однак ця класифікація і досі не введена до ГОСТ 9466–75.

Вимоги до покритих електродів для ручного дугового зварювання чавуну та кольорових металів державними стандартами не регламентовані, і всі позначені електроди виготовляють за паспортами або технічними умовами конкретних марок.

У довідковому додатку для порівняння наведені класифікації електродів для зварювання та наплавлення різних класів матеріалів відповідно до стандартів ISO, EN, DIN та AWS.

### 2.3. Загальні принципи вибору та використання електродів

При ручному дуговому зварюванні сталей електроди повинні забезпечувати [5] такі вимоги:

суцільність швів (відсутність пор та шлакових включень);

достатню технологічну міцність;

необхідну експлуатаційну міцність (достатній рівень механічних властивостей металу шва та зварного з'єднання);

отримання комплексу спеціальних властивостей металу шва (жароміцність, жаростійкість та ін.);

необхідну технологічність (універсальність, зварювання в різних просторових положеннях, продуктивність праці та ін.);

задовільні санітарно-гігієнічні характеристики.

Принциповий технологічний процес виготовлення покритих електродів складається з наступних операцій [18]:

виготовлення заготовок електродів зі зварювального дроту;

переробка твердих компонентів покриття для забезпечення необхідного гранулометричного складу. Операції, які виконують залежно від вигляду та стану компонентів: промивання, середнє подрібнення, сушіння, тонке подрібнення, просіювання, пасивування та ін.;

приготування рідкого скла (промивання та подрібнення силікатної глиби, її варіння у воді та охолодження розчину з наступним фільтруванням або відстоюванням);

приготування сухої шихти (зважування компонентів за визначеною рецептурою та їхнє наступне перемішування в сухому вигляді);

приготування маси покриття (додавання в суху шихту заданої кількості рідкого скла та пластифікаторів, перемішування мокрої суміші та її наступне брикетування);

виготовлення покритих електродів;

сушіння та прожарювання покритих електродів;

пакування електродів;  
контроль якості готових електродів.

Металургійні та технологічні властивості електродів залежать від марки електродного дроту, а також співвідношення компонентів електродного покриття, які поділяються на наступні групи:

руди та мінерали;  
метали та феросплави;  
хімічні з'єднання (неорганічні);  
органічні речовини.

Кожен компонент покриття може виконувати одну або декілька функцій як при виготовленні електродів, так і в процесі зварювання. Основні функції найбільш широко поширених компонентів електродних покриттів наведено в табл. 2.7 [5, 20].

Якість сировини для виготовлення покритих електродів має вирішальне значення. Від складу та якості компонентів покриття та електродного дроту залежить стабільність горіння дуги, формування шва, відокремлення шлакової кірки, попередження утворення пор, холодних та гарячих тріщин, забезпечення механічних та інших спеціальних властивостей металу шва та зварного з'єднання в цілому.

Стабільність горіння дуги покращують в основному за рахунок введення до складу покриття елементів, що мають низький потенціал іонізації. При цьому підвищується концентрація позитивних іонів у периферійній зоні дуги, знижується робота виходу електронів із катоду, забезпечується стабільне горіння дуги.

Відокремлюваність шлакової кірки – важливий технологічний показник, який у значній мірі визначається процесами взаємодії шлаку з металом зварювальної ванни. Якщо параметри кристалічних ґраток хімічних з'єднань у застиглому шлаку близькі до параметрів ґраток металу, відбувається хімічне зчеплення шлаку з металом. При цьому відокремлюваність шлакової кірки погіршується. Цей процес в основному регулюють

за рахунок зміни активності кисню у шлаковій фазі, зменшення у якій поверхнево активних оксидів (FeO, MnO та ін.) покращує відокремлюваність шлакової кірки від металу шва [24].

**Таблиця 2.7. Основні функції компонентів електродних покриттів**

Група	Компонент (склад основних елементів та сполук, %) і його основні функції: Ш – шлакоутворюючі, Г – газоутворюючі, С – стабілізуючі, Р – розкиснюючі, Л – легуючі, П – пластифікуючі, Ц – цементуючі
Мінерали та руди	Мармур ( $\geq 92$ CaCO <sub>3</sub> ) (Ш, Г, С), магнезит ( $\geq 88$ MgO) (Ш, Г), плавиковий шпат ( $\geq 95$ CaF <sub>2</sub> ) (Ш), польовий шпат ( $\geq 70$ SiO <sub>2</sub> ; $\geq 12$ (K <sub>2</sub> O + Na <sub>2</sub> O)) (Ш, С), слюда (44–50 SiO <sub>2</sub> ; 32–40 (Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> + Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ); $\leq 8$ K <sub>2</sub> O) (Ш, С, П), кварцовий пісок ( $\geq 97$ SiO <sub>2</sub> ) (Ш), каолін ( $\geq 35$ Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ; $\leq 2,5$ Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ) (Ш, П), концентрат мангановий ( $\geq 45$ MnO; $\leq 10$ SiO <sub>2</sub> ; $\leq 3$ Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ) (Ш, С), ільменітовий концентрат ( $\geq 62$ TiO <sub>2</sub> ; $\leq 3$ SiO <sub>2</sub> ; $\leq 3$ Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ) (Ш, С), залізна руда ( $\geq 60$ Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ; $\leq 6$ SiO <sub>2</sub> ) (Ш, С), рутиловий концентрат ( $\geq 94$ TiO <sub>2</sub> ; $\leq 3$ Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ; $\leq 1$ ZrO <sub>2</sub> ) (Ш), крейда ( $\geq 96$ CaCO <sub>3</sub> ) (Ш, Г, С)
Феросплави та метали	Фероманган (85–95 Mn) (Р, Л), феротитан (30–37 Ti; 8–14 Al; 4–8 Si) (Р, Л), феросиліцій (15–47 Si) (Р, Л), ферохром ( $\geq 65$ Cr; $\leq 8$ C; $\leq 2$ Si) (Р, Л), феромолібден ( $\geq 60$ Mo) (Л), ферованадій (35–48 V; $\leq 2,7$ Mn; $\leq 2$ Si) (Л), фероніобій (55–60 Nb; $\leq 1,5$ Si; $\leq 3$ Al; $\leq 1$ Ti) (Р, Л), феровольфрам ( $\geq 80$ W; $\leq 6$ Mo;) (Л), манган металевий ( $\geq 93,5$ Mn; 1,8–3 Si) (Р, Л), алюміній в порошок ( $\geq 99,9$ Al) (Р, Л), хром металевий ( $\geq 99$ Cr) (Р, Л), залізний порошок ( $\geq 98,5$ Fe) (підвищує продуктивність)
Органічні речовини	Целюлоза електродна (C <sub>6</sub> H <sub>10</sub> O <sub>5</sub> ) <sub>x</sub> (Г, П), (КМЦ) (Г, П), крохмаль (C <sub>6</sub> H <sub>10</sub> O <sub>5</sub> ) <sub>x</sub> (Г), декстрин (C <sub>6</sub> H <sub>10</sub> O <sub>5</sub> ) <sub>x</sub> (Г, П, Ц)
Хімічні сполуки (неорганічні)	Сода кальцинована ( $\geq 99$ Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> ) (С, П), поташ ( $\geq 93$ K <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> ) (С, П), натрієве рідке скло (30–33 SiO <sub>2</sub> ; 10–13 Na <sub>2</sub> O) (С, П, Ц), калієве рідке скло (65–69 SiO <sub>2</sub> ; 30–35 K <sub>2</sub> O; $\leq 1$ Na <sub>2</sub> O) (С, П, Ц), селітра калієва ( $\geq 99,7$ KNO <sub>3</sub> ) (С)

Концентрація атмосферних газів в наплавленому металі, таких, як кисень, водень, азот, істотно впливає на крихкість зварних з'єднань, ударну в'язкість, особливо за низьких температур, схильність до старіння при тривалому навантаженні, неможливість забезпечення стабільних механічних й експлуатаційних характеристик. Крім того, водень й азот утворюють пори при концентраціях вище границі розчинності в металі, що є не-



допустимим дефектом. У зв'язку з цим вміст атмосферних газів в металі шва суворо обмежують [21].

Основним джерелом пор у металі шва є водень, який надходить з сухого залишку рідкого скла, а також вологи, що міститься у покритті. У зв'язку з цим необхідно використовувати негігроскопічні види сировини, високомодульне низьков'язке рідке скло, оптимізувати температуру та час прожарювання електродів. Доцільно збільшувати окисний потенціал металу, вводити в зону дуги  $\text{SiF}_4$  за рахунок взаємодії  $\text{CaF}_2$  з  $\text{SiO}_2$ , що дозволяє знизити ймовірність утворення пор [16].

У цілому насичення металу шва газами лімітується процесами дисоціації молекул газів біля поверхні металу. Ступінь дисоціації залежить від температури плазми дугового розряду, а процеси абсорбції газів з плазми залежать в першу чергу від температури крапель електродного металу, зварювальної ванни, довжини дуги, ступеня газошлакового захисту, стабільності дугового процесу. Природно, що при цьому неможливо досягти позитивного результату, якщо основний метал, зварювальний дріт та компоненти покриття мають високу початкову концентрацію шкідливих газів.

Вкрай шкідливими домішками в металі шва є сірка та фосфор. Фосфор збільшує схильність зварних з'єднань до крихкого руйнування за рахунок утворення з залізом крихких фосфідів ( $\text{Fe}_3\text{P}$ ,  $\text{Fe}_2\text{P}$ ,  $\text{FeP}$ ,  $\text{FeP}_2$ ), кристали яких можуть стати зародками холодних тріщин. Сірка утворює відносно легкоплавкі евтектики  $\text{Me-MeS}$ , що різко збільшує ймовірність виникнення гарячих (кристалізаційних) тріщин. При зварюванні низьковуглецевих та низьколегованих сталей утворенню гарячих тріщин також сприяє збільшення вмісту вуглецю в зварювальній ванні.

Основним джерелом вуглецю, фосфору та сірки в зварювальній ванні є основний метал, електродний дріт та компоненти покриття. Вітчизняні сталі та дроти в цілому містять більш високу концентрацію цих елементів, ніж закордонні, що призводить до необхідності використовувати додаткові технологічні та металургійні засоби [16]. Це легування зварюваль-

ної ванни манганом, використання високоосновних та фторидних шлаків, оптимізація систем легування та ін. Однак треба відзначити, що при зварюванні дуже важко зменшити концентрацію сірки в наплавленому металі, а фосфору – практично неможливо. У зв'язку з цим найбільш дійсним методом є використання зварювальних матеріалів з мінімальним вмістом цих елементів.

Як було відзначено раніш, ГОСТ 9467–75 класифікує електроди залежно від вмісту шкідливих домішок на три групи якості. Однак, як показав виробничий досвід, розподілення електродів за вмістом сірки та фосфору в наплавленому металі у вузьких межах (до 0,005 % між групами якості) складно і технічно не регулюється. Це пов'язано з тим, що компоненти шихти (особливо руди та мінерали) постачаються, як правило, зі вмістом у них сірки та фосфору ближче до верхньої межі, регламентованої стандартом. Тому розподілення електродів за групами якості залежно від вмісту сірки та фосфору в наплавленому металі згідно з ГОСТ 9467–75 виключено і в останній час не використовується [5].

Якість шихтових матеріалів, особливо вимоги до обмеження вмісту сірки та фосфору, повинні відповідати нормативно-технічній документації на сировину та підлягати жорсткому вхідному контролю.

На якість наплавленого металу та зварювально-технологічні властивості електродів суттєво впливають умови зберігання. У зв'язку з цим перевага надається вакуумному пакуванню. Крім того, для відновлення якості покриття необхідно здійснювати прожарювання електродів безпосередньо перед зварюванням. Повторне прожарювання електродів є обов'язковою технологічною операцією. Режим прожарювання залежить від виду покриття. Останнє взагалі є вирішальним чинником при виборі електродів. У зв'язку з цим необхідно більш детально розглянути характеристики основних видів електродних покриттів.

**Електроди з кислим покриттям (А).** Шлакову основу утворюють оксиди заліза та мангану (гематит, манганова руда), а також різноманітні силікати (польовий шпат, граніт та ін.). Газовий захист забезпечують ор-

ганічні речовини (крохмаль, декстрин, оксигелюлоза та ін.). Роль розкиснювача виконує фероманган.

Покриття цього виду мають високу окиснюючу здатність, що призводить до великих втрат легуючих елементів у процесі зварювання. Метал шва, виконаний з використанням кислих покриттів, має схильність до утворення гарячих тріщин. У зв'язку з цим їх не використовують для зварювання вуглецевих та низьколегованих сталей із вмістом вуглецю більше 0,3 %. Кислі шлаки мають низьку десульфуючу здатність та не придатні для зварювання сталей з підвищеним вмістом сірки.

Кислий характер шлаків погіршує відокремлюваність шлакової кірки і сприяє утворенню шлакових включень у металі шва. Компоненти кисло-го покриття при термічному розкладанні виділяють підвищену кількість водню, що переходить у метал шва і підвищує ймовірність утворення пор. Метал шва, наплавлений електродами з кислим покриттям, завжди має збільшену концентрацію водню. У зв'язку з цим електроди з кислим покриттям практично не використовують для зварювання вуглецевих та легуваних сталей, що мають схильність до утворення холодних тріщин. Він також має низький ступінь розкиснення, що обумовлює помірну величину ударної в'язкості та велику схильність до старіння. Наплавлений метал аналогічний за складом киплячій сталі (до 0,1 % Si).

Електроди з кислим покриттям характеризуються значним розбрикуванням металу та високою токсичністю (оксиди мангану). Поряд з тим, електроди мають ряд суттєвих переваг: мало чутливі до утворення пор при іржі на зварюваному металі; забезпечують стабільний процес на форсованих режимах зварювання змінним струмом та високу продуктивність (до 11...12 г/А·год).

Цей тип електродів використовують в основному для зварювання конструкцій з низьковуглецевих сталей у цехових та монтажних умовах. Механічні властивості наплавленого металу, як правило, відповідають типу Э42 за ГОСТ 9467–75 (електродний дріт Св-08, Св-08А).

**Електроди з рутиловим покриттям (Р).** Шлакову основу утворює рутил з додатками алюмосилікатів (польовий шпат, каолін та ін.) або карбонатів (мармур, магнезит). Газовий захист забезпечують органічні речовини (целюлоза, декстрин) або карбонати. Роль розкиснювача виконує фероманган.

Окиснююча здатність рутилових покриттів менша, ніж у кислих. Метал шва аналогічний напівспокійній або спокійній сталі (до 0,15...0,30 % Si).

За технологічними властивостями рутилові електроди значно переважають електроди з покриттям кислого або основного видів. Вони забезпечують стабільність горіння дуги при зварюванні змінним та постійним струмом, низьке розбризкування металу, добру відокремлюваність шлакової кірки та формування шва. Крім того, рутилові електроди малотоксичні й забезпечують високі механічні властивості наплавленого металу при зварюванні в будь-якому просторовому положенні, особливо кутових швів. Електроди малочутливі до утворення пор при зміні довжини дуги, при зварюванні вологого й іржавого металу та по окисненій поверхні. Оптимальний режим повторного прожарювання електродів складає 200 °С протягом години.

Продуктивність праці при зварюванні рутиловими електродами регулюють товщиною покриття та вмістом в ньому залізного порошку (від 8 до 18 г/А год). Крім того, додавання залізного порошку значно підвищує стійкість металу шва проти утворення гарячих тріщин.

Галузь використання рутилових електродів та ж сама, що і кислих: зварювання конструкцій з маловуглецевих та низьколегованих сталей в будівництві та машинобудуванні. Однак завдяки кращим зварювально-технологічним характеристикам рутилові електроди мають значну перевагу над кислими, виробництво яких практично припинено.

Механічні властивості наплавленого металу відповідають типам Э42...Э46 за ГОСТ 9467-75 (електродний дріт Св-08, Св-08А).

**Електроди з ільменітовим покриттям (АР)** займають проміжне по-

ложення між електродами з кислим та рутиловим покриттям. Шлакову основу утворює мінерал ільменіт, який містить оксиди заліза ( $\text{FeO}\cdot\text{TiO}_2$ ) з додатками манганової руди, каоліну, польового шпату та ін. Газовий захист забезпечують органічні матеріали. Роль розкиснювача виконує фероманган.

Окисна здатність ільменітових електродів суттєво залежить від вмісту в концентраті оксидів заліза. Найчастіше використовують ільменітовий концентрат із вмістом оксидів заліза до 35 % (електроди марок АНО-6, АНО-6М, АНО-17). Окисна здатність, зварювально-технологічні та санітарно-гігієнічні характеристики таких електродів ближчі до рутилових електродів. Метал шва схожий на киплячу або напівспокійну сталь (до 0,1...0,2 % Si). Область використання ільменітових електродів та ж сама, що й кислих і рутилових.

Механічні властивості наплавленого металу відповідають типу Э42 за ГОСТ 9467–75 (електродний дріт Св-08, Св-08А).

**Електроди з целюлозним покриттям (Ц).** Основу целюлозних покриттів складають органічні речовини (переважно електродна оксицелюлоза до 40...45 %), які при зварюванні дисоціюють з утворенням великої кількості газів, що забезпечує якісний захист наплавленого металу. Для запобігання водневої крихкості або появи пор додають невелику кількість шлакоутворюючих матеріалів (рутил, алюмосилікати, іноді гематит або манганові руди). Надійний газовий захист дозволяє знижувати відносну масу покриття ( $K_{\text{п}} \approx 20$  %). Розкиснювачі – фероманган та феросиліцій.

При дисоціації органічних матеріалів утворюється велика кількість захисних газів ( $\text{CO}$ ,  $\text{CO}_2$ ), а також водень, який активно розчиняється в металі шва. Вміст водню в металі шва найбільший серед усіх видів електродів (табл. 2.8) [5]. У зв'язку з цим целюлозні електроди не використовують для зварювання сталей, які містять підвищену кількість вуглецю та легуючих елементів. Недоліки цих електродів – значне розбризкування металу при зварюванні навіть на постійному струмі, а також велика чут-

ливість до перегріву, що призводить до вигорання органічних складових покриття. Тому сушіння електродів здійснюють при температурі 120...130 °С.

**Таблиця 2.8. Вміст атмосферних газів у металі, що наплавлений електродами з різним типом покриття**

Тип покриття	Позначення за ГОСТ 9466–75	Вміст газів		
		Кисень	Азот	Водень
		%		см <sup>3</sup> /100 г
Кисле	А	0,09...0,12	0,015...0,025	20...25
Льменітове	АР	0,06...0,12	0,010...0,025	15...20
Основне	Б	0,03...0,05	0,010...0,025	4...8
Рутилове	Р	0,05...0,09	0,015...0,025	20...30
Целюлозне	Ц	0,04...0,10	0,010...0,025	25...35

Целюлозні електроди забезпечують стабільне горіння дуги на постійному та змінному струмі, зварювання в будь-якому просторовому положенні з гарантованим рівномірним глибоким проваром без пор та шлакових включень, навіть при наявності значних зазорів. Це особливо важливо при зварюванні магістральних трубопроводів. Електроди використовують для багатопрохідного зварювання низьковуглецевих сталей, або виконання кореневих швів на низьколегованих сталях.

Метал шва за складом схожий на напівспокійну або спокійну сталь (0,15...0,25 % Si). Механічні властивості наплавленого металу відповідають типам Э42...Э50 за ГОСТ 9467–75 (електродний дріт Св-08, Св-08А).

**Електроди з основним покриттям (Б).** Шлакову основу утворюють мінерали – карбонати кальцію та магнію (мармур, магнезит, доломіт), а також плавиковий шпат, тому вони мають назву фтористо-кальцієві покриття. При високій температурі карбонати дисоціюють з утворенням CaO та MgO, а також CO та CO<sub>2</sub>. Це забезпечує високий коефіцієнт основності шлаків та відсутність у газовому захисті водню. Крім того, наявність в покритті CaF<sub>2</sub> та SiO<sub>2</sub> рафінує метал шляхом зв'язування водню в термічно стійкі сполуки, внаслідок чого електроди з основним покриттям

називають низьководневими. В якості розкиснювачів використовують феротитан, фероманган та феросиліцій.

Основні покриття мають низьку окиснюючу здатність, що забезпечує високий коефіцієнт переходу легуючих елементів з електроду в шов, менше засмічення металу неметалевими включеннями та шкідливими домішками (сірка, фосфор). Метал шва, виконаний цими електродами, відрізняється високими показниками пластичності й ударної в'язкості при нормальній і зниженій температурах, а також має підвищену стійкість проти утворення гарячих тріщин.

До недоліків електродів з основним покриттям можна віднести більш низьку стабільність горіння дуги порівняно з іншими видами покриття (іони фтору деіонізують дугу). Електроди з основним покриттям чутливі до вологи, критичний рівень вологи в покритті перед зварюванням не повинен бути більше 0,3 %. Цей рівень забезпечується прожарюванням при температурі 350 °С упродовж двох годин.

Метал шва, виконаний електродами з дротами Св-08, Св-08А, відповідає складу спокійної сталі (0,3...0,6 % Si). При цьому досягається висока ударна в'язкість металу швів та мала схильність до старіння. Механічні властивості наплавленого металу відповідають типам Э42...Э50А за ГОСТ 9467–75. При використанні легованих дротів (Св-18ХМА, Св-18ХГС та ін.) або додатковому легуванні досягаються механічні властивості, що відповідають типам Э100...Э150 за ГОСТ 9467–75. Електроди з основним покриттям використовують для зварювання добре розкиснених спокійних сталей, особливо зі збільшеним вмістом вуглецю та сірки, а також низько- та високолегованих сталей великої товщини, які працюють при динамічному навантаженні та низьких температурах.

Використовувати електроди всіх типів покриття можливо тільки в тому випадку, якщо ретельно виконуються правила зберігання й транспортування електродів. Як було відзначено, перевага надається герметичному вакуумному пакуванню електродів. Крім того, необхідно суворо контролювати температуру та вологість повітря. В середньому це режим збе-

рігання: температура не нижче +18 °С і відносна вологість повітря 50 %. Для електродів з основним покриттям порушувати герметичність пакування під час зберігання заборонено. Для інших видів покриття правила не такі жорсткі. Але в усіх випадках перед використанням необхідно виконувати повторне прожарювання електродів за режимами, які вказані на пакуванні. Інакше покриття насичується вологою, а це призведе до утворення пор в металі шва, складнощів у відокремлюванні шлакової кірки, нестабільного горіння дуги, зниження механічних властивостей металу шва та зварного з'єднання в цілому. Однак, якщо навіть усі правила збереження виконуються, вміст атмосферних газів в наплавленому металі суттєво залежить від виду електродного покриття (див. табл. 2.8).

За цим показником найкращі умови при формуванні шва забезпечують електроди з основним покриттям, що є цілком закономірним. Гарантійний термін придатності електродів до використання в середньому не перевищує п'яти років. По закінченні цього періоду електроди не придатні до використання.

Кожна партія електродів повинна мати відповідний паспорт та сертифікат якості. Великі підприємства, крім того, виконують вхідний контроль зварювальних матеріалів на відповідність сертифікату якості.

Електроди звичайно розподіляють на групи відповідно до того чи іншого класу основного металу. З практичної точки зору це зручно і раціонально, допомагає споживачу досить швидко зробити правильний вибір.

#### **2.4. Електроди для зварювання вуглецевих і низьколегованих конструкційних сталей**

До групи електродів для зварювання вуглецевих і низьколегованих конструкційних сталей належать електроди, призначені для зварювання вуглецевих сталей, які містять до 0,25 % вуглецю, і низьколегованих сталей з тимчасовим опором розриву до 590 МПа. Основними характеристиками електродів є механічні властивості металу шва та зварного з'єднання: тимчасовий опір розриву, відносне подовження, ударна в'язкість.



Електроди для зварювання вуглецевих і низьколегованих сталей характеризуються також певним рівнем зварювально-технологічних властивостей, у тому числі можливістю зварювання в усіх просторових положеннях, родом зварювального струму, продуктивністю процесу, схильністю до утворення пор, а в деяких випадках – вмістом водню в наплавленому металі та стійкістю зварних з'єднань проти утворення тріщин.

Всі електроди, призначені для зварювання вуглецевих і низьколегованих сталей, повинні відповідати вимогам ГОСТ 9466–75 і ГОСТ 9467–75, а також технічних умов на електроди. В останніх можуть міститися додаткові вимоги, що є необхідними для більш ефективного ведення процесу та для одержання зварних з'єднань з особливими характеристиками й підвищеною експлуатаційною надійністю. Для зварювання вуглецевих і низьколегованих конструкційних сталей загального призначення найбільш широко використовують електроди наступних марок: ОМА-2(Э42), ОЗС-23(Э42), УОНИ-13/45(Э42А), ОЗС-3(Э46), ОЗС-4(Э46), ОЗС-4И(Э46), МР-3М(Э46), ОЗС-6(Э46), ОЗС-12(Э46), ОЗС-12И(Э46), УОНИ-13/55(Э50А), УОНИ-13/55Т(Э50А), УОНИ-13/55Г(Э50А), ОЗС-28(Э50А), ОЗС-33(Э50А), УОНИ-13/65(Э60).

Розповсюджені електроди для зварювання вуглецевих і низьколегованих конструкційних сталей спеціалізованого призначення наведено в табл. 2.9 [5, 18, 19].

Схема положень зварювання наведена на рис. 2.4.

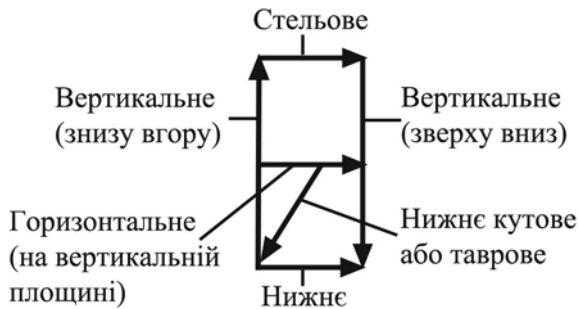



Рис. 2.4. Схема положень зварювання

Таблиця 2.9. Електроди для зварювання вуглецевих та низьколегованих конструкційних сталей у положеннях зварювання 

Марка електрода	Тип за ГОСТ 9467–75	Рід струму	Галузь застосування
ОЗС-30	Э46	~, = (-)	Зварювання ванн гарячого цинкування
ОЗС-32	Э46	= (+)	Зварювання оцинкованих сталей
ОЭС-18	Э50А	= (+)	Зварювання атмосферо-корозійно-стійких сталей типу 10ХНДП
ОЗС-25	Э50А	= (+)	Зварювання сталей із забезпеченням холодостійкості металу шва до температури -40 °С
ОЗС-29	Э50А	= (+)	Зварювання сталей із забезпеченням холодостійкості металу шва до температури -60 °С
ОЗС-24М	Э60	= (+)	Зварювання сталей із забезпеченням холодостійкості металу шва до температури -70 °С
УОНИ-13/55У	Э55	~, = (+)	Зварювання стрижнів арматури залізобетонних конструкцій та рейок
ВСЦ-4М	Э42	= (+)	Зварювання стиків трубопроводів
ТМУ-21У	Э50А	= (+)	Зварювання стиків трубопроводів
ВСФ-65У	Э60	= (+)	Зварювання стиків трубопроводів

## 2.5. Електроди для зварювання легованих конструкційних сталей підвищеної та високої міцності

У групу електродів для зварювання легованих конструкційних сталей підвищеної та високої міцності входять електроди, які призначені для зварювання легованих сталей з тимчасовим опором розриву понад 590 МПа. Зварювання конструкцій з цих сталей роблять за двома технологічними варіантами: з наступної після зварювання термічної обробки зварних з'єднань і без наступної термічної обробки.

При зварюванні за першим варіантом застосовують електроди, які забезпечують одержання рівноміцних зварних з'єднань. Головними характеристиками таких електродів є механічні властивості металу шва і зварних з'єднань, які одержують після відповідної термічної обробки: тимчасовий опір розриву, відносне подовження, ударна в'язкість.

За цими показниками ГОСТ 9467–75 класифікує п'ять типів електро-

дів для зварювання конструкційних сталей підвищеної та високої міцності: Э70, Э85, Э100, Э125 і Э150. Хімічний склад наплавленого металу зазначеним стандартом не регламентується, за винятком сірки та фосфору, вміст яких не повинен перевищувати відповідно 0,030 % і 0,035 %. Разом з тим при виборі конкретної марки електроду хімічний склад металу необхідно брати до уваги, особливо при зварюванні конструкцій, що працюють в екстремальних умовах. Дані за хімічним складом подаються в нормативній документації, а також у більш загальному вигляді – в умовному позначенні електродів. Електроди для зварювання конструкційних сталей підвищеної та високої міцності мають покриття основного виду.

При зварюванні конструкцій зі сталей цього класу (у термічно зміцненому стані) за другим варіантом, тобто без наступної після зварювання термічної обробки, особливо, коли рівномірність зварних з'єднань не є обов'язковою умовою, використовують електроди, які забезпечують метал шва з аустенітною структурою. Зварні з'єднання у цьому випадку відрізняються високою стійкістю проти утворення тріщин, а метал шва – підвищеними пластичністю та в'язкістю. Електроди можна використовувати також при зварюванні різнорідних сталей.





Нижче наведено розповсюджені електроди типів Э85 і Э100 (табл. 2.10) і електроди, що забезпечують одержання металу шва з аустенітною структурою (табл. 2.11) [5, 18].

**Таблиця 2.10. Електроди для зварювання легованих конструкційних сталей підвищеної та високої міцності (з наступною термічною обробкою)**

Марка електрода	Тип за ГОСТ 9467–75	Положення зварювання	Рід зварювального струму
УОНИ-13/85	Э85		= (+)
НИАТ-ЗМ	Э85		= (+)
ОЗШ-1	Э100		= (+)

*Примітка.* Електроди марки ОЗШ–1 діаметром 3,0...5,0 мм застосовують також для наплавлення (див. електроди для наплавлення).

**Таблиця 2.11. Електроди для зварювання легованих конструкційних сталей підвищеної та високої міцності, що забезпечують одержання металу шва з аустенітною структурою (без наступної термічної обробки)**

Марка електрода	Положення зварювання	Рід і полярність зварювального струму	Механічні властивості металу шва, не менше		
			$\sigma_b$ , МПа	$\delta$ , %	KCV <sub>2</sub> , Дж/см <sup>2</sup>
НИАТ-5		= (+)	590	30	100
ЭА-395/9		= (+)	610	30	120
ЭА-981/15		= (+)	680	26	100
ЭА-112/15		=	640	26	100









## 2.6. Електроди для зварювання теплотривких сталей

До групи електродів для зварювання теплотривких сталей належать електроди, призначені для зварювання низьколегованих та теплотривких сталей. Основними характеристиками електродів є хімічний склад наплавленого металу та механічні властивості металу шва при нормальній температурі, за якими електроди класифікуються відповідно до ГОСТ 9467–75. При виборі електродів враховують також максимальну робочу температуру, при якій регламентовано показники тривалої міцності металу шва. Електроди можуть мати рутилове або основне покриття. В довідковому додатку для порівняння наведено класифікацію електродів для зварювання теплотривких сталей відповідно до стандарту ISO 3580.

Разом з тим, при зварюванні теплотривких сталей застосовують електроди, не регламентовані ГОСТ 9467–75, основним призначенням яких є зварювання інших класів сталі (наприклад, електроди марки АНЖР-1, призначені, головним чином, для зварювання різнорідних сталей). Зварювання теплотривких сталей у більшості випадків виконують з попереднім підігрівом і наступною термообробкою. Нижче наведено розповсюджені

електроди для зварювання низько- та високолегованих теплопровідних сталей (табл. 2.12) [5, 18, 19].

**Таблиця 2.12. Електроди для зварювання теплопровідних сталей**

Марка електрода	Тип за ГОСТ 9467–75	Положення зварювання	Рід і полярність зварювального струму	Максимальна робоча температура, °С
ЦУ-5	Э50А		= (+)	400
ЦЛ-17	Э-10Х5МФ		= (+)	450
ОЗС-11	Э-09МХ		~, = (-, +)	510
ТМЛ-1У	Э-09Х1М		= (+)	540
ТМЛ-3У	Э-09Х1МФ		= (+)	570
ЦЛ-39	Э-09Х1МФ		= (+)	585
АНЖР-2	–		= (+)	550
АНЖР-1	–		= (+)	600

*Примітка.* Електроди марок АНЖР-1 і АНЖР-2 в основному призначені для зварювання різнохідних сталей (див. групу електродів для різнохідних сталей і сплавів).

## 2.7. Електроди для зварювання високолегованих сталей і сплавів

Ці електроди класифікують відповідно до ГОСТ 10052–75 та розділяють на дві групи для зварювання високолегованих сталей і сплавів на залізонікелевій і нікелевій основах:

електроди для зварювання корозійностійких матеріалів;

електроди для зварювання жаростійких і жароміцних матеріалів.

Хімічний склад і структура наплавленого металу електродів для зварювання високолегованих сталей і сплавів відрізняються, й іноді дуже істотно, від складу і структури зварювальних матеріалів. Основними показниками, що вирішують питання вибору таких електродів, є забезпечення основних експлуатаційних характеристик зварних з'єднань (меха-

нічних властивостей, корозійної стійкості, жаростійкості, жароміцності), стійкості металу шва проти утворення тріщин, необхідного комплексу зварювально-технологічних властивостей [21]. В довідковому додатку для порівняння наведена класифікація електродів для зварювання високолегованих сталей відповідно до стандарту ISO 3581.

Електроди для зварювання високолегованих сталей і сплавів мають покриття основного, рутилового і рутилово-основного видів. Через низьку теплопровідність і високий електроопір швидкість плавлення, а отже і коефіцієнт наплавлення електродів з дротами із високолегованих сталей і сплавів істотно вищі, ніж у електродів для зварювання вуглецевих, низьколегованих і легованих сталей. Разом з тим підвищений електроопір металу електродного стрижня обумовлює необхідність застосування при зварюванні знижених значень струму і зменшення довжини самих електродів. Інакше, через надмірне нагрівання електрода, можливий перегрів покриття та зміна характеру його плавлення, аж до відокремлювання шматків покриття. Зварювання, як правило, виконують постійним струмом зворотної полярності.

### ***2.7.1. Електроди для зварювання високолегованих корозійностійких сталей і сплавів***

Електроди цієї групи дають можливість одержання зварних з'єднань, що мають необхідну стійкість проти корозії в атмосферному, кислотному, лужному й іншому агресивному середовищі. Деякі марки електродів даної групи мають більш широку галузь застосування і їх можна використовувати не тільки для отримання з'єднань з необхідною корозійною стійкістю, але і як електроди, що забезпечують високу жаростійкість і жароміцність металу шва.

Деякі електроди для зварювання високолегованих корозійностійких сталей і сплавів наведено в табл. 11Д.

### ***2.7.2. Електроди для зварювання високолегованих жаростійких і жароміцних сталей і сплавів***

Електроди цієї групи утворюють зварні з'єднання з необхідною жаростійкістю та жароміцністю. Жаростійкі зварні з'єднання відзначаються високою стійкістю проти хімічного руйнування поверхні в газових середовищах при температурах понад 550...600 °С. Жароміцні – працюють при цих температурах у напруженому стані протягом визначеного часу (жароміцні з'єднання повинні мати при цьому достатньою жаростійкість).

Розповсюджені марки електродів для зварювання жаростійких і жароміцних матеріалів ті ж самі, що й для зварювання корозійностійких і різнорідних сталей та сплавів. Деякі електроди для зварювання високолегованих жаростійких і жароміцних сталей і сплавів наведено в табл. 12Д.

Умовне позначення електродів для зварювання високолегованих сталей з особливими властивостями визначається ГОСТ 9466–75, ГОСТ 10052–75. При цьому в другому рядку умовного позначення електродів розташована група індексів, що характеризує наплавлений метал і метал шва (див. п. 2.2). Чотири цифрових індекси використовуються для електродів, що забезпечують аустенітно-феритну структуру наплавленого металу, і три цифрових індекси – для інших електродів. Вміст феритної фази в наплавленому металі повинен відповідати наведеному в табл. 2.13 [18].

### **2.8. Електроди для зварювання спеціальних сталей**

До групи електродів для зварювання спеціальних сталей належать електроди, що за призначенням та сукупністю характеристик не можуть бути віднесені до інших груп електродів. Це – електроди для зварювання легованих і високолегованих холодостійких сталей, високоманганових сталей типу 110Г13Л і т. п. Більшість електродів цієї групи застосовують також для зварювання різнорідних сталей.

Деякі електроди даної групи наведено в табл. 13Д.

**Таблиця 2.13. Вміст феритної фази в наплавленому металі**

Типи електродів	Вміст феритної фази в наплавленому металі, %	Типи електродів	Вміст феритної фази в наплавленому металі, %
Э-02Х20Н14Г2М2 Э-02Х19Н9Б	0,5...4,0	Э-09Х19Н10Г2М2Б Э-08Х19Н9Ф2Г2СМ	2,0...8,0
Э-08Х16Н8М2	2,0...4,0	Э-09Х16Н8Г3М3Ф Э-10Х25Н13Г2	
Э-06Х19Н11Г2М2 Э-08Х19Н10Г2Б Э-09Х19Н11Г3М2Ф	2,0...5,5	Э-12Х24Н14С2 Э-10Х25Н13Г2Б	2,0...10,0
Э-07Х20Н9 Э-08Х19Н10Г2МБ Э-07Х19Н11М3Г2Ф Э-08Х17Н8М2 Э-08Х20Н9Г2Б	2,0...8,0	Э-04Х20Н9 Э-02Х21Н10Г2	4,0...10,0
		Э-08Х19Н9Ф2С2 Э-06Х22Н9 Э-10Х28Н12Г2	5,0... 15,0 10,0...20,0

## **2.9. Електроди для зварювання різнохідних сталей і сплавів**

Електроди для зварювання різнохідних сталей і сплавів забезпечують отримання необхідних експлуатаційних характеристик зварних з'єднань сплавів на залізонікелевій і нікелевій основах. Різнохідними сталями і сплавами є матеріали, що значно відрізняються системою легування, фізико-механічними властивостями та зварюваністю. За ознакою "різнохідності" сталі умовно можна поділити на наступні чотири групи: вуглецеві та низьколеговані, леговані підвищеної та високої міцності, теплотривкі, високолеговані. Зварювання різнохідних сталей і сплавів істотно відрізняється від зварювання однорідних матеріалів. У металі шва і зоні сплавлення виникають ділянки зі структурною неоднорідністю, яка призводить до зміни характеристик міцності та пластичності. Це супроводжується надмірним ростом залишкових напружень у зварних з'єднаннях через значну різницю в коефіцієнтах лінійного розширення матеріалів, що зварюються. В даних умовах зростає ймовірність появи тріщин.

Більшість електродів, які використовують при зварюванні різнохідних сталей і сплавів, призначені для зварювання легованих і високолого-



ваних сталей підвищеної та високої міцності і забезпечують одержання металу шва з аустенітною структурою. У табл. 14Д наведено електроди для зварювання різнорідних сталей і сплавів. Представлені в табл. 2.14 дані [5, 21], що складені з урахуванням досвіду промислового застосування, допомагають зробити правильний вибір конкретної марки електродів.

## **2.10. Електроди для ручного дугового наплавлення**

Групу електродів для наплавлення складають електроди для ручного дугового наплавлення поверхневих шарів з особливими властивостями (крім електродів для наплавлення шарів з кольорових металів). Електроди виготовляють і постачають відповідно до вимог ГОСТ 9466–75 і ГОСТ 10051–75. Для наплавних робіт у деяких випадках також використовують електроди для зварювання високолегованих корозійно-жаростійких і жароміцних сталей. В довідковому додатку для порівняння наведена класифікація електродів цієї групи відповідно до стандарту DIN 8555.

Залежно від системи легування та умов роботи наплавленого металу електроди для наплавлення можуть бути умовно розподілені на шість груп:

наплавлений метал низьковуглецевий, низьколегований з високою стійкістю в умовах тертя металу з металом і ударних навантажень (за призначенням до цієї групи належать деякі марки електродів третьої групи);

наплавлений метал середньовуглецевий, низьколегований з високою стійкістю в умовах тертя металу з металом і ударних навантажень при нормальній і підвищеній температурах (до 650 °С);

наплавлений метал вуглецевий, легований (або високолегований) з високою стійкістю в умовах абразивного спрацювання й ударних навантажень;

наплавлений метал вуглецевий, високолегований з високою стійкістю в умовах великих тисків і високих температур (до 850 °С);

**Таблиця 2.14. Деякі типи та марки електродів, призначені для зварювання різнорідних сталей і сплавів**

Група сталей і сплавів	У	Л	Т	Ва	Вж	Н
У (вуглецеві та низьколеговані сталі)		Э42А...Э100 ОЗЛ-27 ОЗЛ-28	Э42А...Э50А	ОЗЛ-6 (ОЗЛ-6С) НИАТ-5 ЭА-395/9 НИИ-48Г	ОЗЛ-25Б	ЦТ-28 ОЗЛ-25Б
Л (леговані сталі підвищеної та високої міцності)	Э42А...Э100 ОЗЛ-27 ОЗЛ-28		Э50А...Э85	НИАТ-5 ЭА-395/9	–	ЦТ-28 ОЗЛ-25Б
Т (теплотривкі сталі)	Э42А...Э50А	Э50А...Э85		ЭА-395/9	АНЖР-1 АНЖР-2	ЦТ-28 ОЗЛ-25Б
Ва (високолеговані аустенітні сплави)	ОЗЛ-6 (ОЗЛ-6С) НИАТ-5 ЭА-395/9 НИИ-48Г	НИАТ-5 ЭА-395/9	ЭА-395/9		ОЗЛ-25Б ИМЕТ-10	ОЗЛ-25Б
Вж (високолеговані жароміцні сплави)	ОЗЛ-25Б	–	АНЖР-1 АНЖР-2	ОЗЛ-26Б ИМЕТ-10		ИМЕТ-10 ОЗЛ-25Б
Н (сплави на нікелевій основі)	ЦТ-28 ОЗЛ-25Б	ЦТ-28 ОЗЛ-25Б	ЦТ-28 ОЗЛ-25Б	ОЗЛ-25Б	ИМЕТ-10 ОЗЛ-25Б	

наплавлений метал високолегований, аустенітної структури з високою стійкістю в умовах корозійно-ерозійного спрацювання й тертя металу з металом при підвищених температурах (до 600 °С);

наплавлений метал, що дисперсно твердіє, високолегований з високою стійкістю у складних температурно-деформаційних умовах (до 1100 °С).

У табл. 15Д наведено деякі електроди для наплавлення поверхневих шарів з особливими властивостями.

Необхідно відзначити, що проведення наплавних робіт вимагає застосування спеціальної технології, яка – залежно від хімічного складу і стану основного і наплавленого металів – може використовувати обов'язкове виконання таких операцій, як попередній та супутній підігрів, термічна обробка для одержання заданих експлуатаційних властивостей наплавленого металу.





## **2.11. Електроди для зварювання та наплавлення чавуну**

До групи електродів для зварювання та наплавлення чавуну належать електроди для усунення за допомогою холодного зварювання і наплавлення дефектів у чавунних виливках, а також для ремонту устаткування, що вийшло з ладу, і відновлення зношених деталей. У ряді випадків електроди можуть бути застосовані при виготовленні зварно-литих конструкцій. Електроди для холодного зварювання та наплавлення чавуну не стандартизовані, тому їх виготовляють за окремими технічними умовами. Вони дозволяють одержувати наплавлений метал (метал шва) із заданими властивостями у вигляді сталі, сплавів на основі міді, нікелю, залізо-нікелевого сплаву.

Для холодного зварювання та наплавлення чавуну (тобто зварювання та наплавлення без попереднього підігріву) характерне проведення процесу з мінімальним тепловкладенням короткими швами довжиною 25...60 мм з охолодженням кожного на повітрі до температури не вище

60 °С. Іноді рекомендується проковування кожного шва легким ударом молотка. У табл. 16Д наведено електроди для зварювання й наплавлення сірого, високоміцного та ковкого чавунів. Для цієї ж мети можуть бути використані електроди марок ОЗЛ-25Б, ОЗЛ-27, ОЗЛ-28 (див. табл. 14Д) і, за умови додаткової перевірки, ОЗБ-2М (табл. 2.15) [5].

**Таблиця 2.15. Електроди для зварювання міді та її сплавів**

Марка електрода	Положення зварювання	Основне призначення
Комсомолец-100		Зварювання та наплавлення виробів з технічно чистої міді
АНЦ/ОЗМ-2		Зварювання та наплавлення виробів з технічно чистої міді, що містить не більше 0,01 % кисню
АНЦ/ОЗМ-3		
АНЦ/ОЗМ-4		
ОЗБ-2М		Зварювання та наплавлення бронз, зварювання дефектів бронзових і чавунних виливків
ОЗБ-3		Виготовлення та відновлення електродів машин контактного зварювання методом ручного дугового наплавлення

## 2.12. Електроди для зварювання кольорових металів

Групу електродів для зварювання кольорових металів складають електроди для зварювання алюмінію, міді, нікелю та їхніх сплавів. Електроди для зварювання кольорових металів не стандартизовані, тому їх виготовляють за окремими технічними умовами. Виняток складають високонікелеві електроди, що застосовують для зварювання сплавів на залізонікелевій й нікелевій основах і високолегованих сталей, внаслідок чого вони класифікуються згідно ГОСТ 10052–75.





Зварювання кольорових металів істотно відрізняється від зварювання сталі, що обумовлено різкими відмінностями їхніх фізико-хімічних властивостей. Головними факторами, що визначають зварюваність кольорових металів, як вже відзначалося, є температури плавлення та кипіння, теплопровідність, спорідненість до газів, що містяться в повітрі (кисень, азот, водень) (див. п. 2.7).

### **2.12.1. Електроди для зварювання алюмінію та його сплавів**

Алюміній і алюмінієві сплави мають малу щільність, високу тепло- й електропровідність, підвищену корозійну стійкість. Особливістю алюмінію та його сплавів є швидке окиснення. Це призводить до того, що на поверхні практично завжди присутня щільна тугоплавка плівка оксиду алюмінію. Ця плівка може утворюватися й на поверхні зварювальної ванни, що порушує стабільність процесу зварювання, перешкоджає формуванню шва, викликає появу непроварів і неметалевих включень. Для одержання якісних зварних з'єднань необхідно приймати спеціальні засоби, спрямовані на вилучення оксидної плівки. При ручному дуговому зварюванні це досягається шляхом додавання до складу електродного покриття хлористих і фтористих солей лужних і лужноземельних металів. У розплавленому стані ці матеріали створюють необхідні умови для вилучення плівки та стабільного горіння дуги.

У табл. 2.16 наведено розповсюджені електроди для зварювання алюмінію та його сплавів [5]. Зварювання виконується постійним струмом зворотної полярності.

**Таблиця 2.16. Електроди для зварювання алюмінію і його сплавів**

Марка електрода	Положення зварювання	Основне призначення
ОЗА-1		Зварювання та наплавлення технічно чистого алюмінію
ОЗА-2		Зварювання дефектів виливків наплавлення виробів з алюмінієво-кремнієвих сплавів
ОЗАНА-1		Зварювання та наплавлення виробів з технічно чистого алюмінію
ОЗАНА-2		Зварювання дефектів виливків і наплавлення виробів з алюмінієво-кремнієвих сплавів

### **2.12.2. Електроди для зварювання міді та її сплавів**

Мідь має високу тепло- та електропровідність, підвищену текучість розплавленого металу. Для неї характерна активність при взаємодії з га-

зами, особливо з киснем і воднем, що може бути причиною утворення пор у металі шва та мікротріщин. Для запобігання появи таких дефектів у зварних з'єднаннях слід застосовувати тільки добре розкиснену мідь. Зварювання необхідно виконувати ретельно прожареними електродами, основний метал в місцях накладення швів повинен бути добре зачищений до металевого блиску з вилученням оксидів, забруднень, жирів та ін.

При зварюванні латуней і бронз виникають додаткові труднощі. Зварювання латуні ускладнюється інтенсивним випаровуванням цинку, зварювання бронз – високою крихкістю та малою міцністю в нагрітому стані.

У табл. 2.15 наведено електроди для зварювання міді та її сплавів. Зварювання виконують постійним струмом зворотної полярності.



### ***2.12.3. Електроди для зварювання нікелю та його сплавів***

Нікель і особливо його сплави є міцними і в'язкими матеріалами. Вони, залежно від складу, відзначаються високою корозійною, жаростійкістю та жароміцністю. Зварювання нікелю та його сплавів ускладнено внаслідок великої чутливості останніх до домішок і, у першу чергу, до розчинених газів (кисню, водню й особливо азоту), а також високої схильності до утворення гарячих тріщин. Для попередження можливого утворення пор і тріщин необхідно застосовувати основний метал та зварювальні електроди високої чистоти, здійснювати їхню якісну підготовку до зварювання.

У цілому за технологією та технікою ручного дугового зварювання нікель і його сплави близькі до високолегованих корозійностійких сталей.

У табл. 2.17 наведено електроди для зварювання технічно чистого нікелю і монель-металу (сплаву НМЖМц28-2,5-1,5) [5, 18]. Електроди для зварювання інших сплавів на нікелевій основі наведено в групі електродів для зварювання високолегованих сталей і сплавів.




**Таблиця 2.17. Електроди для зварювання технічно чистого нікелю та монель-металу**

Марка електрода	Діаметр, мм	Положення зварювання	Основне призначення
ОЗЛ-32	3,0; 4,0		Зварювання технічно чистого нікелю, наплавлення корозійностійких шарів на вуглецеві та високолеговані корозійностійкі сталі. Зварювання нікелю з вуглецевими та високолегованими корозійностійкими сталями
В-56У	3,0; 4,0		Зварювання монель-металу, наплавлення корозійностійкого шару на вуглецеву сталь. Зварювання двошарових сталей (Ст.Зсп + монель-метал) з боку корозійностійкого шару. Зварювання монель-металу з вуглецевою сталлю

### 2.13. Електроди для різання металу

У групу електродів для різання металів відносять електроди для дугового різання плавким електродом усіх марок сталей (у тому числі високолегованих), чавунів і кольорових металів. Різання виконують з використанням звичайного устаткування, призначеного для ручного дугового зварювання змінним або постійним струмом. У табл. 2.18 наведені електроди для різання металів [5].

**Таблиця 2.18. Електроди для різання сталей, чавунів, міді, алюмінію та їхніх сплавів**

Марка електрода	Положення зварювання	Основне призначення
ОЗР-1		Різання, стругання, прошивання отворів, вилучення дефектних ділянок зварних з'єднань і виливків
ОЗР-2		Різання стрижневої арматури діаметром до 40 мм. Різання, стругання, прошивання отворів, вилучення дефектних ділянок зварних з'єднань і виливків
ОЗР-3		Різання, стругання, прошивання отворів, вилучення дефектних ділянок зварних з'єднань і виливків

## 2.14. Неплавкі електроди

Неплавкі електроди для дугового зварювання виготовляються з вуглецевих речовин і вольфраму. Електроди з вуглецевих речовин поділяються на дві групи: графітові та вугільні. Питоме значення електроопору графітових електродів приблизно в 4 рази менше, ніж вугільних (табл. 2.19) [4], тому щільність струму в них може бути збільшена в порівнянні з вугільними в 2–3 рази. Вони більш стійкі проти окиснення, ніж вугільні, більш широко використовуються.

*Таблиця 2.19. Характеристики вугільних і графітових електродів*

Параметр	Електрод	
	вугільний	графітовий
Щільність, г/см <sup>3</sup>	1,7...2,0	Більше 2,2
Твердість по Моосу	Більше 6,0	Більше 0,2
Теплопровідність, Дж/(см·с·°С)	1779	2721
Питомий електричний опір, Ом·мм <sup>2</sup> /м	45...80	8...20
Температура початку окиснювання на повітрі, °С	500	640
Припустима щільність струму, А/см <sup>2</sup>	5...10	15...25

До складу шихти вугільних електродів входять наступні речовини, % мас.: кокс – 38,8; сажа – 15,4; смола кам'яновугільна – 23,0; електродний бій – 22,8. Вугільні електроди виготовляють у вигляді стрижнів діаметром 6; 8; 10; 12 і 15 мм, довжиною 250 і 500 мм з обмідненою поверхнею. Кінець електрода заточують під кутом 60...70°. Використовують також плоскі електроди прямокутного перерізу. Графітові електроди отримують з вугільних шляхом додаткової високотемпературної обробки – графітизації (тривала витримка при температурі 2500...2600 °С). Нагрівання здійснюється за рахунок проходження по стрижнях електричного струму. Графітові електроди за хімічним складом близькі до чистого вуглецю.

Вольфрамові електроди являють собою прутки діаметром від 1 до 10 мм з металу марки ЭВЧ. З метою підвищення стійкості електродів проти оплавлення торців у порошок вольфраму перед пресуванням дода-



ють 1,5...3,5 % окису лантану (лантановані вольфрамові електроди) або 1,1...1,4 % окису ітрію (ітровані вольфрамові електроди), табл. 2.20 [4]. Найбільш стійкими при зварюванні є ітровані електроди, що допускають максимальне струмове навантаження.

**Таблиця 2.20. Характеристика вольфрамових електродів з активуючими додатками (ГОСТ 23949–80)**

Марка	Вміст домішок, % мас.	Маркування торців прутків	Розмір прутків, мм	
			Діаметр	Довжина
ЕВЛ	(1,1...1,4) LaO	Чорний	1,0...4,0	75; 150
ЕВІ-1	(1,5...2,3) Y <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ,	Синій	5,0...10,0	200; 300
ЕВІ-2	(2,0...3,0) Y <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Фіолетовий	2,0...4,0	75; 150
ЕВІ-3	(2,5...3,5) Y <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ,	Зелений	5,0...10,0	200; 300

## *Розділ 3. ДРОТИ ДЛЯ ЗВАРЮВАННЯ ТА НАПЛАВЛЕННЯ*

### **3.1. Зварювальний сталевий дріт**

Зварювальний сталевий дріт використовують для виготовлення покритих електродів, механізованого й автоматизованого зварювання в захисних газах та під шаром флюсу, електрошлакового зварювання, а також в якості присадного для газового зварювання і зварювання неплавкими електродами.

Сталь для дроту виплавляється в кисневих конверторах, мартенівських або електродугових печах та розливається в зливки на машинах неперервного розливу. Останнім надається перевага. У ряді випадків сталь піддається додатковій спеціальній обробці для зниження вмісту шкідливих домішок, неметалевих включень та дегазації металу. Виливки прокатують в дріт діаметром 7...10 мм. Після прокатування дріт обробляють в розчинах кислот і лугів для видалення з його поверхні окалини. Далі дріт піддають холодному волочінню на багатоступінчастих волочильних станах. Якщо дріт при цьому одержує великий наклеп, що перешкоджає подальшій обробці до необхідного діаметра, то він надходить на проміжну термообробку для зняття наклепу. Нагрівання ведеться в інертній захисній атмосфері, що перешкоджає утворенню окалини.

В останній час сталеві дроти для зварювання виготовляють переважно на автоматизованому обладнанні, яке дозволяє волочити високоякісні дроти із швидкістю до 30 м/с [6]. Технологічний процес складається з двох етапів: перше та друге волочіння. Перше волочіння – найбільш важлива операція технологічного процесу виготовлення дроту суцільного перерізу. Суворе дотримання технології дозволяє отримувати дроти малого діаметра без попередньої термічної обробки. Друге волочіння, як правило, поєднане з процесом дифузійного міднення дроту.

Виробництво зварювального дроту поступово відокремлюється в самостійну галузь зварювального виробництва.

Вимоги до дроту вітчизняних виробників регламентуються стандартом ГОСТ 2246–70, який вже в значній мірі застарілий. Дріт виготовляють з низьковуглецевих, легованих та високолегованих сталей. Марки та хімічний склад дротів наведено у табл. 17Д [18]. Дріт постачається холоднотягнутим з діаметрами 0,3; 0,5; 0,8; 1,0; 1,2; 1,4; 1,6; 2,0; 2,5; 3,0; 4,0; 5,0; 6,0 і 8,0 мм. Умовне позначення марки дроту – це марка сплаву, з якого він виготовлений. В нього входять індекс Св (зварювальний) і наступні за ним цифри та літери. Цифри показують середній вміст у дроті вуглецю в сотих частках відсотка, а літери позначають найменування легуючих елементів і їхній середній вміст у відсотках. Якщо вміст легуючого елемента менше 1 %, то ставиться тільки відповідна літера. Літера А наприкінці умовної позначки марки низьковуглецевих і легованих дротів показує на підвищену чистоту металу за вмістом сірки та фосфору. Літера А також позначає азот як легуючий елемент і ставиться в середині позначки. Повна умовна позначка зварювального дроту складається з цифри, що показує діаметр дроту в міліметрах, індексу Св, умовної позначки марки сталі і номера ГОСТу. Може також додатково позначатися спосіб виробництва сталі: Ш – електрошлаковий; ВД – вакуумно-дуговий; ВІ – вакуумно-індукційний. Наприклад, 3 Св-08А-ГОСТ 2246–70; 2 Св-08ХГСМФА-Ш-ГОСТ 2246–70; 1,6 Св-15ГСТЮЦА-ВД-ГОСТ 2246–70. Якщо дріт призначений для виготовлення електродів, то наприкінці марки дроту ставиться літера Э, наприклад: 5 Св-08АЭ-ГОСТ 2246–70. Якщо дріт з обмідненою поверхнею, то після маркування дроту ставиться літера О.

Маркування зварювального дроту за ГОСТ 2246–70 відображає тільки хімічний склад сталі з якої виготовлений дріт, але споживачу потрібно також знати інформацію про механічні властивості наплавленого металу та технологічні характеристики дроту. В зв'язку з цим ТОВ "Кродес" та ІЕЗ ім. Є.О. Патона НАН України розробили та ввели в дію технічні умови на зварювальний дріт (ТУ У 05416923.028–97 та ТУ У 05416923.029–97),

які визначають необхідні споживачу металургійні, механічні та технологічні характеристики дроту: якість формування шва, засміченість металу шлаковими включеннями, характеристики границі текучості, тимчасового опору, ударної в'язкості наплавленого металу й т. п. [2]. Марочний сортамент більшості зварювальних дротів, що виготовляються згідно з новими технічними умовами, відповідає типовим закордонним аналогам. Процедура оцінки механічних властивостей металу шва або наплавленого металу передбачає зварювання спеціальних випробувальних зразків на регламентованих режимах та визначення категорій міцності й ударної в'язкості. Запропонована класифікація зварювальних дротів зручна у використанні, відповідає європейським та міжнародним вимогам, але потрібен час для її впровадження на території України.

Властивості дроту у значній мірі залежать від стану його поверхні. На поверхні зварювального дроту можуть бути присутні різні види металевих та неметалевих покриттів, технологічне мастило, що використовують при його волочінні, оксиди та продукти хімічного травлення, іржа, яка може утворюватися при зберіганні дроту.

Для покращення властивостей дроту на його поверхню наносять шар міді, використовуючи достатньо економічну технологію контактного міднення, яка заснована на різниці електродних потенціалів заліза (-0,44В) та міді (+0,34В). При зануренні заліза у розчин мідного купоросу ( $\text{CuSO}_4$ ) під впливом різниці потенціалів залізо переходить у розчин, а мідь осаджується на поверхні сталевого дроту. Для ущільнення мідного покриття дріт піддають додатковому деформуванню у волоці з використанням рідкого мастила. Після цього поверхня дроту має блискучий вигляд з рожевим кольором. Товщина мідного покриття повинна бути такою, щоб маса міді складала не більше 0,10...0,15 % маси дроту. Підсумковий вміст міді у дроті та покритті за ГОСТ 2246–70 не повинен перевищувати 0,25 % від загальної маси дроту. Наприклад, відповідно до німецького стандарту DIN 8559 ця ж величина складає 0,30 %. Нижня межа товщини мідного

шару повинна забезпечувати отримання суцільного покриття. Для дроту діаметром 1,2...2,0 мм оптимальна товщина мідного покриття дорівнює відповідно 0,15...0,20 та 0,4...0,6 мкм.

Технологічне мастило та мідне покриття не захищають сталевий зварювальний дріт від корозії (табл. 3.1) [3]. У зв'язку з цим для антикорозійного захисту зварювального дроту необхідно використовувати інгібований папір або поліетиленову плівку. В якості парофазних інгібіторів корозії звичайно використовують нітрид діциклогексиламіна, карбонат або хромат циклогексиламіна. Інгібітори цього класу здатні захистити великий об'єм. Вони розкладаються декілька років. При своєму розкладанні вони утворюють на поверхні дроту адсорбовану плівку, яка захищає метал від води та кисню повітря.

**Таблиця 3.1. Швидкість корозії дроту Св-08Г2С при зберіганні його в різних умовах, г/м<sup>2</sup>·рік**

Стан поверхні дроту	В лабораторії при 20 °С	На відкритому повітрі	Над 3%-м водним розчином NaCl при	
			20 °С	50 °С
З технічним мастилом	32	305	120	11950
Обміднений	28	350	70	9150
Електрохімічно очищений	2,5	270	25	7250

Умови зберігання та стан поверхні дроту суттєво впливають на його властивості. Тривала витримка дроту в атмосферних умовах призводить до збільшення контактного опору в парі "електродний дріт–зварювальний мундштук" (табл. 3.2). Ще більш суттєво збільшує контактний опір присутність іржі на поверхні дроту. Це значно підвищує інтенсивність розбризкування електродного металу при зварюванні, а також викликає значне електроерозійне та механічне зношування зварювального мундштука [3].

Стабільність процесу зварювання значно підвищується при використанні обмідненого дроту. Частота коротких замикань на стабільному ре-

жимі зварювання у вуглекислому газі збільшується з 10...20 до 25...50 с<sup>-1</sup>, що знижує рівень втрат металу на розбризкування на 20...40 % в широкому діапазоні зварювальних струмів (рис. 3.1) [3]. При цьому суттєво покращується якість формування шва.

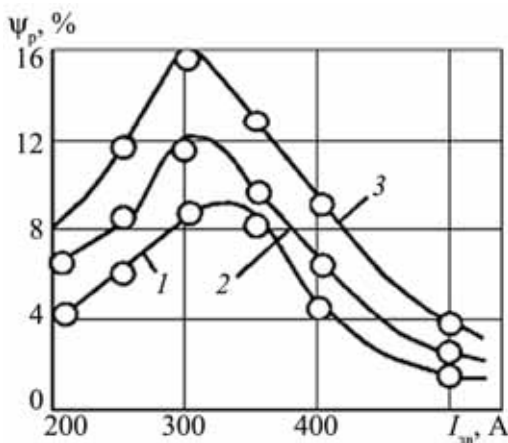
**Таблиця 3.2. Контактний опір дроту Св-08Г2С із різним станом поверхні, Ом·10<sup>-3</sup>**

Стан поверхні дроту	Витримка, діб	
	не більше 1	60
З технологічним мастилом	<u>55...100</u>	<u>90...235</u>
	85	120
Обміднений	<u>1,0...1,5</u>	<u>3...10</u>
	1,3	7
Електрохімічно очищений	<u>2,5...5,2</u>	<u>5,5...13,0</u>
	4,3	9,0
Іржавий	–	<u>95...750</u>
		320

*Примітки.* 1. У чисельнику – максимальне і мінімальне значення, у знаменнику – середнє. 2. Кількість випробувань – 5.

Рис. 3.1. Втрати металу на розбризкування  $\psi_p$  при зварюванні у вуглекислому газі:

1 – обміднений дріт; 2 – дріт з технологічним мастилом; 3 – дріт зі слідами іржі (діаметр 2 мм)



Стан поверхні дроту також впливає на вміст газів і шкідливих домішок в металі шва (табл. 3.3) [3]. При зварюванні у вуглекислому газі дріт із забрудненою поверхнею забезпечує найбільшу кількість водню, азоту, сірки та фосфору в металі шва. Джерелом водню в даному випадку є технологічне мастило, товщина якого 5...10 мкм. У якості технологічного

мастила при волочінні зварювального дроту використовують технічне мило, що містить жирні кислоти (40...50 %), луги (3...4 %), вологу (до 1 %) та інші органічні речовини. В результаті взаємодії з навколишнім середовищем технологічне мастило інтенсивно адсорбує вологу, що прискорює корозію дроту. Електрохімічне очищення дроту вилучає забруднені поверхневі шари, що призводить до зниження вмісту шкідливих домішок у дроті й металі шва.

**Таблиця 3.3. Вміст газів і шкідливих домішок у металі шва**

Стан дроту	Водень, см <sup>3</sup> /100 г	Азот	Сірка	Фосфор
		%		
Обміднений	2,8	0,010	0,022	0,020
З технологічним мастилом	4,6	0,012	0,024	0,022
Електрохімічно очищений	2,6	0,009	0,020	0,016
Електрохімічно очищений і обміднений	2,4	0,009	0,020	0,018

Номинальні діаметри електродного дроту для механізованого дугового зварювання відповідно до стандартів ISO 864, DIN 8559 та ГОСТ 2246–70 наведено у табл. 3.4 [3]. Більш жорсткі вимоги стандартів ISO 864, DIN 8559 порівняно з ГОСТ 2246–70 стосовно граничних відхилень від номінального діаметру знижують вірогідність гальмування дроту в каналі зварювального мундштука та забезпечує постійну щільність струму при зварюванні. Овальність дроту не повинна перевищувати 0,02 мм [18].

Дріт діаметром 0,6...0,8 мм слід намотувати на касети зовнішнім діаметром 100 та 200 мм, 1,0...1,4 мм – на касети діаметром 200 та 300 мм, 1,6...2,0 мм – на касети та котушки діаметром 300 мм. Діаметр намотування дроту впливає на стабільність струмопідводу в контакті "дріт–мундштук" і на розташування кінця електрода відносно осі мундштука (рис. 3.2) [3].

Критерієм якості намотування зварювального дроту служить діаметр відрізаного вільного витка дроту, що лежить на рівній горизонтальній поверхні. Цей діаметр повинен бути в межах 1000...1300 мм для дроту діаметром 1,2...2,0 мм. Власні напруження "закручення" дроту повинні бути

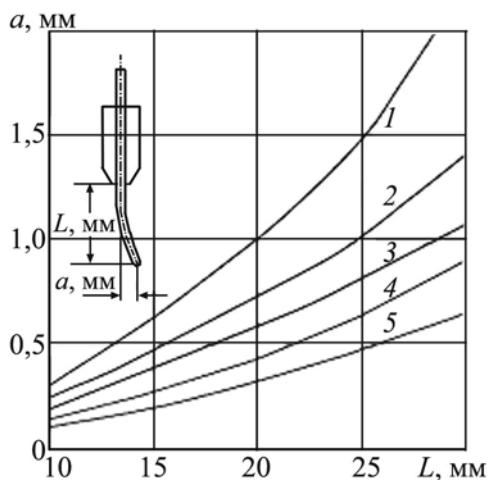
в таких межах, щоб кінець вільного витка дроту піднімався над поверхнею не більше, ніж на 20 мм.

**Таблиця 3.4. Номінальні діаметри зварювального дроту та припустимі відхилення від них відповідно до стандартів ISO 864, DIN 8559 та ГОСТ 2246–70, мм**

ISO 864		ГОСТ 2246–70		DIN 8559	
Діаметр	Допуски	Діаметр	Допуски	Діаметр	Допуски
0,5	+0,01...–0,03	0,5	–0,06	–	–
0,6	+0,01...–0,03	–	–	0,6	+0,01...–0,03
0,8	+0,01...–0,04	0,8	–0,07	0,8	+0,01...–0,03
0,9	+0,01...–0,04	–	–	0,9	+0,01...–0,03
1,0	+0,01...–0,04	1,0	–0,09	1,0	+0,01...–0,03
1,2	+0,01...–0,04	1,2	–0,09	1,2	+0,01...–0,03
1,4	+0,01...–0,04	1,4	–0,09	1,4	+0,01...–0,03
1,6	+0,01...–0,04	1,6	–0,12	1,6	+0,01...–0,04
2,0	+0,01...–0,07	2,0	–0,12	2,0	+0,01...–0,05
2,4	+0,01...–0,07	–	–	2,4	+0,01...–0,05
2,5	+0,01...–0,07	2,5	–0,12	–	–
3,2	+0,01...–0,07	–	–	3,2	+0,01...–0,06

Рис. 3.2. Вплив діаметра намотування дроту  $d_n$  на коливання  $a$  кінця електрода залежно від вильоту електрода  $L$ :

- 1 –  $d_n = 200$  мм; 2 –  $d_n = 300$  мм;
- 3 –  $d_n = 350$  мм; 4 –  $d_n = 435$  мм;
- 5 –  $d_n = 1000$  мм



Пакування зварювального дроту здійснюють переважно в інгібітований папір або поліетиленову плівку, що забезпечує його збереження протягом декількох років без порушення технологічних і металургійних властивостей [2].



Подальше вдосконалення сталевих дротів суцільного перерізу, за передбаченнями вітчизняних фахівців буде йти шляхом оптимізації їх складів для покращення технологічних, металургійних характеристик процесу зварювання, якості зварних з'єднань за рахунок мінімального вмісту шкідливих домішок (сірки, фосфору, миш'яку, сурми та ін.); мікролегування титаном, стронцієм, бором, рідкоземельними металами та ін.; зменшення масової частки вуглецю в деяких марках високолегованих дротів; зниження вмісту газів у дроті; підвищення однорідності заготовок та зменшення допустимих відхилень вмісту елементів від номінального складу; забезпечення мінімальних відхилень розмірів дротів від заданих при відсутності овальності [16].

### **3.2. Наплавний сталевий дріт**

Дріт сталевий суцільного перерізу (ГОСТ 10543–75 "Дріт сталевий наплавний") спеціально призначений для різних способів наплавлення. Хімічний склад деяких дротів наведено в табл. 18Д, а їхнє призначення в табл. 3.5 [18]. Дріт постачається діаметром, мм: 0,3; 0,5; 0,8; 1,0; 1,2; 1,4; 1,6; 1,8; 2,0; 2,5; 3,0; 4,0; 5,0; 6,0, 6,5 і 8,0.

Залежно від складу дроти поділяються на три групи: вуглецевий (9 марок), легований (11 марок) і високолегований (10 марок). Наплавні дроти відрізняються підвищеним вмістом вуглецю у порівнянні з дротами загального призначення (ГОСТ 2246–70), що і визначає твердість наплавленого металу. Принцип позначення марки та хімічного складу дроту такий же, як і прийнятий за ГОСТ 2246–70. Індекс Нп означає, що дріт наплавний. Приклад умовної позначки дроту діаметром 3 мм, виготовленого із сталі 40ХЗГ2ВФ: Дріт 3Нп-40ХЗГ2ВФ-ГОСТ 10543–75.

Для наплавлення шарів сталі з високою твердістю можуть використовуватися також пружинні дроти спеціалізованого призначення. Це дроти зі сталей марок 65ГА, 68ГА, 68А, а також дроти зі сталі марок 60С2А, 65С2ВА, 70С3А, 60С2ХФАИ, 50ХФА.

Особливості використання та збереження наплавних сталевих дротів такі ж самі, як і зварювальних сталевих дротів.

**Таблиця 3.5. Твердість і призначення наплавленого металу**

Марка дроту	Орієнтовна твердість наплавленого металу	Наплавлені вироби
Нп-25 Нп-30 Нп-35	НВ 160...220	Осі, шпинделі, вали
Нп-40 Нп-45	НВ 170...230	
Нп-50 Нп-65	НВ 180...240 НВ 220...300	Натяжні колеса, скати візків, ролики Ролики, осі
Нп-80	НВ 260...340	Колінчасті вали, хрестовини карданних валів
Нп-40Г	НВ 180...240	Осі, шпинделі, ролики, вали
Нп-50Г	НВ 200...270	Натяжні колеса, ролики гусеничних машин
Нп-65Г	НВ 230...310	Кранові колеса, осі опірних роликів
Нп-30ХГСА	НВ 220...300	Прокатні валки, кранові колеса
Нп-30Х5	HRC 37...42	Прокатні валки сортопрокатних станів
Нп-40Х3Г2МФ	HRC 38...44	Деталі, які працюють на удар і абразивне спрацювання
Нп-40Х2Г2М	HRC 54...56 після гартування	Деталі машин, що працюють з динамічним навантаженням (колінчасті вали, поворотні кулаки, осі опірних катків)
Нп-55ХНМ	HRC 40...50	Кувальні й вирубні штампи, валки кувальних машин
Нп-50ХФА	HRC 43...50	Вали, колінчасті вали двигунів внутрішнього згорання
Нп-50Х6ФМС	HRC 42...48	Валки трубпрокатних і сортопрокатних станів, прокатні валки, штампи гарячого штампування
Нп-105Х Нп-20Х14	HRC 32...38	Штампи холодного штампування, вали змішувачів Ущільнювальні поверхні засувки для пари і води
Нп-30Х13	HRC 38...45	Плунжери гідропресів, шийки колінчастих валів, штампи
Нп-30Х10Г10Т	НВ 200...220	Лопасті гідротурбін, гребні гвинти та вали морських суден
Нп-40Х13	HRC 45...52	Опірні ролики тракторів і екскаваторів, деталі транспортерів

Продовж. табл. 3.5.

Марка дроту	Орієнтовна твердість наплавленого металу	Наплавлені вироби
Нп-45Х4В3Ф	HRC 38...45	Валки лирокатних і сортопрокатних станів, штампи гарячого штампування
НП-45Х2В8Т	HRC 40...46	Ножі для різання гарячого металу, пресовий інструмент
Нп-60Х3В10Ф	HRC 42...50	Валки трубопрокатних і сортопрокатних станів, штампи гарячого штампування
Нп-Г13А	HB 220...280	Залізничні хрестовини, щоки дробарок, зуби ковшів
Нп-Х15Н60, Нп-Х20Н80Т	HB 180...220	Деталі реторт і печей, що працюють при високій температурі Вихлопні клапани автомобільних двигунів

### 3.3. Дріт для зварювання алюмінію та його сплавів

Зварювальні дроти суцільного перерізу за (ГОСТ 7871–75) призначені для зварювання алюмінію та його сплавів. Марки та хімічний склад дротів наведено в табл. 19Д [4].

Дріт виготовляють з алюмінію та його сплавів. Алюміній легують манганом, магнієм, кремнієм, міддю, а також елементами-модифікаторами: залізом, титаном, берилієм, цирконієм, ванадієм, які сприяють здрібненню структури металу шва, що підвищує його міцність і стійкість проти утворення тріщин. Його виготовляють волочінням або пресують до діаметра 0,8...12 мм.

Дріт поставляють з консервуючим мастилом, що захищає його від корозії. На вимогу замовника він може бути поставлений і без мастила. Наявність на поверхні зварювального дроту різного роду забруднень, у тому числі й консервуючого шару, а також оксидів алюмінію впливає на утворення пор у швах і механічні властивості. Тому перед зварюванням дріт підлягає хімічній обробці. Рекомендують наступну технологію [4]: промивання розчинником для видалення жирових забруднень; травлення у 15%-му розчині технічного їдкового натрію протягом 5...10 хв при темпе-

ратурі 60...70 °С; промивання в холодній воді, сушіння, дегазація за температури 350 °С протягом 5...10 год у вакуумі  $10^{-1}$  Па (вакуумне сушіння). Операція вакуумування може бути замінена прожарюванням в атмосфері повітря при температурі 300 °С протягом 10...30 хв.

На суднобудівних підприємствах досить успішно використовують наступну технологію: видалення консервуючого мастила органічними розчинниками (бензин, ацетон, гас та ін.); травлення при температурі від +60 до +70 °С протягом 5...20 хв у розчині: їдкий натрій 8...12 г/л (загальна лужність травильного розчину повинна складати від 2 до 5 %); промивання в гарячій проточній воді за температури +50 °С протягом однієї хвилини; промивання в холодній воді; освітлення в розчині: хромовий ангідрид 100 г/л і сульфатна кислота (часткова маса 1,84 г/см<sup>3</sup>) в кількості 10 мл/л при температурі від +15 до +25 °С або в 15 % розчині азотної кислоти при температурі від +60 до +65 °С протягом від 2 до 5 хв; промивання в холодній воді; промивання в гарячій воді; сушіння при температурі від +60 до +80 °С.

Добрі результати з очищення алюмінієвого дроту дає електрополірування його поверхні. В якості електроліту використовують розчин наступного складу: 70 мл  $\text{H}_3\text{PO}_4$ , 300 мл  $\text{H}_2\text{SO}_4$ , 42 г  $\text{Cr}_2\text{O}_3$ . Полірування проводять за температури 95...100 °С. Для кожного діаметра дроту при постійній швидкості протягування його крізь ванну існує мінімальний струм, при якому стабільно йде процес полірування. Наприклад, при швидкості протягування 100 м/год електрополірування дроту марки АМг6 діаметром 1,6 мм можливе при струмі 19,8 А, а діаметром 2,5 мм – 130 А.

Для зменшення кількості пор у швах після хімічної обробки зварювальний дріт рекомендується підігрівати в інертному газі за температури 200...480 °С протягом 80...30 хв відповідно. Це значно зменшує кількість адсорбованої вологи на поверхні дроту. Підігрівання дроту в аргоні знижує вміст адсорбованої вологи не менше, ніж у 5 разів.

Обробляють дріт на спеціалізованих ділянках, обладнаних ваннами з підігрівом, у які дріт подається шляхом послідовного розмотування бухт.

Обробка в бухтах не забезпечує необхідної якості чистоти поверхні. Найбільш раціонально й економічно доцільно дріт хімічно обробляти на підприємствах, які його випускають. Після чого його рубають на присадний дріт визначеного розміру або намотують в стандартні касети. Присадний дріт, а також касети пакують переважно в герметичну тару.

Найкращі технологічні властивості забезпечує дріт, поверхня якого пройшла електрополірування.

Хімічно оброблений дріт при збереженні на повітрі придатний до зварювання протягом доби.

### **3.4. Дріт для зварювання міді та її сплавів**

Дріт і прутки (ГОСТ 16130–72 "Дріт і прутки з міді та сплавів на мідній основі зварювальні") призначені для зварювання й наплавлення міді та її сплавів. Багато марок дротів і прутків використовують в якості припоїв. Більшість марок і хімічний склад дротів і прутків наведено в табл. 20Д [4].

Зварювальні прутки виготовляють таких марок: М1р; МЗр; Бр.ОФ6,5-0,15; Бр.ОЦ4-3; Бр.АМц9-2; Л060-1; ЛК62-0,5; Л63; ЛМц58-2; ЛЖМц59-1-1; ЛОК59-1-0,3 і ЛКБО-62-0,2-0,04-0,5. Прутки постачаються діаметром 6 і 8 мм. Призначення дроту та прутків наведено в табл. 3.6 [18].

Багато дротів з міді та її сплавів виготовляють методом пресування. Циліндричний вилівок нагрівають до температури 700...1000 °С і подають у циліндр преса, з якого видавлюють поршнем крізь отвір циліндра у вигляді прутка, який далі піддають волочінню в холодному стані. Мідь, однофазні латуні й бронзи легко піддаються волочінню. Багатофазні сплави – погано. Вони сильно наклепується в холодному стані, що утруднює волочіння. При наклепуванні дріт підлягає проміжному світлому відпалу, а потім – подальшому волочінню. Світлий відпал полягає у нагріванні металу в атмосфері інертних захисних газів, що запобігає утворенню оксидів на його поверхні.

Таблиця 3.6. Призначення дроту та прутків

Марка сплаву	Призначення
M1	Для автоматичного зварювання під шаром флюсу виробів із міді, виготовлення електродів для зварювання міді та чавуну, газового зварювання невідповідальних конструкцій з міді
M1p, M3p	Для газового зварювання конструкцій загального призначення з міді
MSp1	Для газового зварювання відповідальних і електротехнічних конструкцій з міді
MНЖ5-1	Для виготовлення електродів для зварювання мідно-нікелевого сплаву, мідно-нікелевого сплаву з латунню й алюмінієво-мангановою бронзою
MНЖКТ5-1-0,2-0,2	Для ручного, механізованого й автоматичного зварювання у захисних газах мідно-нікелевого сплаву, міді з бронзою, латунню і сталлю, а також для наплавлення на сталь
Бр.КМц3-1	Для ручного зварювання в захисних газах конструкцій з міді, автоматичного зварювання міді під шаром флюсу та виготовлення електродів для зварювання міді
Бр.ОЦ4-3	Для ручного зварювання в захисних газах міді, автоматичного та механізованого зварювання під флюсом міді й латуні та виготовлення електродів для зварювання міді
Бр.АМц9-2	Для ручного зварювання в захисних газах алюмінієво-манганової бронзи, міді і мідно-нікелевого сплаву з алюмінієво-мангановою бронзою; для ручного, механізованого й автоматичного наплавлення в захисних газах на сталь; для механізованого зварювання в захисних газах Al-Mn-Fe та Mn-Fe латуней
Бр.АЖМц10-3-1,5	Для виготовлення електродів для зварювання Al-Fe бронзи
Бр.ОФ6,5-0,15	Для ручного зварювання в захисних газах олов'яно-фосфористої бронзи й олов'яних бронз
Бр.Х0,7; Бр.ХНТ; Бр.НЦр; Бр.НЦрТ	Для ручного аргонодугового зварювання бронз
Бр.Х0,7	Для автоматичного зварювання хромистої бронзи під шаром флюсу
Л63	Для газового зварювання латуні
ЛК62-0,5	Для газового зварювання латуні
ЛО60-1	Для газового зварювання латуні, легованої оловом
ЛКБО62-0,2-0,04-0,5	Для газового зварювання латуні й паяння міді без застосування флюсу
ЛМц58-2; ЛЖМц59-1-1; ЛОК59-1-0,3	Для зварювання латуні, паяння міді та міді з латунню

Перед зварюванням поверхню дроту ретельно обробляють та знежирюють. Очищення може виконуватися механічним способом до металевого блиску, але найбільш раціонально виконувати його травленням у розчині, що складається з 75 см<sup>3</sup>/л HNO<sub>3</sub>, 100 см<sup>3</sup>/л H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> та 1 см<sup>3</sup>/л HCl, з наступним промиванням у воді та лузі, знову в чистій воді і просушуванням гарячим повітрям [4]. Можна також виконувати хімічне очищення поверхні дроту за наступною технологією: травлення в розчині їдкого натрію від 20 до 25 г/л, тринатрій фосфату 50 г/л, кальцинованої соди 50 г/л, рідкого скла від 5 до 10 г/л при температурі від +60 до +70 °С протягом від 5 до 20 хв; промивання в гарячій (+50 °С) воді протягом однієї хвилини; промивання в холодній воді; освітлення в розчині: хромовий ангідрид від 100 до 150 г/л, сульфатна кислота від 30 до 50 г/л; промивання в гарячій (+50 °С) воді протягом однієї хвилини; промивання в холодній воді; просушування при температурі 100...110 °С [18].

### **3.5. Дріт для зварювання титану та його сплавів**

Титановий зварювальний дріт випускається діаметром 1...7 мм (табл. 3.7). Дріт постачається з чистою металевою поверхнею після травлення та дегазування (вміст водню не більше 0,003 % мас.). Дріт ВТ1-00 застосовується для зварювання технічного титану, а також поряд з дротом ВТ2св – для низьколегованих і псевдо-сплавів; дріт СПТ-2 – для високоміцних сплавів [4].

Якість зварних з'єднань титанових сплавів у значній мірі визначається технологією підготування поверхні деталей і дроту до зварювання. Кромки деталей та дріт піддають механічній обробці, а перед зварюванням знежирюють спиртом-ректифікатом або ацетоном. Якщо деталі та дріт пройшли гарячу механічну або термічну обробку без захисної атмосфери, необхідно використовувати дробоструминне або гідропікоструминне очищення поверхні з наступним хімічним розрідженням оксидно-нітридної плівки, травленням, освітленням та промиванням (табл. 3.8) [4].

**Таблиця 3.7. Характеристика деяких промислових зварювальних дротів з титанових сплавів**

Марка	Вміст легуючих елементів і домішок, % мас.							Інші елементи	$d_{др}$ , мм	$\sigma_b$ , МПа, не більше	$\delta$ , %, не менше
	Al	V	Zr	Mo	N <sub>2</sub>	O <sub>2</sub>	H <sub>2</sub>				
					Не більше						
BT1-00	–	–	–	–	0,04	0,10	0,003	0,1	1,0...7,0	440	25,0
BT2св	2,0...3,0	–	–	–	0,04	0,12	0,003	0,3	1,6...7,0	490	20,0
BT6св	3,5...4,5	2,5...3,5	–	–	0,04	0,12	0,003	0,3	1,6...7,0	686	18,0
СПТ-2	3,5...4,5	2,5...3,5	1,0...2,0	–	0,04	0,12	0,003	0,3	1,6...7,0	686	18,0
BT20-1св	2,0	1,0	2,0	1,0	–	–	–	–	2,0...7,0	589	15,0

*Примітка.* Відносне подовження визначено при  $l = 5,65 \sqrt{F}$  мм, де  $F$  – площа поперечного перерізу дроту, мм<sup>2</sup>.

**Таблиця 3.8. Склад деяких розчинів для хімічної обробки поверхні деталей з титану перед зварюванням**

Призначення розчину	Склад	Тривалість травлення
Розрідження оксидної плівки	150...250 г/л нітрату натрію, 500...700 г/л натрію вуглекислого	Не менше 2 год
Травлення	220...300 мл/л плавикової кислоти, 480...550 мл/л азотної кислоти, температура не менше 25 °С	1...20 год
Освітлення	600...750 мл/л азотної кислоти, 85...100 мл/л плавикової кислоти	3...10 хв



Найбільш раціонально використовувати зварювальний дріт, який пройшов вакуумне прожарювання (вміст водню в дроті не перевищує 0,002...0,004 % мас.). Безпосередньо перед зварюванням дріт обов'язково знежирюють.

У приміщеннях, де проводиться зварювання титану та його сплавів, температура не повинна бути нижче +15 °С, а швидкість руху повітря – перевищувати 0,5 м/с.

### **3.6. Чавунні прутки для зварювання та наплавлення**

Присадний дріт з чавуну для газового зварювання та наплавлення сірого чавуну, для виготовлення покритих електродів для дугового зварювання та наплавлення чавуну виготовляють за ГОСТ 2671–70.

Залежно від призначення чавунні прутки поділяються на наступні марки:

А – для гарячого газового зварювання;

Б – для газового зварювання з місцевим нагріванням і для виготовлення покритих електродів:

НЧ-1 – для низькотемпературного газового зварювання тонкостінних виливків;

НЧ-2 – для низькотемпературного газового зварювання товстостінних виливків;

БЧ і ХЧ – для зносостійкого наплавлення.

Хімічний склад прутків повинен відповідати нормам, наведеним у табл. 3.9 [18].

### **3.7. Порошковий дріт**

У СРСР перші порошкові дроти для зносостійкого наплавлення валків прокатних станів були розроблені І.І. Фрум'яним із співробітниками ІЕЗ ім. Є.О. Патона на початку 50-х років минулого сторіччя.

Таблиця 3.9. Хімічний склад прутків, %

Марка прутка	Основні компоненти						Домішки, не більше	
	C	Si	Mn	S	P	Інші елементи	Cr	Ni
А	3,0...3,5	3,0...3,4	0,5...0,8	>0,08	0,2...0,4	–	0,05	0,3
Б		3,5...4,0		0,3...0,5				
НЧ-1		3,0...3,4		0,03...0,06 Ti 0,40...0,60 Ni	–			
НЧ-2		3,5...4,0						
БЧ	2,5...3,0	1,0...1,5	0,2...0,6	>0,05	>0,1	–	–	
ХЧ		1,2...1,5	0,5...0,8					1,2...2,0 Cr

Основні переваги порошкових дротів у порівнянні з іншими зварювальними матеріалами в тому, що необхідні механічні властивості зварного з'єднання, характеристики міцності та пластичності швів гарантуються без додаткової термічної обробки за рахунок оптимального підбору наповнювача, виходячи з конкретної технічної задачі.

Крім того, при використанні порошкових дротів, досягаються наступні переваги [1]:

підвищення продуктивності зварювальних робіт у 1,5...2,0 рази порівняно із механізованим зварюванням дротами суцільного перерізу;

можливість проведення зварювальних робіт без газу та флюсу (самозахисні порошкові дроти);

оптимальна форма швів;

простота в експлуатації та гарні добрі оперативні властивості;

кращі санітарно-гігієнічні характеристики;

можливість застосування в монтажних польових умовах.

Область застосування порошкових дротів:

відповідальні металоконструкції з важким режимом роботи;

мостові споруди;

резервуари й технологічні ємності нафтохімічних об'єктів;

ребра жорсткості корпусів суден, барж, платформ, балок естакад;

будівельні конструкції висотних будинків і промислових об'єктів;

технологічні та магістральні трубопроводи.

Порошковий дріт являє собою неперервний електрод трубчастої або іншої, більш складної конструкції (рис. 3.3) [14] з порошкоподібним наповнювачем – осердям електрода. Наповнювач електрода складається із суміші мінералів, руд, феросплавів, металевих порошоків, хімікатів та інших матеріалів. Призначення різних складових наповнювача аналогічне призначенню електродних покриттів – захист розплавленого металу від шкідливого впливу повітря, розкиснення, легування металу, зв'язування азоту в стійкі нітриди, стабілізація дугового розряду та ін. (див. п. 2.3). Складові наповнювача повинні, крім того, задовольняти загальноприйняті вимоги до всіх зварювальних матеріалів: забезпечувати добре формування шва, легке відокремлення шлакової кірки, провар основного металу, відсутність пор, тріщин, шлакових включень та інших дефектів, а також визначені механічні властивості швів і зварних з'єднань.

Виробництво порошкового дроту – досить складний і відповідальний технологічний процес. Він містить наступні основні операції: вхідний контроль шихтових матеріалів і стрічки оболонки; сушіння (при необхідності), подрібнення та просіювання шихтових матеріалів з контролем їхнього гранулометричного складу; готування шихти (її змішування); підготовка стрічки – оболонки; виготовлення партії порошкового дроту для підбору коефіцієнта заповнення; контроль хімічного складу й твердості наплавленого металу; коректування складу шихти (при необхідності); виготовлення партії порошкового дроту; пакування дроту відповідно до ГОСТ 26101–84, що гарантує тривалий термін його зберігання.

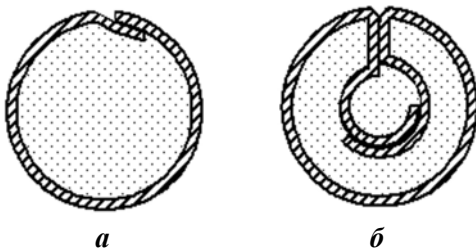


Рис. 3.3. Загальний вигляд перерізу порошкових зварювальних дротів:  
*a* – трубчастий з напуском;  
*б* – двошаровий

До складу устаткування для виробництва порошкового дроту на вітчизняних підприємствах входить верстат з дозаторами шихти, у якому роблять заготовку дроту. Потім на багатоступінчастих волочильних верстатах, встановлених в одну лінію з цим пристроєм, виконують волочіння дроту до отримання потрібного діаметру. Цей процес надійний, однак не забезпечує одержання порошкових дротів малого діаметра.

За кордоном досить широко використовують при виробництві порошкових дротів процес прокатування, під час якого можна виготовляти дріт з коефіцієнтом заповнення вище, ніж при волочінні. Однак при цьому способі необхідно використовувати більш складне й дороге устаткування.

Дроти, виготовлені методом волочіння, проходять обробку прожарюванням для видалення залишків мастила (див. п. 3.1). При цьому на поверхні дроту утворюються плівки оксидів, що збільшують електроопір в контакті "дріт–мундштук" та погіршують стабільність горіння дуги. Для рутілових порошкових дротів це компенсується додаванням в наповнювач гігроскопічних стабілізаторів дуги. При виготовленні порошкових дротів шляхом прокатування використовують мінімальну кількість мастила, що не потребує наступного прожарювання дроту. Поверхня дроту залишається чистою та блискучою, що забезпечує оптимальний режим передачі струму. В цьому випадку до складу наповнювача дроту немає необхідності додавати гігроскопічні стабілізатори дуги. Це значно знижує кількість водню в металі шва. Зварні шви, які виконані з використанням дроту, виготовленого методом прокатування, містять водню в 2–3 рази менше, ніж у випадку використання дротів, виготовлених волочінням [10].

Необхідно відзначити, що провідні вітчизняні виробники порошкових дротів, такі як СП "ТМ ВЕЛТЕК" (м. Дніпропетровськ), НВФ "ЭЛНА" (м. Київ), ТОВ "Арксел" (м. Донецьк), поступово збільшують випуск порошкових дротів малого діаметра, що істотно розширює їх конкурентоспроможність.

Основними нормативними документами, що класифікують і регламентують застосування порошкових дротів на території України, є: ГОСТ 26271–84 "Дріт порошковий для дугового зварювання вуглецевих і низьколегованих сталей" та ГОСТ 26101–84 "Дріт порошковий наплавний", які в значній мірі застаріли й не відповідають сучасним вимогам.

Конструкція порошкових дротів класифікується ГОСТ на три типи: Т – трубчастий стиковий, Н – трубчастий з напуском, Д – двошаровий (див. рис. 3.3). За способом захисту ГОСТ поділяє порошкові дроти на чотири типи: Ф – зварювання та наплавлення під шаром флюсу, Г – у захисних газах, З – самозахисний, У – універсальний (під шаром флюсу, у захисних газах і без додаткового захисту).

Приклад умовного позначення порошкового наплавного дроту марки Пп-Нп-30ХГ2СМ, трубчастого стикового, самозахисного, діаметром 2,6 мм:

Пп-Нп-30Х5Г2СМ-Т-С-2,6 ГОСТ 26101–84.

Такий принцип класифікації досить зручний і дозволяє за умовною позначкою дроту приблизно оцінювати склад наплавленого металу, однак не визначає його технологічні характеристики й не наводить характеристики міцності та пластичності наплавленого металу. Для порівняння в довідковому додатку наведена класифікація порошкових дротів відповідно до європейського стандарту EN, американського AWS та німецького DIN для різних класів матеріалу.

Європейська та міжнародна класифікація поділяють порошкові дроти за складом наповнювача на три типи: рутилові (R – повільно застигаючий шлак, P – швидко застигаючий шлак), основні (B), металонаповнені (M) [10]. Крім того, порошкові дроти класифікують за механічними властивостями та хімічним складом наплавленого металу, просторовими положеннями при зварюванні, складом захисного середовища, вмістом дифузійного водню в наплавленому металі.

Металургійні особливості взаємодії наповнювача та захисної атмосфери з рідким металом при зварюванні порошковим дротом повністю

підпорядковуються загальним закономірностям взаємодії шлакової та газової фази з металом шва (див. п. 2.3, 4.3, 5.3).

Рутилові порошкові дроти в цілому характеризуються високими технологічними властивостями, широким діапазоном параметрів зварювання. Рутиловий флюс наповнювача традиційно забезпечує високу стабільність горіння дуги, дрібнокраплинний та струминний перенос присадного металу, добре формування шва. Рутиловий дріт використовують для зварювання сталей з границею міцності не більше 650 МПа і гарантованим рівнем ударної в'язкості до температури  $-50\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

Основні порошкові дроти в першу чергу використовують для зварювання сталей з високим рівнем вимог до ударної в'язкості при низьких температурах як після зварювання, так і після термообробки. Недоліки цих порошкових дротів – дещо нижчі технологічні властивості за рахунок великокрапельного перенесення металу, а також деякий ризик утворення шлакових включень та недостатнє проплавлення основного металу.

Металонаповнені порошкові дроти містять малу кількість або взагалі не містять шлакоутворюючих компонентів у наповнювачі, а також малу кількість стабілізаторів дуги. Як і при зварюванні суцільним дротом на поверхні швів, у даному випадку утворюється невелика кількість шлаку, що дозволяє виконувати багатошарове зварювання без проміжного вилучення останнього. Необхідний рівень ударної в'язкості металу шва гарантується до температури  $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Металонаповнені порошкові дроти також забезпечують більш високу продуктивність і якість зварювання, ніж суцільні дроти.

Склад наповнювача порошкових дротів, як вже було сказано, залежить від способу захисту при зварюванні. Наповнювач порошкових дротів для наплавлення під флюсом містить в основному легуючі компоненти у вигляді феросплавів, чистих металів, лігатур, карбідів, боридів і т. п. Для запобігання появи пор у наплавленому металі в наповнювач порошкових дротів, навіть тих, які призначені для наплавлення під шаром флю-

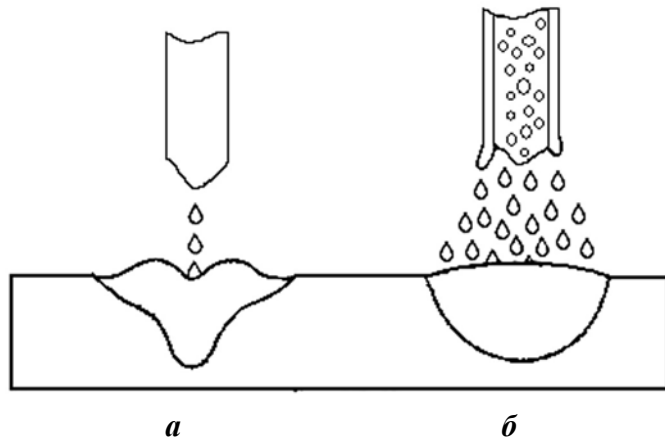
су, обов'язково додають активні речовини, які здатні зв'язувати водень в утворення HF, а азот – у міцні нітриди. Аналогічним чином виготовляють порошкові дроти для наплавлення в захисних газах. В наповнювач самозахисних порошкових дротів, для яких не потрібне додаткове захисне середовище у вигляді флюсу або газу, крім легуючих компонентів додають також газо- та шлакоутворюючі речовини, розкиснювачі й елементи, що мають велику спорідненість з азотом. Визначною рисою самозахисних порошкових дротів є те, що відсутність пор і добре формування наплавленого металу при заданому струмі, як правило, можна забезпечити лише у певному діапазоні напруги. Для більшості самозахисних порошкових дротів ці діапазони мають досить вузькі межі, тому, щоб забезпечити якісне наплавлення, необхідно ретельно стежити за дотриманням режимів.

В теперішній час найбільше поширення одержали порошкові дроти для зварювання у вуглекислому газі й самозахисні порошкові дроти [1, 10].

Важливою характеристикою порошкових дротів, від якої залежить можливий ступінь легування наплавленого металу, є коефіцієнт заповнення – відношення маси шихти наповнювача до маси дроту. Максимальне значення коефіцієнта заповнення (КЗ) порошкових дротів не перевищує 45 %. Досягти його можливо тільки при використанні в шихті порошкових дротів чистих металів або феросплавів, що містять карбіди, які мають велику щільність. Мінеральні компоненти з відносно невисокою щільністю не дозволяють одержати великі показники коефіцієнта заповнення. У більшості порошкових дротів, які на сьогодні виробляються, коефіцієнт заповнення складає 25...35 %. Якщо за умовами легування необхідний великий коефіцієнт заповнення, то для виготовлення порошкового дроту використовують більш тонку стрічку та збільшують діаметр дроту.

Технологічні особливості зварювання порошковим дротом пов'язані з його будовою, яка впливає на характер перенесення електродного металу (рис. 3.4).

Рис. 3.4. Зона проплавлення при зварюванні суцільним дротом (а) та порошковим (б)



Конструкція порошкового дроту увібрала до себе кращі характеристики способів ручного дугового зварювання покритими електродами та механізованого зварювання дротами суцільного перерізу. Зварювальна дуга порошкових дротів у перерізі ширша, ніж у суцільних дротів. Краплі розплавленого металу переносяться через дуговий проміжок менш концентровано і їхня енергія розподіляється більш рівномірно. Це дозволяє проводити зварювання на великих питомих щільностях струму, що стабілізує процес горіння дуги, забезпечує стабільне, рівномірне перенесення розплавленого металу крізь дуговий проміжок. Тепло дуги поширюється на велику поверхню. Це забезпечує в перерізі шва сприятливу округлу форму зони проплавлення. Формування поверхні зварного шва відбувається без турбулентності, що характерно для зварювання дротами суцільного перерізу. Практично відсутня небезпека непровару кореня шва при зварюванні кутових і таврових з'єднань. Забезпечується гарантована пластичність та ударна в'язкість зварного з'єднання за рахунок доброго розкиснення металу шва. Досягається підвищення продуктивності зварювання.

Зазначені переваги виводять порошковий дріт у лідери серед зварювальних матеріалів, у зв'язку з чим, обсяг його продажу неперервно зростає. Наприклад, на японських суднобудівних підприємствах більше 90 %



обсягу механізованого та роботизованого зварювання в захисних газах виконується порошковими дротами діаметром 1,2...1,6 мм [16].

Основним недоліком порошкових дротів великого діаметра (2,0...3,0 мм) є необхідність застосування для стабільного горіння дуги підвищених зварювальних струмів, що дозволяє використовувати їх тільки для зварювання в нижньому положенні й інколи у вертикальному. Це пояснюється тим, що утворена зварювальна ванна підвищеного об'єму, яка покрита рідким шлаком, не утримується у вертикальному та стельовому положеннях силою свого поверхневого натягу й тиском газів дуги. У зв'язку з цим на вітчизняних суднобудівних підприємствах переважно застосовується імпортований порошковий дріт малого діаметра.

Продуктивність процесу зварювання порошковим дротом значно вища, ніж суцільним за рахунок більш високої питомої швидкості плавлення. Це вочевидь видно з рис. 3.5 [10]. Крім того, швидкість плавлення порошкового дроту визначеного типу залежить від коефіцієнта його заповнення. Чим більший коефіцієнт заповнення, тим менша площа поперечного перерізу металеві оболонки дроту, більша питома щільність струму та швидкість його плавлення [10].

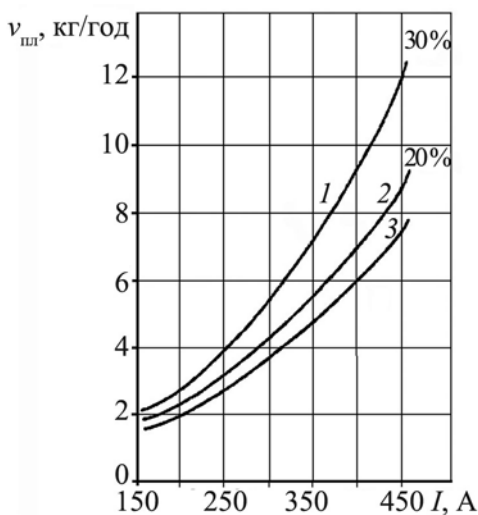


Рис. 3.5. Вплив коефіцієнта заповнення на швидкість плавлення для рутилових порошкових дротів діаметром 1,6 мм: 1, 2 – порошковий дріт з 30%-ми і 20% коефіцієнтами заповнення відповідно; 3 – суцільний дріт

При зварюванні порошковим дротом в нижньому положенні забезпечується підвищення продуктивності на 30...40 %, а при зварюванні у вертикальному або стельовому положеннях продуктивність збільшується в два та більше рази порівняно з механізованим і ручним дуговим зварюванням [1, 10, 21].

Однак зростання продуктивності процесу зварювання – не головна причина використання порошкового дроту. Дуже важливим є те, що поліпшується якість зварювання. Покращуються умови формування шва, зменшується ризик виникнення тріщин в конструкціях, які працюють тривалий час при динамічному навантаженні, особливо при низьких температурах [16]. Це досягається за рахунок того, що порошковий зварювальний дріт забезпечує досить низький рівень водню в наплавленому металі. Забезпечення вмісту водню не більше  $5 \text{ см}^3/100 \text{ г}$  не є проблемою для більшості металонаповнених та основних порошкових дротів у всьому діапазоні режимів зварювання [10].

Найбільший вміст водню мають рутилові порошкові дроти, що виготовляються методом волочіння. Для цих дротів необхідно ретельно дотримуватися рекомендованих умов зберігання та режимів зварювання. В протилежному випадку не забезпечується вміст водню в наплавленому металі менше  $5 \text{ см}^3/100 \text{ г}$ . У зв'язку з цим в останні роки надають перевагу дроту, що виготовляється комбінованим способом прокатування–волочіння. На поверхні такого дроту залишається дуже тонкий шар волочильного мастила, що забезпечує досить низький вміст водню в наплавленому металі та добрі умови подавання дроту в зону зварювання по гнучким шлангам [16].

Середній термін зберігання порошкових дротів у рекомендованих умовах без погіршення їх металургійних і технологічних характеристик обмежується двома роками [1]. Однак дослідження показують, що цей показник на практиці значно вищий [10].

До особливостей практичного використання порошкових дротів треба

віднести той факт, що у зв'язку з недостатньою твердістю трубчастої конструкції для забезпечення надійного їх застосування необхідно, як правило, використовувати чотирироликові подавальні пристрої [21].

На сьогодні промисловістю випускаються десятки марок порошкових дротів для зварювання та наплавлення низьковуглецевих, низьколегованих, теплотривких, високоміцних, жароміцних, спеціальних сталей, чавуну, кольорових металів і сплавів, напилювання міцних, зносостійких і захисних шарів, різання чорних і кольорових металів і т. п. Склади цих дротів не регламентовані ГОСТ і визначаються технічними умовами підприємств-виробників. У табл. 21Д–23Д наведено найбільш розповсюджені порошкові дроти провідних вітчизняних виробників для зварювання, наплавлення та різання. Більш докладну інформацію можна знайти в каталогах цих підприємств.

Частка порошкових дротів у загальному обсязі виробництва зварювальних матеріалів постійно збільшується. В 2000 р. в країнах ЄС збільшення виробництва складало 9 % [16], в Японії в 2001 р. – 30 % [28]. Використання порошкових дротів має велике майбутнє.

#### Розділ 4. ФЛЮСИ ДЛЯ ЗВАРЮВАННЯ ТА НАПЛАВЛЕННЯ

"Зварювальний флюс – матеріал, який використовують під час зварювання для хімічного очищення з'єднаних поверхонь, захисту розплавленого металу від навколишнього середовища та поліпшення якості шва" (ДСТУ 3761.3–98). Крім виконання основних функцій, флюс при зварюванні сприяє стабільному горінню дуги та покращує формування шва [11].

Серед різних існуючих способів механізованого зварювання із застосуванням флюсу найбільш поширеним є електродугове зварювання під шаром флюсу. Схема цього процесу представлена на рис. 4.1 [12]. Зварювальна дуга 2 горить між виробом 1 та кінцем зварювального дроту 3. В міру розплавлення дроту останній автоматично подається в зону зварювання. Дуга закрита шаром флюсу 4. Зварювальний дріт переміщується в напрямку зварювання за допомогою спеціального механізму (автоматичне зварювання) або самим зварником (механізоване зварювання). Під впливом тепла дуги основний метал та флюс плавляться. Рідкий шлак утворює навколо зони зварювання еластичну плівку 5, яка ізолює цю зону від доступу повітря. Краплі розплавленого металу зварювального дроту переходять через дуговий проміжок у зварювальну ванну 6, де змішуються з розплавленим основним металом. В міру переміщення дуги вперед метал зварювальної ванни охолоджується та кристалізується, формуючи шов 8. Шлак залишається рідким ще деякий час, захищає метал. Потім шлак твердіє, утворюючи на поверхні шва шлакову кірку 7.

Роль флюсу-шлаку при зварюванні та наплавленні дуже велика. Його складом визначається атмосфера дуги, від якої залежить стабільність її горіння, стійкість швів проти пороутворення, об'єм та співвідношення шкідливих газів. Від шлаку залежить і стабільність електрошлакового процесу. Взаємодія розплавленого шлаку з металом зварювальної ванни істотно впливає на хімічний склад металу шва, його структуру, стійкість проти утворення кристалізаційних (гарячих) тріщин та інших дефектів [18].

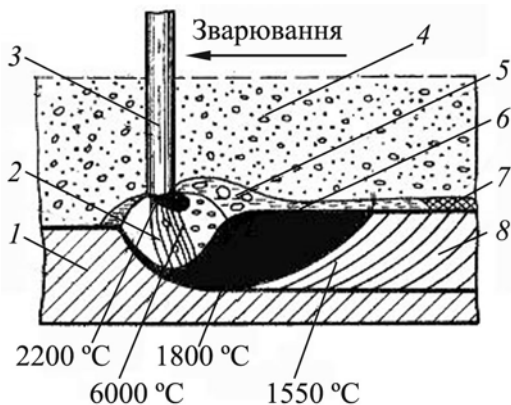


Рис. 4.1. Схема процесу електродугового зварювання під шаром флюсу

До найважливіших функцій шлаку, що мають значення при усіх видах зварювання плавленням, належать такі [12]:

забезпечення стабільності процесу зварювання;

якісне формування шва;

захист зони зварювання від оточуючого повітря;

попередження утворення у швах дефектів;

забезпечення необхідного хімічного складу, механічних властивостей металу шва та зварного з'єднання в цілому.

Склад флюсу повинен забезпечувати легке відокремлення шлакової кірки від поверхні металу та санітарно-гігієнічні умови зварювання. У процесі зварювання виділення шкідливих речовин повинне бути мінімальним. Крім цих загальних функцій є і специфічні для кожного виду зварювання.

#### 4.1. Класифікація зварювальних флюсів

Залежно від способу виготовлення флюси поділяють на плавлені, керамічні і плавлено-керамічні.

"Керамічний зварювальний флюс – флюс, який одержують у результаті змішування порошкових матеріалів із в'язучою речовиною, грануляції та подальшого термічного оброблення" (ДСТУ 3761.3–98). Деякі марки

керамічних флюсів виготовляють без в'язучої речовини (рідке скло) за рахунок спікання шихти.

Такі флюси застосовують переважно при наплавленні, оскільки вони дозволяють легувати наплавлений метал у широких межах концентрацій. Для цього у флюси вводять металеві порошки та феросплави.

*"Плавлений зварювальний флюс* – флюс, який одержують сплавленням його складових частин та подальшою грануляцією після кристалізації або безпосередньо із розплаву" (ДСТУ 3761.3–98). Компоненти шихти флюсів розплавляють в електричних або полумєневих печах з наступною грануляцією розплаву мокрим способом у воді, сухим подрібненням застиглої шлаку або розпиленням рідкого струменю розплаву повітряним потоком.

*Плавлено-керамічні* флюси в якості основи порошкової шихти містять плавлені флюси. Виготовлення флюсів іде за технологією виробництва керамічних флюсів. Сумісне використання обох методів дозволяє підвищити зварювально-технологічні властивості флюсу [23].

За призначенням розрізняють флюси загального призначення та спеціальні. *Флюси загального призначення* використовують для механізованого дугового зварювання та наплавлення вуглецевих і низьколегованих сталей аналогічним за хімічним складом дротом; *спеціальні флюси* – для окремих видів зварювання (наплавлення), наприклад, електрошлакового або зварювання високолегованих сталей.

За традицією у вітчизняній практиці марка флюсу вказує найменування розробника і його порядковий номер. Так, флюси, розроблені ІЕЗ ім. Є.О. Патона НАН України, мають позначення літерами "АН" (АН-348А, АН-20; АН-22 та ін.), що означає – "Академія Наук". Флюси, запропоновані НВО "ЦНИИТмаш", мають позначення літерами "ФЦ" – "флюс ЦНИИТмаш" і т. п. Поряд з цим були спроби ввести індекси, які у певній мірі характеризують склад флюсу, наприклад, ОФ-6 і ОФ-10 (основний флюс), КФ-16 (кислий флюс), НФ-17 (нейтральний флюс). Однак

ця практика дотепер не одержала широкого поширення серед розробників флюсів.

**Класифікація флюсів за хімічним складом.** Залежно від хімічного складу шлакової основи зварювальні флюси поділяють на три групи: оксидні, сольові та солеоксидні.

Оксидні флюси переважно складаються з оксидів металів і можуть містити до 10 % фтористих з'єднань. Їх переважно використовують для зварювання вуглецевих та низьколегованих сталей.

Флюси сольової групи утримують фтористі та хлористі солі металів, а також інші безкисневі хімічні сполуки. Їх застосовують для зварювання активних металів, таких як алюміній, титан та ін., а також в електрошлаковій технології.

Флюси солеоксидної групи містять фториди та оксиди металів. Ця група флюсів найбільш відповідає вимогам при зварюванні та наплавленні середньо- та високолегованих сталей і сплавів.

Оксидні флюси побудовані переважно на базі шлакової системи  $MnO-SiO_2$ , хоча є оксидні флюси на базі інших шлакових систем. Найбільш поширений розподіл флюсів за вмістом в них оксидів кремнію та мангану такий:

за вмістом кремнезему – безкремнієвий (кількість  $SiO_2$  у вигляді домішки до 5 %), низькокремнієвий (6...35 %  $SiO_2$ ) та висококремнієвий (більше 35 %  $SiO_2$ );

за вмістом мангану – безмангановий (кількість  $MnO$  у вигляді домішки до 1 %), низькомангановий (до 10 %  $MnO$ ), середньомангановий (15...30 %  $MnO$ ) та високомангановий (більше 30 %  $MnO$ ).

За хімічним складом, відповідно до документа Міжнародного інституту зварювання (International Institute of Welding – IIW) [26], зварювальні флюси розподілені на шість груп, а згідно з класифікацією ISO [2] пропонується п'ять типів флюсів (табл. 4.1).

**Таблиця 4.1. Класифікація зварювальних флюсів за вмістом основних складових**

Умовне позначення	Номер з/п, у системі класифікації	Вміст базових складових, %	Тип флюсу
<b>Класифікація IIW</b>			
CS	1	$\text{CaO} + \text{MgO} + \text{SiO}_2 > 50 \%$ ; $\text{CaO} + \text{MgO} > 15 \%$	Кальцієво-силікатний (Calcium-silicate)
MS	2	$\text{MnO} + \text{SiO}_2 > 50 \%$ ; $\text{CaO} < 15 \%$	Манганово-силікатний (Manganese-Silicate)
AR	3	$\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{TiO}_2 > 45 \%$	Глиноземно-рутиловий (Aluminate-Rutile)
AB	4	$\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{CaO} + \text{MgO} > 45 \%$ ; $\text{SiO}_2 > 22 \%$ ; $\text{CaF}_2 < 15 \%$	Глиноземно-основний (Aluminate-Basic)
FB	5	$\text{CaO} + \text{MgO} + \text{MnO} + \text{CaF}_2 > 50 \%$ ; $\text{SiO}_2 < 20 \%$ ; $\text{CaF}_2 > 15 \%$	Фторидно-основний (Fluoride-Basic)
ST	6	Будь-який склад	Легуючий
<b>Класифікація ISO</b>			
ZS	1	$\text{ZrO}_2 + \text{SiO}_2 + \text{MnO} > 45 \%$ ; $\text{ZrO}_2 < 15 \%$	Цирконієво-силікатний (Zirconium-Silicate)
RS	2	$\text{TiO}_2 + \text{SiO}_2 > 50 \%$ ; $\text{TiO}_2 < 20 \%$	Рутилово-силікатний (Rutile-Silicate)
AS	3	$\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{SiO}_2 + \text{ZrO}_2 > 40 \%$ ; $\text{CaF}_2 + \text{MgO} > 30 \%$ ; $\text{ZrO}_2 > 5 \%$	Глиноземно-силікатний (Aluminate-Silicate)
AF	4	$\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{CaF}_2 > 70 \%$	Глиноземно-фторидний (Aluminate-Fluoride)
Z	5	Будь-який склад	–

**Класифікація за основністю.** Хімічний вплив розплавленого флюсу-шлаку на метал шва у значній мірі визначається співвідношенням у його складі кислих, основних та амфотерних складових флюсу. До основних оксидів належать, наприклад,  $\text{CaO}$ ,  $\text{MgO}$ ,  $\text{MnO}$ ,  $\text{FeO}$  та ін., до кислих  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{TiO}_2$ ,  $\text{ZrO}_2$ . Оксиди алюмінію ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) і заліза ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ) мають амфотерний характер. Якщо у складі флюсу міститься багато кислих оксидів, то  $\text{Al}_2\text{O}_3$  і  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  мають характер основних оксидів; якщо у флюсі велику частку складають основні оксиди – то кислих. Фториди і хлориди практично не впливають (за деяким виключенням, наприклад  $\text{CaF}_2$ ) на основність шлаку [18].



Критерієм основності ( $B$ ) або кислотності ( $K$ ) флюсу-шлаку, на основі молекулярної теорії його будови є співвідношення компонентів, що входять до складу даного флюсу.

Флюси вважаються кислими при  $B < 1$ , основними – при  $B > 1$  і нейтральними – при  $B = 1$ . Класифікація флюсів-шлаків за ступенем основності або кислотності певною мірою формальна, оскільки розраховані коефіцієнти ( $B$ ) дають дуже приблизну оцінку властивостей флюсу. Фізичний зміст поняття основності флюсу-шлаку визначається активністю іона кисню. Чим вища активність іона кисню  $O^{2-}$ , тим вища основність флюсу.

Існує велика кількість формул для визначення основності флюсів і шлаків, за допомогою яких у тій або іншій мірі можна врахувати можливість утворення різних комплексних з'єднань. За даними Ю. Зеке запропоновано до 34 формул. Серед цієї групи найбільш поширена формула, прийнята ІВ [18]:

$$B = \frac{CaO + MgO + BaO + Na_2O + K_2O + Li_2O + CaF_2 + 0,5(MnO + FeO)}{SiO_2 + 0,5(Al_2O_3 + TiO_2 + ZrO_2)}, \quad (4.1)$$

де  $CaO$ ,  $MgO$ ,  $Al_2O_3$  і т. п. – вміст компонентів шлаку, %.

Є інший, більш уточнений запис цієї формули:

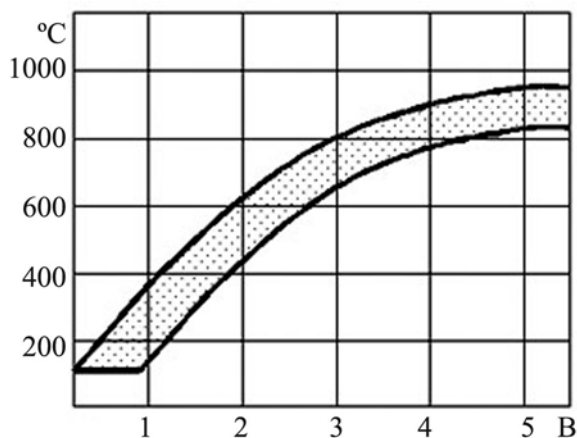
$$B = \frac{0,01CaO + 0,015MgO + 0,006CaF_2 + 0,014(Na_2O + K_2O) + 0,007(MnO + FeO)}{0,017SiO_2 + 0,005(Al_2O_3 + TiO_2 + ZrO_2)}. \quad (4.2)$$

Звичайно, чим вища основність флюсу, тим більша його схильність до гідратації. Тому температуру прожарювання можна з достатньою для практики точністю вибирати за номограмою (рис. 4.2) залежно від критерію основності  $B$  [20]. Прожарювання флюсів при визначеній температурі забезпечує вміст водню в наплавленому металі не більше  $3 \text{ см}^3/100 \text{ г}$ .

**Класифікація за хімічною активністю.** Методи оцінки хімічної (окисної) активності флюсів-шлаків можна умовно розділити на дві групи. Перша – це універсальні методи, придатні для оцінки металургійних характеристик захисного середовища при всіх способах зварювання плав-

ленням. Це, як правило, найбільш загальні та найменш точні методи. Друга група – це спеціальні методи оцінки, що враховують специфічні особливості процесу зварювання під флюсом.

Рис. 4.2. Залежність температури прожарювання флюсів від критерію основності В (рекомендована область заштрихована)



Універсальні методи оцінки хімічної активності зварювальних флюсів базуються на оцінці змін хімічного складу наплавленого металу під впливом захисного середовища (флюсу).

При оцінці хімічної активності флюсів за підсумковою окисною здатністю його складових оксидів використовують підсумкову кількість кисню, що бере участь у хімічних реакціях на міжфазній границі "метал–шлак". Відносну хімічну активність флюсу можна визначити відповідним коефіцієнтом:

$$A_{\phi} = \frac{\text{SiO}_2 + 0,5\text{TiO}_2 + 0,4(\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{ZrO}_2) + 0,42\text{B}^2(\text{MnO})}{100\text{B}},$$

де  $(\text{SiO}_2)$ ,  $(\text{MnO})$  і т. п. – вміст компонентів флюсу, %; В визначається за формулою (4.1) або (4.2).

Кореляційну залежність вмісту кисню в наплавленому металі від коефіцієнта відносної хімічної активності флюсу, встановлену на основі експериментальних даних, представлено на рис. 4.3 [20].

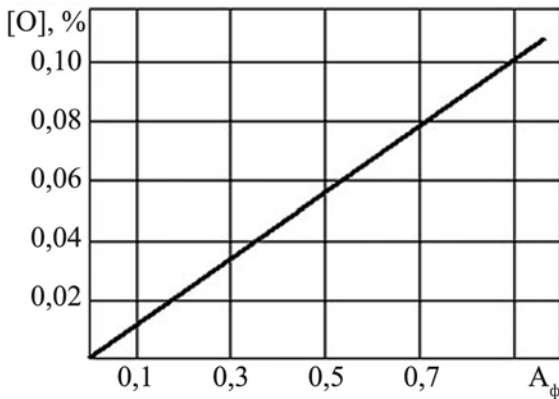


Рис. 4.3. Вміст кисню [O] в наплавленому металі залежно від коефіцієнта відносної хімічної активності флюсу  $A_\phi$  при зварюванні вуглецевих і низьколегованих сталей

Отриманий коефіцієнт кореляції ( $r = 0,96$ ) досить високий, що вказує на наявність тісного кореляційного зв'язку розглянутих величин, а експериментальні точки добре збігаються з теоретичною прямою. Залежно від режиму зварювання кут нахилу прямої до осі абсцис буде змінюватися. При використанні обмежених зварювальних струмів і підвищених напружень на дузі він буде більшим, а на форсованих режимах – меншим. Коефіцієнт відносної хімічної активності флюсу  $A_\phi$  досить повно характеризує окисну здатність флюсів. Змінюючись від 0 до 1, він дає можливість розташувати по спадній лінії плавлені флюси, які застосовують в промисловості. Виходячи з їхньої хімічної активності, можна легко орієнтуватися при виборі флюсу для зварювання тієї або іншої сталі. Відповідно до цього плавлені флюси, які містять оксиди кремнію та мангану, поділяють на наступні чотири групи: високоактивні ( $A_\phi > 0,6$ ); активні ( $A_\phi = 0,6 \dots 0,3$ ); малоактивні ( $A_\phi = 0,3 \dots 0,1$ ) та пасивні ( $A_\phi < 0,1$ ).

За металургійними властивостями відповідно до стандарту ISO 14171 усі флюси, незалежно від складу, поділяються на дев'ять класів [2].

Класи № 1–4 являють собою групу флюсів, при зварюванні й наплавленні під якими відбувається вигорання легуючих елементів від 0,7 (№ 1) до 0,1...0,3 (№ 4) % мас. Флюси класу № 5 відносяться до нейтральних, що не забезпечують приріст легуючого елемента (0...0,1) % мас., класи № 6–9 дають приріст легуючого елемента в наплавленому металі від 0,1...0,3 (№ 6) до 0,7 (№ 9) % мас.

Окисну або легуючу здатність флюсів оцінюють для кожного класу окремо. Для флюсів класу № 1 розглядається перехід тільки кремнію та мангану із флюсу до металу шва (у наведеній послідовності), № 2 – перехід елементів, відмінних від кремнію та мангану, наприклад хрому і т. п. Стандарт передбачає можливість альтернативної оцінки металургійних властивостей флюсу, що наводиться в супровідних документах на партію флюсу. Повідомляється порядок виготовлення зразків для експериментального визначення переходу елементів у метал шва, а також технологія наплавлення дослідних валиків.

За зовнішньою характеристикою зерен плавлені флюси класифікують на кристалічні, скло- та пемзоподібні. Склоподібний флюс являє собою суміш прозорих зерен різних відтінків кольорів (коричневого, зеленого, синього, чорного та білого). Пемзоподібний флюс має зерна схожі на пінистий матеріал, а кристалічний флюс характеризується кристалічною будовою зерен. Забарвлення таких флюсів може бути також найрізноманітнішим.

Класифікація флюсів за технологічними властивостями на теперішній час відсутня, однак до найбільш важливих технологічних властивостей зварювальних флюсів відносять такі [22]:

- стійкість проти утворення пор та гарячих і холодних тріщин у шві;
- якість формування валика шва;
- вплив на глибину проплавлення;
- можливість зварювання горизонтальних швів на похилій та вертикальній поверхнях;
- відокремлення шлакової кірки;
- механічна стійкість зерен при транспортуванні флюсу;
- санітарно-гігієнічні показники.

За родом використання зварювального струму флюси поділяють на дві групи: категорія DC (постійний струм) та категорія AC (змінний та постійний струми).

## 4.2. Особливості виготовлення флюсів

Процес виготовлення плавлених флюсів являє собою складний комплекс технологічних операцій в наступній послідовності [11]:

- вхідний контроль якості сировини;
- підготовка сировини (сушіння, подрібнення);
- завантаження шихти у піч та виплавка флюсу;
- випуск флюсу із печі та його грануляція;
- сушіння флюсу;
- просіювання флюсу за фракціями, контроль якості;
- пакування, маркування, складування та відвантаження флюсу споживачу.

В якості сировини для виготовлення зварювальних флюсів використовують різноманітні руди та продукти їх збагачення – концентрати. Якість сировини має вирішальне значення (див. п. 2.3).

Сировина повинна мати сертифікат якості та відповідати вимогам відповідного ГОСТ або ТУ. Незалежно від наявності сертифіката вона підлягає суворому вхідному контролю: перевіряється візуально зовнішній вигляд та відбирається проба на хімічний аналіз. При позитивному результаті сировину відправляють на склад. В процесі зберігання сировина не повинна забруднюватися та насичуватися вологою.

Основними технологічними операціями при виготовленні плавлених флюсів є виплавлення флюсу та його грануляція. Найбільш поширені наступні способи:

- виплавлення флюсів у газополумених печах. Як паливе використовують природний або коксовий газ. Грануляцію завжди здійснюють мокрим способом (виливанням розплаву в басейн з водою), що дає можливість одержувати флюс як склоподібної, так і пемзоподібної будови;

- виплавлення флюсів в електропечах. Грануляцію флюсу виконують мокрим або сухим способом (виливанням розплаву флюсу в металеву єм-

ність або розпиленням розплаву газовим струменем). При сухому способі грануляції забезпечується одержання у флюсі, а отже і в металі шва, значно меншого вмісту водню, ніж при мокрому.

Процес виготовлення флюсів у газополуменевих печах неперервний. Піч опалюється природним або коксовим газом. Схематичне зображення печі наведено на рис. 4.4 [12].

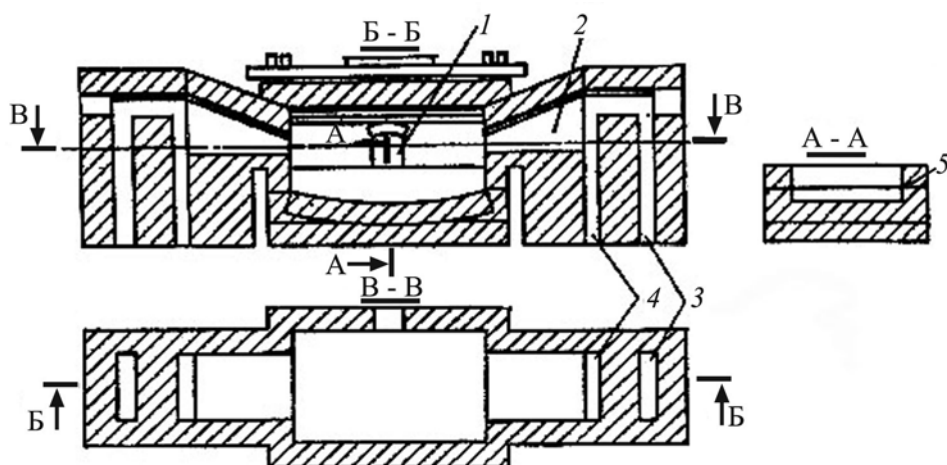


Рис. 4.4. Газополуменева флюсоплавильна піч

Газ та повітря подаються каналами 3 та 4 в камеру пальника печі 2, де вони змішуються. Повітря спочатку проходить крізь регенератор, в якому нагрівається теплом насадки, що підвищує температуру полум'я. Піч має два пальника. Кожні півгодини автоматично змінюється напрям руху пального та димових газів, що підвищує ефективність роботи печі. Піч має завантажувальне вікно 1 для завантаження печі та зливний отвір 5 для виливання флюсу. Стіни та стелю печі звичайно виготовлюють із динасу та хромомагnezиту.

В полуменевому просторі печі підтримується температура  $1450 \pm 20$  °С та відновлювальна газова атмосфера. Полум'я повинне стелитися по всій поверхні шихти та флюсомасі. Фізико-хімічні процеси при плавленні флюсу умовно поділяють на три стадії:

**силікатоутворення.** Випаровується більшість газоподібних складових шихти й остання спікається. Температура до 1100...1400 °С;

**флюсоутворення.** Починається з плавлення шихти і закінчується утворенням розчину, в якому відсутні частки, що не прореагували. Температура до 1350...1400 °С;

**дегазація та гомогенізація** розплаву. Закінчується при температурі 1400...1450 °С.

Другий спосіб плавлення флюсів – в електродних печах. Використовують трифазні електричні печі, які живляться від пічного трансформатора відповідної потужності. Пічні електроди виготовляють з графіту або вугілля (див. п. 2.14). Піч починає роботу в дуговому режимі, а основне плавлення йде в режимі електроопору. Режим плавлення автоматично регулюється зміною глибини занурення електродів. В електричній печі можлива дефосфорація розплаву за рахунок перерозподілу фосфору між супутнім металом та шлаком. В газополуменевій печі можна здійснити лише часткове вилучення сірки за рахунок окиснення.

В цілому, флюс, отриманий в газополуменевих печах, хімічно більш однорідний та значно дешевший. Однак, в технологічному плані електричні печі кращі від газополуменевих. Вони дозволяють виготовляти флюси практично будь-якого складу.

Грануляцію флюсу здійснюють переважно мокрим способом, іноді сухим. При мокрому способі грануляції розплав флюсу виливають в басейн з водою, при цьому він охолоджується, твердіє та розтріскується на дрібні зерна. Після сушіння в барабанних печах флюс сортують за розмірами зерен відповідно до ГОСТ або ТУ.

При сухому способі грануляції струмінь розплаву, що витікає із електричної печі диспергується потоком сухого повітря, яке подається під кутом 95...135° до струменя розплаву. При цьому вміст вуглецю та сірки у флюсі знижується на 20...40 %, азоту – на 20...30 % [11]. Сухий спосіб грануляції виключає операцію подрібнення, забезпечує відсутність пилу, покращує умови праці.

Якість вироблених плавлених флюсів повинна відповідати ГОСТ 9087–81.

При виробництві керамічних флюсів підготовка компонентів здійснюється в такий же спосіб, як при виготовленні обмазувальної маси зварювальних покритих електродів (див. п. 2.3).

Після підготовки сухої шихти здійснюють грануляцію одним із двох способів: обкатуванням за допомогою дискового гранулятора або агломерацією в процесі мокрого змішування.

Дисковий гранулятор являє собою гладкий диск 2 з бортом, що нахилений під кутом до горизонту (рис. 4.5). На диск з бункера 1 безперервно подається суха порошкоподібна шихта, на шар якої із форсунки 3 розбризкується в'язуча рідина – рідке скло. За рахунок сил поверхневого натягу краплі рідкого скла насичуються частками шихти та збільшуються. Відцентрові сили та сили тертя змушують гранули підніматися до ножа 4, який знову їх направляє вниз під дощ в'язучої рідини. Великі та дрібні гранули рухаються за неоднаковими траєкторіями. Відбувається сегрегація гранул та відбір найбільших гранул. Розміри гранул регулюються зміною кута нахилу та швидкістю обертання диска [18].

При другому способі грануляції використовують схильність сирих флюсових мас до огруднення. Сферичні гранули утворюються в процесі інтенсивного змішування сухої шихти з рідким склом. Для ущільнення гранул та надання їм більш правильної сферичної форми, зменшення гігроскопічності гранули додатково

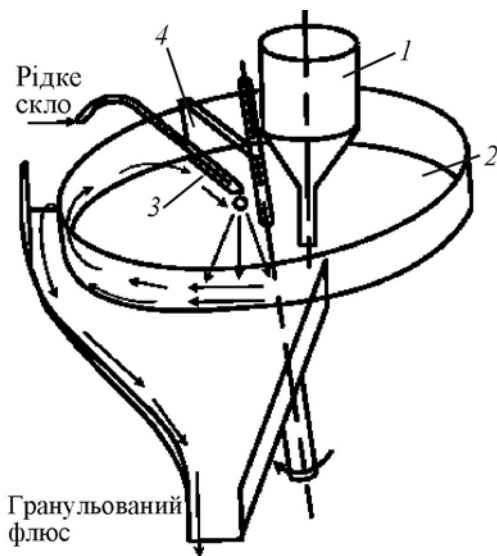


Рис. 4.5. Схема роботи дискового гранулятора



обробляють в доограднювачі. Принцип роботи дискового доограднювача практично такий самий, як і дискового гранулятора [11].

Сирі гранули керамічних флюсів надходять на термічну обробку від якої залежить якість флюсів. Флюси з високим вмістом легуючих компонентів (флюси для наплавлення) прожарюють при температурі 400...450 °С, флюси для зварювання низьколегованих сталей – 550...750 °С, флюси алюмінатно-рутилового типу – до 950 °С. Із збільшенням температури прожарювання покращуються технологічні властивості більшості керамічних флюсів, зменшується їх гігроскопічність. Однак при цьому треба попереджувати окиснення легуючих компонентів, розкладання карбонатів та вищих оксидів.

Достатньо широко на практиці використовують плавлено-керамічні флюси, які мають добрі технологічні властивості та досить суттєві можливості для легування наплавленого металу. Плавлено-керамічні флюси складаються з плавлених стандартних флюсів та феросплавів. Складові компоненти ретельно подрібнюють, при цьому розмір зерен повинен бути однаковим, що дозволяє отримати при змішуванні однорідну масу. Грануляцію плавлено-керамічних флюсів звичайно роблять з використанням у якості в'язучої складової рідкого скла способом агломерації з наступною термообробкою.

Відповідно до ГОСТ 9087–81 флюс постачається для механізованого дугового зварювання з розміром зерен 0,25...1,60 мм, для автоматичного дугового – 0,25...2,50; 0,25...4,0; 0,35...3,0 та 0,35...4,0 мм.

Перед пакуванням флюси перевіряють на відповідність ГОСТ або ТУ за наступними показниками: однорідність, гранулометричний склад, будова та забарвлення зерен, об'ємна маса, вологість. Крім того, для керамічних флюсів обов'язково проводять контрольні зварювальні випробування та визначають склад, а також властивості зварних швів. Готовий флюс може бути упакований в паперові мішки (за ГОСТ 17811–78), металеві барабани (за ГОСТ 5044–79), ящики типів П-1 та П-2 (за ГОСТ 2991–85),

в пакети (за ГОСТ 21929–76), які установлюють на універсальні платформи (за ГОСТ 26381–84) [18].

Транспортне маркування повинне відповідати ГОСТ 14192–77.

#### **4.3. Технологічні та металургійні особливості використання флюсів**

При виробництві плавлених флюсів у печі утворюється однорідна склоподібна маса, що містить вихідні компоненти в зв'язаному стані. При наступній грануляції склад зберігається. Тому в процесі зварювання під плавленими флюсами взаємодія металу відбувається із складними комплексними з'єднаннями, а не з вихідними речовинами. Плавлені флюси мають низьку схильність до гідратації, оскільки вони практично не містять гігроскопічних складових, а також високу однорідність флюсових зерен та їхню високу міцність. У зв'язку з тим, що всі компоненти флюсу знаходяться в зв'язаному стані, кількість газу, що виділяється при зварюванні, значно нижча, ніж при використанні керамічних флюсів. Це визначає більш спокійний характер протікання процесу зварювання та сприяє поліпшенню формування металу шва. До переваг плавлених флюсів варто також віднести можливість повторного використання шлакової кірки.

Однак, плавлені флюси надають дуже мало можливостей для легування металу.

Керамічні флюси містять у кожній гранулі в заданому співвідношенні мінерали, руди, феросплави, метали, вуглецеві речовини, що міцно з'єднані між собою в'язучою речовиною. Оскільки компоненти флюсу залишаються практично у природному стані, вони більш інтенсивно реагують з металом, ніж при використанні плавлених флюсів. Виникає можливість здійснювати легування металу в порівняно широкому діапазоні. Ця властивість керамічних флюсів особливо цінна при зварюванні легированих сталей, сталей з особливими властивостями та при виконанні наплавних робіт.

Керамічні флюси, на відміну від плавлених, можуть розкиснювати метал, що наплавляється. Як розкиснювачі в керамічних флюсах застосовують фероманган, феросиліцій, феротитан, алюмінієвий порошок, силікокальцій та ін. При цьому розкиснення наплавленого металу керамічним флюсом принципово відрізняється від розкиснення елементами, що вводяться в зварювальну ванну за допомогою електродного дроту. У першому випадку розкиснення металу може протікати в зоні відносно низьких температур у період контактування створеної рідкої металевої зварювальної ванни з розплавленим флюсом. При використанні легованого дроту розкиснювачі надходять у зварювальну ванну в початковий момент її утворення в зону найбільш високих температур.

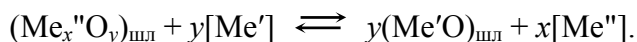
Температура зварювальної ванни відіграє важливу роль у процесах взаємодії на межі "метал–захисне середовище". При дуговому зварюванні зона плавлення умовно розподіляється на дві області за температурами: високотемпературна (зона горіння дуги, крізь яку проходять краплі електродного дроту, катодна й анодна області), низькотемпературна (зона кристалізації металу шва) (див. рис. 4.1). Температура крапель електродного металу залежить від способу зварювання (табл. 4.2) [18], але механізм взаємодії залишається однаковим.

**Таблиця 4.2. Середні температури крапель електродного металу та зварювальної ванни при різних способах зварювання**

Спосіб зварювання	Зварювана сталь	Середня температура, °С	
		зварювальної ванни	електродних крапель
Механізований під шаром флюсу, дріт Св-08А	Низьковуглецева	1700...1860	–
В аргоні, дріт Св-08		1625...1800	2560...3190
В CO <sub>2</sub> , дріт Св-08Г2С		1900	2590...2700
Електроди з кислим покриттям		1600...2000	2110...2200
Порошковий дріт рутилового типу	Низьколегована	1500...1610	2000...2700

Особливо сприятливі умови для взаємодії утворюються на стадії кра-

пель, які мають найбільш високу температуру. Узагальнена реакція між шлаком та рідким металом при зварюванні має наступний вигляд:



У результаті даної реакції в наплавленому металі зі збільшенням температури зростає концентрація  $[\text{Me}'']$ . По мірі зменшення температури процеси в більшості випадків починають відбуватися в протилежному напрямку. Однак швидкість цих процесів в низькотемпературній зоні значно нижча швидкості прямих процесів. Цим, в основному, пояснюється той факт, що кількість речовини, що прореагувала при прямому процесі, більша, ніж при зворотному. Таким чином відбувається легування або розкиснення металу шва.

Зростання температури сприятливо впливає на рафінування наплавленого металу, а також його дифузійне розкиснення. Повнота протікання реакцій залежить від часу проходження реакцій. Чим довше метал знаходиться у рідкому стані, тим більше реакції наближуються до стану рівноваги. Крім того, швидкість реакції взаємодії між флюсом та наплавленим металом пропорційна до відносної хімічної активності флюсу та зворотно пропорційна початковій концентрації відновлюваного елемента в металі шва.

У зв'язку з цим необхідно розглянути вплив режимів зварювання на інтенсивність взаємодії між шлаком та рідким металом. Численні дослідження показують, що зміна величини струму, його питомої щільності, полярності, швидкості зварювання незначною мірою впливають на інтенсивність взаємодії. Найбільший вплив має зміна напруги на дузі. Зі збільшенням напруги подовжується дуга, збільшуються розміри високотемпературної зони та створюються найбільш сприятливі умови для взаємодії.

Теоретично розрахувати реакції взаємодії між шлаком та металом неможливо, оскільки завжди відсутні повні дані. Для практичних цілей використовують емпіричні рівняння, які складені з урахуванням експериментальних даних. Наприклад, приріст кремнію та мангану в металі шва,

найбільш поширених легуючих елементів, можна розрахувати за допомогою наступних рівнянь [18]:

$$\Delta[\text{Si}] = 6,7 \cdot 10^{-2} \frac{A_{(\text{SiO}_2)} \cdot U}{[\text{Si}]_{\text{п}}} \left( \frac{5,3 \cdot 10^{-4}}{I} + \frac{3 \cdot 10^{-7} \cdot I}{V_{\text{зв}}} \right); \quad (4.3)$$

$$\Delta[\text{Mn}] = -0,1 + \frac{A_{(\text{MnO})} \cdot U}{[\text{Mn}]_{\text{п}}} \left( \frac{5,8 \cdot 10^{-2}}{I} + \frac{9,2 \cdot 10^{-6} \cdot I}{V_{\text{зв}}} \right), \quad (4.4)$$

де  $A_{(\text{SiO}_2)}$  та  $A_{(\text{MnO})}$  – відносні хімічні активності зварювальних флюсів за кремнієм та манганом відповідно;  $[\text{Si}]_{\text{п}}$ ,  $[\text{Mn}]_{\text{п}}$  – початкові концентрації кремнію та мангану в наплавленому металі, %;  $U$  – напруження на дузі, В;  $I$  – зварювальний струм, А;  $V_{\text{зв}}$  – швидкість зварювання, м/год.

Рівняння (4.3) і (4.4) справедливі в межах зміни концентрацій у флюсі:  $(\text{SiO}_2) = 0,26 \dots 52,3$  %;  $(\text{MnO}) = 0,07 \dots 51,1$  % та початкових концентрацій в наплавленому металі:  $[\text{Si}]_{\text{п}} = 0,04 \dots 0,75$  %;  $[\text{Mn}]_{\text{п}} = 0,21 \dots 1,86$  %. Аналіз рівнянь (4.3) та (4.4) підтверджує, що найбільше впливає на приріст кремнію та мангану зміна напруження на дузі та відносна хімічна активність флюсу. На практиці варіювання режимами зварювання досить обмежене необхідністю отримання прийняттого формування шва. У зв'язку з цим активність взаємодії між флюсом та наплавлювальним металом регулюють переважно за рахунок зміни відносної хімічної активності флюсу.

Подібний хід міркувань справедливий також стосовно до реакцій взаємодії між газами та металом у зоні плавлення.

Феросплави та метали, що містяться в керамічних флюсах та інших видах зварювальних матеріалів, розчиняються в зварювальній ванні безпосередньо, без проходження хімічних реакцій взаємодії між шлаком та рідким металом, що значно підвищує ефективність їх використання в якості легуючих та розкиснюючих компонентів.

Металургійні основи впливу шлаків на вміст шкідливих домішок (сірка, фосфор) та газів (водень, азот, кисень) в наплавленому металі мають

універсальний характер для всіх способів зварювання, що описується в п. 2.3. Там же розглянуто вплив даних елементів на якість металу шва та експлуатаційні характеристики зварного з'єднання в цілому. Стосовно зварювання під шаром флюсу треба відзначити, що за рахунок значної кількості рідкого шлаку, більш тривалого контакту металу зі шлаком при високих температурах забезпечення необхідної якості зварного з'єднання полегшується.

Зварювально-технологічні властивості флюсів також залежать від хімічного складу, будови та розмірів зерен флюсу.

Однією з найбільш важливішою характеристикою флюсу-шлаку є його в'язкість у рідкому стані. Від в'язкості залежать характер формування шва, глибина проплавлення основного металу, вихід газів із зони плавлення та ін. Шлаки не мають фіксованої температури плавлення. Перехід від рідкого стану в твердий здійснюється в деякому інтервалі температур. Залежно від характеру зміни в'язкості від температури шлаки бувають "довгі" та "короткі" (рис. 4.6) [20]. "Короткі" шлаки мають вузький температурний інтервал твердіння, "довгі" – значний. Короткі шлаки мають більш високу технологічність, їх перевага особливо відчутна при зварюванні у вертикальному та стельовому положеннях.

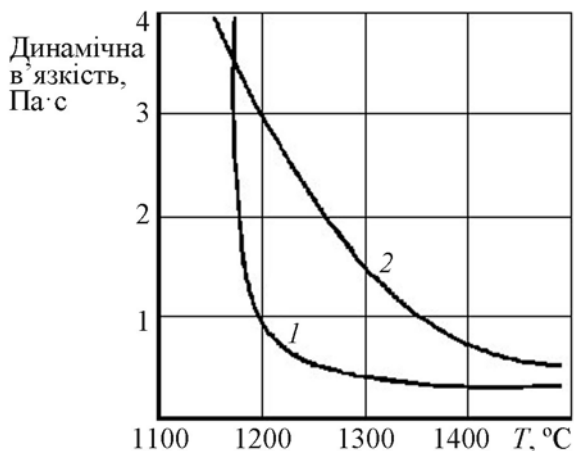


Рис. 4.6. Залежність в'язкості від температури для "короткого" (1) і "довгого" (2) шлаків

Необхідною умовою задовільного формування зовнішньої поверхні шва є його кристалізація в контакті з газом або рідким шлаком. Однак якщо при температурі твердіння металу шлак має надмірно високу в'язкість, у цьому випадку шов формується погано (за формою затверділої шлакової кірки). У випадку використання надмірно легкоплавкого флюсу також погіршується формування швів за рахунок утворення великого об'єму шлаку, що утруднює процес зварювання. Добра якість формування швів забезпечується при середній в'язкості шлаку. Найбільш сприятливі умови для кристалізації металу шва створюються, якщо умовна температура плавлення шлаків на 200...300 °С нижча від температури плавлення сталі.

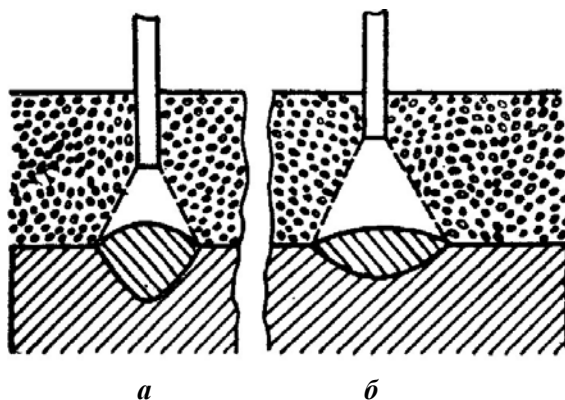
Шлаки повинні також мати достатню газопроникливість та щільність у рідкому стані. За малої щільності шлак легше виходить на поверхню зварювальної ванни, зменшуючи кількість неметалевих включень в металі шва.

При зварюванні плавленням обов'язковою вимогою до зварних швів є їхня оптимальна форма та зовнішній вигляд. На форму перерізу шва істотно впливають стабілізуючі властивості флюсу, його насипна маса та гранулометричний склад. При використанні флюсу з поганими стабілізуючими властивостями довжина зварювальної дуги зменшується. Утворюються вузькі шви з великою глибиною проплавлення та висотою. Стабільність горіння дуги підвищують за рахунок додавання до складу флюсів елементів-стабілізаторів (див. п. 2.3).

Вплив насипної маси флюсу чітко виявляється при порівнянні швів, зварених під склоподібним та пемзоподібним плавленими флюсами однакового хімічного складу (рис. 4.7) [12]. У цьому випадку відмінність у насипній масі флюсу особливо велика, що обумовлює відповідне розходження витрат енергії на його плавлення. На плавлення склоподібного флюсу, що має звичайно насипну масу 1,5...1,7 г/см<sup>3</sup>, потрібно вдвічі більше енергії, ніж на плавлення пемзоподібного флюсу, насипна маса якого

складає  $0,7 \dots 0,9 \text{ г/см}^3$ . У результаті градієнт напруги на дузі при використанні склоподібного флюсу більший, а сама дуга коротша, ніж у випадку застосування пемзоподібного флюсу.

Рис. 4.7. Шви, отримані при зварюванні під склоподібним (а) та пемзоподібним (б) флюсами



Гранулометричний склад флюсу впливає на форму шва таким же чином як і його стабілізуючі властивості. При використанні дрібного флюсу отримують шви більш вузькі, з більшою глибиною проплавлення та випуклістю. Це пов'язано зі зменшенням довжини зварювальної дуги.

Особливості хімічного зчеплення шлакової кірки з наплавленим металом розглянуто в п. 2.3. Крім того, особливо при багатопрохідному зварюванні, необхідно правильно вибирати кут підготовки кромки, що зварюються, для полегшення відокремлення шлакової кірки від поверхні шва. При використанні флюсів необхідно пам'ятати, що флюси-шлаки мають розвинену поверхню і можуть активно адсорбувати вологу з повітря. Вологість склоподібних флюсів звичайно складає  $0,1 \dots 0,5 \%$ , пемзоподібних – дещо вища. Якщо розрахувати об'єм водню, який може утворитися при розкладанні водяної пари, то отримаємо, що з 1 кг флюсу може утворитися  $1,25 \dots 6,20 \text{ дм}^3$  водню. У зв'язку з цим зварювальні флюси, якщо вони полежать в розгерметизованій тарі, перед використанням необхідно обов'язково прожарювати.

Використання зварювальних флюсів забезпечує зниження в декілька



разів енергоємності виробництва, сприяє зменшенню шкідливих викидів токсичних пилу та газів в атмосферу.

В цілому, останнім часом спостерігається різке збільшення об'ємів використання агломерованих флюсів [21]. Це пояснюється рядом металургійних можливостей агломерованих флюсів: регулювання кремнійвідновлювальних процесів, рафінування та мікролегування зварювальної ванни, висока міцність та ударна в'язкість зварних з'єднань. Подальший розвиток використання флюсів пов'язаний зі зниженням в них вмісту шкідливих домішок, розробкою сучасних систем "флюс–дріт" та забезпеченням зниження вмісту водню у флюсах [6].

Вибір флюсу для зварювання конкретного виробу являє собою непросту задачу, яка ускладнюється тим, що, крім правильного вибору зварювально-технологічних властивостей флюсу, необхідно визначити оптимальний металургійний варіант зварювання, у тому числі сполучення дроту та флюсу. В цьому випадку, наприклад, плавлені флюси доцільно розділити на групи залежно від їхньої окисної здатності на основі показника відносної хімічної активності  $A_f$ , що дуже зручно, оскільки дається загальний підхід до вибору флюсу залежно від хімічного складу металу. Чим більше легуючих елементів містить зварювана сталь, тим нижчою повинна бути відносна хімічна активність флюсу. Уперше це встановлено Д.М. Рабкіним та І.І. Фрумїним [18]. Зазначений підхід може бути використаний і для флюсів, не розглянутих в навчальному посібнику.

#### **4.4. Флюси для зварювання низьковуглецевих сталей**

При зварюванні низьковуглецевих сталей застосовують флюси та електродні дроти в основному двох систем. Перша система – високомангановий флюс-силікат у сполученні з низьковуглецевим дротом Св-08А, Св-08АА (за ГОСТ 2246–70) або легованим манганом дротом Св-08ГА. Друга система – безмангановий висококремнистий флюс у сполученні з високомангановим дротом. Перша система одержала переважне поши-

рення у вітчизняній практиці, друга – за кордоном. Загальним для обох зазначених систем є застосування висококремнистого флюсу (36...50 % SiO<sub>2</sub>) та використання електродного дроту з киплячих або напівспокійних сталей. Легування металу шва манганом досягається за рахунок флюсу (перша система) або електродного дроту (друга система). Легування шва кремнієм забезпечується флюсом за рахунок кремнійвідновлювального процесу в обох системах.

Реакція відновлення кремнію має особливо важливе значення при зварюванні низьковуглецевих киплячих сталей, що містять його сліди, тому що тільки при вмісті в рідкій ванні кремнію не менше 0,2 % можливо призупинити в частині зварювальної ванни, що кристалізується, реакцію окиснення вуглецю:



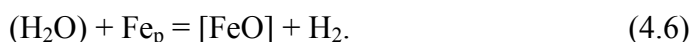
Якщо у зварювальній ванні концентрація кремнію буде менша зазначеної, можливим є утворення пор у швах.

Роль вуглецю як розкиснювача дуже велика у всьому діапазоні температур зварювання. При цьому спорідненість вуглецю до кисню зростає з підвищенням температури на противагу тому, що спостерігається для інших елементів. Тому вуглець вигорає при високих температурах і до моменту кристалізації металу в хвостовій частині зварювальної ванни реакція (4.5) практично згасає. У процесі кристалізації зварювальної ванни вона інтенсифікується знову. Це обумовлено наступним. Під час кристалізації спочатку твердіє більш чистий метал, а домішки, у тому числі і вуглець, ліквують у матковий розчин. У результаті їхня концентрація в рідині, що залишається, зростає, і рівновага реакції порушується. Крім цього, відповідно до принципу рухливої рівноваги, при охолодженні рівноважної системи в ній повинні розвиватися екзотермічні реакції.

Застосування дроту з кремнієм при зварюванні під шаром флюсу низько-вуглецевих і вуглецевих сталей не знайшло широкого поширення в нашій країні. Це пояснюється тим, що кремній у зварювальну ванну кра-

ще подавати не в початковій, а в кінцевій стадії процесу, щоб дати можливість вуглецю окиснитися при високих температурах. Застосування леґованого манганом дроту більш раціональне, оскільки манган як розкиснювач починає діяти лише при порівняно низьких температурах, коли вуглець встигає частково окиснитися.

До позитивних сторін кремній- та мангановідновлювальних процесів варто віднести і той факт, що збагачення реакційної зони киснем у вигляді FeO при відновленні кремнію та мангану з їхніх оксидів у флюсі сприяє створенню окисного середовища у зварювальній ванні, а це перешкоджає розчиненню водню в рідкому металі. Водень утворюється при взаємодії водяної пари, що міститься у флюсі, з рідким металом шва за реакцією



До негативних наслідків кремній- та мангановідновлювальних процесів, які інтенсивно відбуваються при зварюванні під високомангановими флюсами-силікатами, варто віднести засмічення шва дисперсними силікатними включеннями ендогенного характеру. Вони в значній мірі знижують пластичність та ударну в'язкість металу шва особливо при низьких температурах. При зварюванні вуглецевих сталей це ще може бути припустимо, але якщо врахувати, що з ростом кількості леґуючих елементів запас пластичності металу зменшується, то варто визнати, що вже під час зварювання низьколегованих сталей підвищеної міцності, застосування зазначених флюсів неприпустиме.

Для зварювання низьковуглецевих сталей переважно використовують високоактивні флюси, які мають показник відносної хімічної активності  $A_{\phi} \geq 0,6$ , це високо- або середньоманганові флюси-силікати. Найбільш поширені у вітчизняній промисловості флюси можуть бути віднесені до шлакової системи MnO–SiO<sub>2</sub>. До них належать флюси АН-348А, ОСЦ-45, АН-348В, ФЦ-6, ФЦ-3, ФЦ-9, АН-60 та ін. Якщо брати до уваги концентрацію в них SiO<sub>2</sub> і MnO, то область оптимального хімічного складу флюсів буде розміщена на діаграмі стану шлакової системи MnO–SiO<sub>2</sub> трохи



#### 4.5. Флюси для зварювання низьколегованих сталей

У промисловості та будівництві за прийнятою класифікацією леговані сталі поділяють на три класи: низько-, середньо- і високолеговані. Низьколеговані сталі містять сумарну кількість легуючих елементів не більше 5 % за умови, що вміст кожного з них не перевищує 2 %. Якщо вміст кожного з легуючих елементів лежить в межах 2...5 %, а сумарна кількість не більше 10 %, сталь – середньолегована. Високолегованою вважають сталь, що містить один з легуючих елементів не менше 5 % при їхній загальній сумі не менше 10 %.

Низьколеговані сталі є металургійно збалансованими продуктами, тому основна задача при їхньому зварюванні зводиться до захисту зварювальної ванни від атмосферного впливу. Для зварювання низьколегованих сталей застосовують активні, малоактивні та пасивні флюси, що належать до оксидного та солеоксидного класу.

Введення в пасивні флюси оксидів кремнію, титану, заліза або мангану значно поліпшує зварювально-технологічні властивості названих флюсів, але підвищує їхню хімічну активність. Незважаючи на це, більшість флюсів, що використовують для зварювання низьколегованих сталей, або активні, або малоактивні.

Малоактивні флюси, як правило, містять до 25 %  $\text{SiO}_2$  і поряд з цим велику кількість глинозему, оксиду та фториду кальцію. Наявність діоксиду кремнію істотно поліпшує їхні формуючі властивості порівняно з пасивними флюсами, підвищує стійкість флюсів до гідратації, поліпшує відокремлюваність шлакової кірки.

Більш високі зварювально-технологічні властивості порівняно з малоактивними флюсами мають активні зварювальні флюси ( $A_{\text{ф}} = 0,6 \dots 0,3$ ). Однак зварювання під ними дає більше забруднення металу швів неметалевими включеннями, сіркою та фосфором. Тому ці флюси застосовують в основному для зварювання низьколегованих сталей із тимчасовим опором на розрив до 600 МПа.

Склад і властивості найбільш поширених плавлених флюсів представлені в табл. 25Д, а керамічних флюсів – у табл. 26Д.

#### **4.6. Флюси для зварювання середньо- та високолегованих сталей**

Особливістю зварювання середньо- та високолегованих сталей є більш високий ступінь легування металу, що викликає його більшу чутливість до вмісту неметалевих включень і водню. Тому небезпека утворення тріщин вища, ніж при зварюванні низьколегованих сталей. У процесі зварювання таких сталей складніше забезпечити рівномірність металу шва з основним металом, тому що внаслідок небезпеки утворення кристалізаційних тріщин вміст вуглецю у шві жорстко обмежується. У зв'язку з цим потрібне введення в шов із зварювальним дротом додаткової кількості легуючих елементів і зниження їхнього окиснення в процесі зварювання. Низька окисна здатність флюсу необхідна також і для забезпечення легкого відокремлювання шлаку від швів, що містять ванадій, ніобій або хром. Мінімальне окиснення металу шва та легка відокремлюваність шлакової кірки забезпечуються застосуванням флюсів із зниженими окисними властивостями.

Для зварювання та наплавлення середньо- та високолегованих сталей рекомендуються малоактивні й навіть пасивні флюси.

Здебільшого малоактивні та пасивні флюси мають складний хімічний і мінералогічний склад, що пов'язано з необхідністю забезпечення задовільних зварювально-технологічних і металургійних характеристик.

У ряді випадків для зварювання сталей цього класу може використовуватися високолегований аустенітний дріт, що забезпечує утворення аустенітної або аустенітно-мартенситної структури металу шва. Висока розчинність азоту та водню в аустеніті обумовлює достатню стійкість зварних з'єднань проти окрихчування. Міцність аустенітних й аустенітно-мартенситних швів поступається міцності основного металу, однак високий запас пластичності забезпечує добру працездатність конструкції.

Для зварювання та наплавлення середньолегованих сталей використовують низькокремністі та безкремністі плавлені флюси. Склад і властивості найбільш поширених флюсів наведено в табл. 27Д.

Для зварювання високолегованих сталей переважно використовують два типи керамічних флюсів: алюмінатно-основний та флюоритно-основний. Ці типи флюсів містять значні концентрації основних (MgO і CaO) та кислих оксидів ( $Al_2O_3$  і  $ZrO_2$ ), що мають підвищену термічну стійкість у зоні плавлення при зварюванні, з метою зведення до мінімуму окиснювально-відновлювальних реакцій між флюсом-шлаком і металом.

У СНД для зварювання середньо- та високолегованих сталей централізовано випускають лише флюс АНК-45, який використовують переважно в сполученні з аустенітним дротом Св-ОЗХ19Н15Г6М2АВ2. Інші флюси, наприклад ФЦК і ФЦК-С, використовують значно менше через недостатні зварювально-технологічні характеристики.

#### **4.7. Флюси для зварювання кольорових металів і сплавів**

Алюміній, титан, мідь, нікель, а також інші кольорові метали та сплави знаходять широке застосування для виготовлення зварних конструкцій у різних галузях народного господарства.

Зварюваність кольорових металів і сплавів визначається хімічною активністю елементів, розчинністю домішок (у тому числі газів) і чутливістю до них, типом кристалічних ґраток та поліморфізмом, ступенем легування, теплофізичними показниками (теплопровідністю, теплоємністю, температурою плавлення та кипіння елементів і оксидів) та іншими властивостями (табл. 4.3) [4, 18, 20].

Важкі кольорові метали – нікель і мідь – характеризуються малою хімічною активністю, але високою чутливістю до присутності в металі домішок і газів, які погіршують їхні металургійні та експлуатаційні властивості та процес зварювання.

Таблиця 4.3. Фізичні властивості металів і їх оксидів

Найменування	Al	Ti	Fe	Ni	Cu
Атомний номер	13	22	26	28	29
Атомна маса	26,98	47,9	55,8	58,7	63,5
Температура, °С:					
плавлення	660	1665	1539	1455	1083
кипіння	2450	3260	2740	2820	2590
Питома теплота, кДж/кг:					
плавлення	389	323	270	300	205
випаровування	10800	9820	6280	6520	4800
Щільність, 10 <sup>3</sup> кг/м <sup>3</sup>	<u>2,70</u> 2,39*	<u>4,51</u> 4,11*	<u>7,87</u> 7,03*	<u>8,90</u> 7,77*	<u>8,96</u> 8,03*
Питома теплоємність, кДж/(кг·К)	<u>0,90</u> 1,09*	<u>0,53</u> 0,75*	<u>0,46</u> 0,70*	<u>0,44</u> 0,66*	<u>0,38</u> 0,49*
Теплопровідність при 20 °С, Вт/(м·К)	225,4	18,8	75,4	90,1	394
Питомий електроопір, 10 <sup>-8</sup> Ом·м	<u>2,68</u> 24,4	<u>42,1</u> 156	<u>9,71</u> 141*	<u>6,84</u> 108	<u>1,68</u> 21,3
Електродний потенціал при 25 °С, В	1,67	1,63	0,44	0,25	-0,35
Основний ступінь окиснювання	+3 (Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )	+4 (TiO <sub>2</sub> )	+2 (FeO)	+2 (NiO)	+1 (Cu <sub>2</sub> O)
Енергія Гіббса утворення оксиду при 25 °С/1500 °С, кДж/моль	<u>1020</u> 749	<u>859</u> 603	<u>483</u> 305	<u>442</u> 139	<u>296</u> 114
Температура плавлення оксиду, °С	2050	1840	1370	2090	1230
Щільність оксиду при 20 °С, 10 <sup>3</sup> кг/м <sup>3</sup>	3,98	4,25	5,7	7,45	–

*Примітка.* Щільність, питомі теплоємність і електроопір наведені в чисельнику при температурі 20 °С, у знаменнику – при температурі плавлення металу у твердому (без зірочки) або рідкому (із зірочкою) стані.

Легкі кольорові метали – алюміній, магній і берилій відрізняються не тільки малою щільністю (до 2700 кг/м<sup>3</sup>), але і високою хімічною активністю, теплоємністю, теплопровідністю й електропровідністю. Крім того, ці метали мають низьку температуру плавлення (особливо магній і алюміній), але при їхньому окисненні утворюються надзвичайно тугоплавкі та щільні (важкі) оксиди, не розчинні в металі, що істотно ускладнює процес зварювання.

Хімічно активні та тугоплавкі метали (титан, цирконій, ніобій, молибден, ванадій, вольфрам, гафній, тантал) поєднують висока температура плавлення (від 1665 °С у титана, до 3395 °С у вольфраму) і надзвичайно



велика здатність реагувати з іншими елементами (у першу чергу з газами) при високій температурі, особливо в розплавленому стані. Найбільш чутливі до домішок та крихкості ванадій, ніобій, тантал, хром, молібден і вольфрам [4].

#### ***4.7.1. Флюси для зварювання нікелю та його сплавів***

Зварювання нікелю та його сплавів ускладнено внаслідок особливих фізико-хімічних властивостей, великої чутливості до домішок і розчинених газів, які в значному ступені ускладнюють їхню зварюваність та знижують експлуатаційні властивості зварних з'єднань. До основних проблем зварюваності нікелю належать схильність наплавленого металу до утворення пор і тріщин, складність забезпечення однакового складу та властивостей основного та наплавленого металу, знижені ливарні властивості нікелю, утворення тугоплавкого оксиду нікелю. Пористість наплавленого металу при зварюванні нікелю обумовлена його здатністю до розчинення великої кількості водню, кисню й азоту в рідкому стані, а також труднощами дегазації зварювальної ванни в процесі охолодження та кристалізації.

Найбільш шкідливою домішкою в нікелі є сірка, що утворює легкоплавку сірчасту евтектику з температурою плавлення 645 °С. Схожу евтектику утворюють фосфор (температура плавлення 880 °С), а також вісмут, свинець, сурма, миш'як, селен і кадмій. Тому вміст цих домішок у нікелі обмежується 0,002...0,005 %, а вміст сірки навіть до 0,001 %, що в 10–50 разів нижче, ніж припустимий її вміст у сталі. Шкідливими домішками в нікелі є кремній, залізо, мідь, цинк, кадмій.

Хоча нікель порівняно з залізом менш активний метал і має практично однакову з ним температуру плавлення, активні плавлені флюси, що застосовують при зварюванні сталей, непридатні для нікелю та його сплавів.

Позитивні результати для дугового зварювання нікелю й особливо його сплавів дає застосування фторидних і високоосновних флюсів

(табл. 4.4) [4, 20]. Галоїдні (фторидно-хлоридні безкисневі) флюси серії ИМЕТФ, розроблені на базі системи  $\text{CaF}_2\text{--BaCl}_2$  з додаванням  $\text{NaF}$  і  $\text{SrF}_2$ , являються подальшим розвитком фторидних флюсів. Основою для створення цих флюсів стало використання модифікуючої дії натрію і стронцію, що вводяться у флюс у вигляді фтористих солей. Оптимальні зварювальні властивості флюсів забезпечуються при вмісті у флюсах 15 %  $\text{BaCl}_2$ . Найбільш висока стійкість швів до утворення гарячих тріщин спостерігається при 5...10 %  $\text{NaF}$ . Підвищення схильності наплавленого металу проти утворення гарячих тріщин пояснюється модифікуванням його структури. Головний вплив на структуру та властивості металу шва робить відновлюваний із флюсу натрій.

Таблиця 4.4. Склад плавлених флюсів, %

Марка флюсу	$\text{CaF}_2$	$\text{CaO}$	$\text{Al}_2\text{O}_3$	$\text{SiO}_2$	S	P	Інші компоненти
АНФ-5	75...80			2	0,05	0,02	17...25 NaF
АНФ-7	65...76	18...30	–	2	0,05	0,02	–
АНФ-8	45...55	12...18	25...35	2	0,05	0,05	–
ОФ-6	45...60	16...23	20...27	4	0,05	0,04	3 MgO
АНФ-23	61...64	10...13	21...25	2	–	–	–
АНФ-22	86...92	2...3	–	–	0,01	0,01	8...12 $\text{B}_2\text{O}_3$
АН-29	10...15	35...45	40...50	Сліди	–	–	–
АН-292	–	33...37	58...61	1,5	0,05	0,02	4...7 MgO

При дуговому зварюванні нікелю та його сплавів знаходять також застосування керамічні флюси (табл. 4.5) [4, 20]. Зварювання звичайно виконують на постійному струмі зворотної полярності. Виняток складають високоосновні флюси (АН-29, АН-292), зварювання під якими виконують на постійному струмі прямої полярності.

Щоб уникнути перегрівання металу та пов'язаного з ним надмірного росту зерна, рекомендується зварювання швами невеликого перерізу при малому струмі й невеликій швидкості (на 15...20 % меншій порівняно із зварюванням сталей). З метою кращої десорбції газів з металу зварювальної ванни та попередження пористості необхідно призначати режими зва-

рування, що забезпечують малу глибину проплавлення металу й уповільнене його охолодження. Такі режими зварювання сприяють також зменшенню темпу наростання внутрішніх деформацій і підвищенню опірності металу утворенню гарячих тріщин.

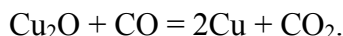
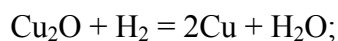
**Таблиця 4.5. Склад керамічних флюсів, %**

Марка флюсу	CaF <sub>2</sub> ,	CaCO <sub>3</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	NaF	KCl	Mn	Інші компоненти	Силікат натрію
ФЦК	77,0	–	10,0	5,0	8,0	–	–	–
ФЦК-С	74,5	–	9,6	4,8	7,7	–	–	3,4
ЖН-1	60,0	12	15,0	–	–	5	6 Al 2 Ti	19,0
ПНС	52,0	4	22,0			6	16 Мо	19,0

#### **4.7.2. Флюси для зварювання міді та її сплавів**

Особливістю міді порівняно з усіма іншими металами є найбільш висока теплопровідність і електропровідність. Однак вони значно зменшуються в присутності навіть малих кількостей домішок. Найбільш сильно знижують ці властивості фосфор, залізо, кобальт, кремній, титан.

При окисненні міді утворюються два оксиди: Cu<sub>2</sub>O, стійкий при високих температурах, і CuO, характерний для низьких температур. Оксид Cu<sub>2</sub>O, не розчинний у твердій міді, добре розчиняється в рідкій міді з утворенням евтектики при 0,39 % кисню й температурі 1065 °С. Зменшення стійкості оксиду Cu<sub>2</sub>O в процесі кристалізації може призводити до утворення пор, тому що водень і СО, які присутні в зоні зварювання, можуть відновлювати оксид Cu<sub>2</sub>O:



Пари води і вуглекислий газ, не маючи можливості виділитися з металу дифузійним шляхом, можуть призводити до утворення пор, а іноді – тріщин ("воднева хвороба" міді).

Для попередження гарячих тріщин вміст шкідливих домішок у міді

обмежується:  $<0,01...0,03 \text{ \% O}_2$ ,  $<0,0005...0,0030 \text{ \% Bi}$ ,  $<0,005 \text{ \% Sb}$ ,  $<0,004...0,03 \text{ \% Pb}$  (залежно від призначення конструкції). Для боротьби з гарячими тріщинами рекомендується також введення в зварювальну ванну розкиснювачів, модифікаторів і легуючих елементів, що підвищують технологічну міцність металу шва.

Внаслідок малої хімічної активності міді та більшості її сплавів при їхньому зварюванні можна використовувати стандартні плавлені флюси ОСЦ-45, АН-348А, АН-60, ФЦ-10, АН-26, АН-22, АН-20, призначені для зварювання сталей. Для зварювання латуней Л63, ЛО62-1, ЛС59-1, ЛМц58-2 та інших застосовують звичайно флюс АН-20 у сполученні з бронзовим (Бр.КМц3-1, Бр.Оц4-3) або латунним (ЛК80-3) дротом. Електродний дріт з міді дає більш низькі механічні властивості зварних швів. Латуні Л63 і ЛО62-1 зварюють мідним дротом під флюсом АНФ-5 або флюсом МАТИ-53, який складається із суміші, що містить флюс ОСЦ-45 (77 %), борну кислоту (7,6 %) і кальциновану соду (15,4 %). Для зварювання латуней рекомендується також флюс ФЦ-10 [4].

Широке застосування знаходить зварювання під флюсом алюмінієвих, хромистих, свинцюватих та інших бронз. Алюмінієві бронзи Бр.АМц9-2, Бр.АЖ9-4, Бр.АЖМц10-3-1,5 зварюють під флюсом АН-20 дротом того ж складу. Флюси з більш високим, ніж у флюсі АН-20, вмістом кремнезему не рекомендуються для зварювання алюмінієвих бронз, тому що в результаті окиснення алюмінію, насичення металу шва кремнієм і глиноземом відбувається погіршення їх властивостей. Додавання алюмінію знижує розчинність водню у твердій міді, тому алюмінієві бронзи схильні до утворення пор у металі шва. Серед стандартних плавлених флюсів найвищу щільність швів на алюмінієвій бронзі забезпечує флюс АН-60.

Для зварювання міді та її сплавів розроблені також спеціальні керамічні флюси ЖМ-1 і К-13МВТУ (табл. 4.6) [20]. Керамічний флюс ЖМ-1 створює сприятливі умови для рафінування міді, що дозволяє одержати метал шва високої чистоти з мінімальним відхиленням від теплофізичних

і механічних властивостей основного металу. Керамічний флюс К-13МВТУ рекомендується для зварювання міді та бронзи. Прийняте співвідношення шлакоутворюючих компонентів флюсу забезпечує високі зварювально-технологічні та металургійні властивості. Цей флюс дозволяє одержати добре розкиснений метал, причому алюміній практично не переходить у метал шва (сліди). При цьому забезпечуються однакові з основним металом електропровідність і теплопровідність металу шва. Застосування цього флюсу дає можливість ввести у зварювальну ванну модифікатори, які регулюють процес кристалізації та властивості наплавленого металу.

**Таблиця 4.6. Склад керамічних флюсів для зварювання міді, %**

Марка флюсу	Основні компоненти					Інші компоненти
	CaF <sub>2</sub>	CaCO <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Na <sub>2</sub> B <sub>4</sub> O <sub>6</sub> -MgO	
ЖМ-1	8	28	–	–	3,5	57,6 K <sub>2</sub> Al <sub>2</sub> Si <sub>6</sub> O <sub>16</sub> 2,2 C 0,8 Al
К-13МВТУ	20	15	8...10	20	–	15 MgCO <sub>3</sub> 3...5 Al 15...19 Na <sub>2</sub> B <sub>4</sub> O <sub>7</sub>

#### **4.7.3. Флюси для зварювання титану та його сплавів**

Титан, на відміну від нікелю, міді й алюмінію, має поліморфні перетворення: α-Ті з гексагональною щільноупакованою ґраткою існує до температури 882,5 °С і β-Ті з кубічною об'ємноцентрованою ґраткою – вище неї.

Основна проблема при зварюванні титану та його сплавів пов'язана з одержанням пластичних зварних з'єднань. Зниження пластичності зварного з'єднання є наслідком негативного впливу розчинених газів, домішок і структурних перетворень при нагріванні й охолодженні. Титан має високу хімічну активність і дуже інтенсивно реагує з киснем, азотом, воднем, вуглецем. Помітне окиснення титану на повітрі починається при температурі близько 500 °С. Азот, як і кисень, стабілізує α-фазу і розширює її

область. Спорідненість титану з азотом настільки велика, що він є єдиним елементом, який горить у середовищі азоту. Водень поглинається титаном у великій кількості. Розчинність водню в  $\beta$ -Ті досягає 2 % і перевищує розчинність водню в залізі у тисячі й десятки тисяч разів. Елементом, що викликає крихкість титану, виступає і вуглець, який при високих температурах добре розчиняється в титані, а зі зниженням температури утворює дуже тверді та крихкі карбіди титану.

Для визначення підсумкового впливу всіх трьох елементів на властивості титану використовують "еквівалент кисню"  $[O]_e$ , %:

$$[O]_e = [O] + 2 [N] + (2/3) [C].$$

Залежність твердості технічного титану від "еквівалента кисню" добре відтворюється емпіричним рівнянням

$$HB = 40 + 310 [O]_e.$$

Для забезпечення доброї зварюваності титану та його сплавів обмежують вміст шкідливих елементів:  $<0,1 \dots 0,2$  %  $O_2$ ;  $<0,04 \dots 0,05$  %  $N_2$ ;  $<0,008 \dots 0,015$  %  $H_2$  і  $<0,05 \dots 0,1$  % С.

Найбільш розповсюдженими дефектами зварних швів є пори та холодні тріщини. У зв'язку з цим головною вимогою до флюсів для зварювання титану є надійний захист зони зварювання від взаємодії з повітрям і виключення можливості забруднення шва шкідливими домішками, які можуть міститися в шлаку.

Висока температура плавлення титану зумовлює застосування тугоплавкого флюсу. Щільність флюсу не повинна перевищувати щільність рідкого титану  $4,11 \text{ г/см}^3$ . Флюс повинен забезпечувати стабільність процесу зварювання, добре формування шва, відсутність у ньому пор, тріщин, шлакових включень та інших дефектів. Шлакова кірка повинна легко відокремлюватися від поверхні шва. Перерахованим вимогам відповідають безкисневі флюси на основі фторидів і хлоридів лужних і лужноземельних металів. На основі проведених у ІЕЗ ім. Є.О. Патона досліджень були розроблені безкисневі флюси серії АНТ, які призначені для

зварювання титану і його сплавів (табл.4.7) [14]. Ці флюси в процесі зварювання надійно ізолюють ванну розплавленого металу та зону термічного впливу від шкідливого контакту з повітрям.

*Таблиця 4.7. Склад флюсів АНТ-1, АНТ-3*

Марка флюсу	Компоненти, %		
	CaF <sub>2</sub>	BaCl <sub>2</sub> ·2H <sub>2</sub> O	NaF
АНТ-1	79,5	19	1,5
АНТ-3	85,5	10	1,5

За правильно обраних режимів зварювання пори, тріщини, шлакові включення в металі шва цілком відсутні. Шви мають високу міцність і пластичність. Для підвищення ударної в'язкості металу шва при зварюванні особливо відповідальних конструкцій застосовують комбінований флюсогазовий спосіб захисту.

#### **4.7.4. Флюси для зварювання алюмінію та його сплавів**

До позитивних властивостей алюмінію та його сплавів як конструкційних матеріалів варто віднести малу щільність, високу пластичність, корозійну стійкість, тепло- і електропровідність, добру оброблюваність у холодному та гарячому стані, високу питому міцність.

Оксидна плівка па поверхні алюмінію та його сплавів ускладнює процес зварювання. Маючи високу температуру плавлення (2050 °C), оксидна плівка не розплавляється в процесі зварювання алюмінію і покриває метал щільною оболонкою. Великі труднощі при зварюванні алюмінію та його сплавів викликає утворення пор у металі шва. В алюмінії пори розташовуються переважно у середині шва, поблизу межі з основним металом і поверхні шва. Основним пороутворювачем вважається водень. Азот в алюмінії практично не розчиняється, а переходить у шлак у вигляді нітриду алюмінію і тому не викликає появи пор. Також серйозні ускладнення при зварюванні алюмінію та його низьколегованих сплавів виникають у результаті їхньої високої схильності до утворення гарячих трі-

щин. Значна усадка при кристалізації зварного шва, а також великий коефіцієнт лінійного розширення сприяють виникненню високого темпу внутрішніх деформацій у температурному інтервалі крихкості.

Відсутність фазових перетворень в алюмінії призводить до отримання грубої стовпчастої структури наплавленого металу з дендритною і транскристалітною будовою, що сприяє розвитку гарячих тріщин. Істотне значення при цьому мають вміст домішок у металі та характер його первинної кристалізації. Схильність технічного алюмінію до утворення тріщин залежить від співвідношення у ньому постійних його домішок – заліза та кремнію.

**Флюси для зварювання алюмінію та його сплавів напіввідкритою дугою (по флюсу).** Флюси для зварювання алюмінію та його сплавів, крім спеціальних, повинні мати наступні зварювально-технологічні властивості: забезпечувати стабільне горіння дуги, легке відокремлювання шлакової кірки та добре формування шва; попереджувати утворення у шві пор і тріщин при високих механічних характеристиках зварного з'єднання, корозійної стійкості, електропровідності та інших властивостей. Виходячи з наведених вище спеціальних вимог, можливими компонентами флюсів для зварювання алюмінію можуть бути хлориди та фториди лужних і лужно-земельних металів, фторид алюмінію, натрієвий, калієвий і літєвий кріоліти.

Найбільше застосування для зварювання алюмінію знайшов флюс АН-А1, що належить до системи  $KCl-NaCl-Na_3AlF_6$ , разом з флюсом УФОК-А1 [18]. Для зварювання алюмінієво-магнієвих сплавів застосовують флюси АН-А4, МАТИ-10, 48-АФ1, які не мають у своєму складі солей натрію, і належать до системи  $BaCl_2-KCl$ , а також МАТИ-1а, що містить більшу кількість фторидів у порівнянні з іншими флюсами (табл. 4.8) [4, 20].

**Флюси для зварювання алюмінію та його сплавів закритою дугою (під флюсом).** Головним недоліком способу зварювання алюмінію



напіввідкритою дугою по флюсу є інтенсивне випромінювання дуги, виділення великого об'єму парів і газів, значне розбризкування електродного металу.

**Таблиця 4.8. Склад флюсів для зварювання алюмінію та його сплавів напіввідкритою дугою**

Марка або номер флюсу	Компоненти, %							
	NaCl	KCl	BaCl <sub>2</sub>	NaF	LiF	Na <sub>3</sub> AlF <sub>6</sub>	K <sub>3</sub> ZrF <sub>6</sub>	Інші
АН-А1	20	50	–	–	–	30	–	–
УФОК-А1	30	40	–	–	–	30	–	–
АН-А4	–	57	28	–	7,5	–	–	7,5 AlF <sub>3</sub>
МАТИ-1а	–	47	–	42	–	3	–	8 LiCl
МАТИ-10	–	30	68	–	–	2	–	–
48-АФ1	–	47	47	–	–	–	2	2 KF; 2 Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
№ 70	–	30	–	20	10	–	40	–
№ 80	–	40	–	20	10	–	30	–

Для зварювання алюмінію закритою дугою в Приазовському державному технічному університеті (м. Маріуполь) розроблені керамічні флюси ЖА-64 і ЖА-64А (табл. 4.9) [20]. До складу флюсів введені невеликі домішки кремнезему та підвищений вміст кріоліту з метою максимально знизити електропровідність флюсів, виключити шунтування дуги флюсом і забезпечити стабільність дугового процесу. Флюс ЖА-64 забезпечує стабільність процесу зварювання алюмінію під флюсом закритою дугою. Зварні з'єднання мають задовільний зовнішній вигляд, дрібнолускате формування металу шва з плавним переходом до основного металу, відсутність пор, тріщин та інших дефектів.

Виготовлення керамічних флюсів вимагає спеціального устаткування, тому А.Д. Корнев і В.Я. Зусін запропонували плавлені флюси ЖА-70П та ЖА-72П (див. табл. 4.9), близькі за складом і призначенням до керамічних флюсів ЖА-64 і ЖА-64А. Флюс ЖА-72П призначений для зварювання алюмінію високої чистоти.

**Таблиця 4.9. Склад керамічних флюсів для зварювання алюмінію та його сплавів**

Марка флюсу	Компоненти, %				
	NaCl	KCl	Na <sub>3</sub> AlF <sub>6</sub>	CaF <sub>2</sub>	SiO <sub>2</sub>
ЖА-64	15	38	44	–	3
ЖА-64А	15	38	43	3	1
ЖА-70П	15...19	До 46	28...44	–	3...5
ЖА-72П	14...17	34...40	36...46	4...6	До 1

#### **4.8. Флюси для наплавлення електродним дротом і стрічкою**

Для виконання механізованого дугового наплавлення звичайно застосовують наступні варіанти поєднання зварювальних матеріалів:

нелегований флюс і легований дріт (стрічка) суцільного перерізу;

нелегований флюс і порошковий дріт (стрічка);

легуєчий (керамічний) флюс і низьковуглецевий дріт суцільного перерізу;

легуєчий (керамічний) флюс і легований (суцільного перетину або порошковий) дріт (стрічка).

Комбінація зварювальних матеріалів залежить від необхідного рівня легування наплавленого металу і вимог до зварювально-технологічних властивостей флюсу. Перші два варіанти поєднання зварювальних матеріалів більш технологічні, оскільки плавлені флюси, що централізовано випускаються промисловістю, у поєднанні зі стандартними дротами (стрічками) дозволяють порівняно легко й ефективно відновлювати зношені поверхні навіть в умовах невеликих ремонтних баз. При цьому можуть бути використані флюси, які широко застосовують для зварювання низько- та середньолегованих сталей.

Перший варіант поєднання матеріалів для наплавлення застосовують для поверхонь, що працюють в умовах абразивного зносу без ударних навантажень з максимальною твердістю наплавленої поверхні HRC < 30.

Другий варіант має значно ширші можливості легування металу, що наплавається, у порівнянні з першим. У даному випадку основне завдан-

ня полягає в тому, щоб правильно підібрати плавлений флюс за хімічною активністю стосовно наплавлюваного металу. Якщо останній містить елементи, що легко окиснюються у зварювальній ванні, такі як титан, алюміній, ніобій та ін., для наплавлення необхідно використовувати флюси з мінімальною хімічною активністю. Однак такі флюси мають знижені зварювально-технологічні властивості, які погіршуються при зменшенні їхньої хімічної активності. Якщо елементи, що окиснюються, до складу наплавленого металу не додаються, рекомендується використовувати малоактивні або навіть активні флюси з високим рівнем зварювально-технологічних характеристик.

Третій варіант поєднання найбільш широко використовують в промисловості. Пов'язано це з тим, що в даному випадку можливе застосування недефіцитного вуглецевого або низьколегованого зварювального дроту (стрічки) у парі з легуючим керамічним флюсом. Однак кількість порошкоподібних металевих додатків у керамічному флюсі не повинна перевищувати 20 %. При їхній більшій концентрації значно погіршуються зварювально-технологічні властивості флюсу, особливо відокремлюваність шлакової кірки, зростає мікро- і макронеоднорідність наплавленого металу. Тому при необхідності введення в наплавлений метал значної кількості легуючих елементів варто підвищувати концентрацію елементів у металі переважно за рахунок використання зварювального дроту (стрічки) з більш високим рівнем легування.

Четвертий варіант поєднання дозволяє легувати наплавлений метал у найбільш широкому діапазоні концентрацій. Це досягається шляхом легування як через зварювальний дріт (суцільного перерізу чи порошковий) або стрічку, так і через керамічний флюс. В останньому випадку важливого значення набуває попередній розрахунок хімічного складу наплавленого металу на основі аналогічних даних або складу зварювального дроту та керамічного флюсу.

#### **4.8.1. Флюси для зносостійкого наплавлення сталей перлітно-феритного класу**

Характерна відмінність плавлених флюсів, призначених для виконання зносостійкого та твердого наплавлення, – їх дуже низька хімічна активність стосовно наплавлюваного металу. Для цього звичайно використовують пасивні плавлені флюси з хімічною активністю, що не перевищує  $A_{\phi} < 0,1$ . Це диктується умовами одержання максимально високих коефіцієнтів переходу легуючих елементів із дроту в напавлений метал.

Склад найбільш поширених плавлених флюсів наведено в табл. 28Д. Це насамперед флюси ТКЗ-НЖ і АН-28. Для механізованого зносостійкого наплавлення ущільнених поверхонь енергетичної та запірної арматури широко застосовують плавлено-керамічні флюси ПКНЛ-17 і ПКНЛ-128 (табл. 29Д) та керамічний флюс ФЦК-24, перші два з яких як шлакову основу мають тонкоподрібнений флюс АН-26С. При цьому основне легування та регулювання структури напавленого металу здійснюється за рахунок елементів, що містяться в зварювальному дроті (стрічці) і переходять з керамічного флюсу. Флюс ПКНЛ-17 призначений для механізованого наплавлення у сполученні зі зварювальним дротом, а флюс ПКНЛ-128 – для механізованого наплавлення стрічкою шириною до 50 мм.

Керамічні флюси АНК-18, АНК-19, АНК-40, ЖСН-1, ЖСН-2, ЖСН-3, ЖСН-4, ЖСН-5 і ЖСН-6 розроблені на основі шлакової системи  $MgO-CaF_2-Al_2O_3-SiO_2$  і забезпечують одержання напавленого металу практично будь-якої необхідної твердості залежно від кількості легуючих елементів (табл. 30Д). З метою підвищення продуктивності наплавлення до складу флюсу часто додають порошок заліза. При цьому чим більша його кількість, тим меншу в'язкість у розплавленому стані повинен мати флюс з метою зниження втрат легуючих металевих порошків.

#### **4.8.2. Флюси для наплавлення аустенітно-феритними матеріалами**

Наплавлення аустенітно-феритними корозійностійкими матеріалами

звичайно виконують на внутрішніх поверхнях корпусних сталей, трубопроводів та іншого устаткування зі сталей перлітно-феритного класу, що мають досить високу міцність, у тому числі й при підвищених температурах (аж до 540 °С), але низьку корозійну стійкість.

У практиці вітчизняного та закордонного досвіду нанесення корозійностійких покриттів наплавленням під флюсом здійснюють дрововим або стрічковим електродом зі сталей аустенітного класу з регламентованим вмістом феритної фази. Для забезпечення достатньої тріщиностійкості при кристалізації наплавленого металу в закордонній практиці звичайно вважається необхідним мати у його вихідній структурі не менше 4...5 % феритної фази. Це відповідно визначає верхній рівень останньої в дроті або стрічці (12...15 %). У вітчизняній промисловості переважно застосовують дровові та стрічкові електроди з вмістом феритної складової 5...8 %, що забезпечує її кількість в наплавленому шарі відповідно 2...5 %.

Підвищений вміст фериту в закордонних стрічкових і дровових електродах пояснюється тією обставиною, що їх використовують у сполученні з більш активними флюсами ( $A_{\text{ф}} > 0,4$ ) порівняно з вітчизняними ( $A_{\text{ф}} < 0,1$ ).

Для корозійностійкого наплавлення дрововим електродом практично придатний будь-який склад флюсу для зварювання аустенітно-феритних хромонікелевих сталей (ОФ-6, АН-26, ФЦ-17 та ін.). Однак використання дровового електрода при наплавленні корозійностійких покриттів малопродуктивне, бо забезпечує велику глибину проплавлення основного металу порівняно зі стрічковим. Тому нижче наведено характеристики і склади флюсів, які використовують при наплавленні корозійностійких покриттів стрічковим електродом.

Серед названої групи флюсів найбільш широко представлені флюси, побудовані на базі шлакової системи  $\text{CaO}-\text{CaF}_2-\text{Al}_2\text{O}_3-\text{SiO}_2$  (ФЦ-18, АН-70, АН-72 і АН-90), з різним співвідношенням основних компонентів системи та додаванням інших оксидів і солей з метою одержання особливих металургійних або зварювально-технологічних характеристик

(табл. 31Д). Розглядаючи в цілому групу плавлених флюсів для механізованого наплавлення корозійностійких шарів на перлітні сталі, слід відзначити їхні наступні особливості: можливість виконання наплавлення стрічковим електродом, що дозволяє різко збільшити продуктивність процесу; ведення процесу переважно в електрошлаковому режимі; використання для корозійностійкого наплавлення флюсів зі зниженою хімічною активністю стосовно основного металу.

#### **4.9. Флюси для електрошлакового зварювання сталей, кольорових металів і сплавів**

Електрошлакове зварювання має принципові відмінності від дугового, тому основною умовою здійснення електрошлакового процесу є постійна наявність шлакової ванни.

Флюси для електрошлакового зварювання (ЕШЗ) повинні відповідати наступним вимогам: забезпечення швидкого та легкого початку електрошлакового процесу і підтримання його стабільності без значних коливань ширини й глибини шлакової ванни у великому діапазоні зварювальних струму та напруги; забезпечення гарантованого проплавлення основного металу й задовільного формування поверхні шва без підрізів і напливів; створення шлаку, який легко відокремлюється від поверхні шва; рідкий флюс повинен не тиснути формуючі повзуни та не впливати в зазори між повзунами й основним металом, мати високу температуру кипіння та виділяти мінімум шкідливих газів, забезпечувати заданий хімічний склад металу шва та його чистоту за шкідливими домішками: сірки, фосфору, кисню та ін.

У табл. 32Д наведено ряд складів плавлених спеціальних флюсів для ЕШЗ сталей різних класів (кислі й основні). Крім спеціальних флюсів, для ЕШЗ часто використовують і флюси для механізованого дугового зварювання (АН-348А, ОФ-6, АН-47), а також флюси, призначені для електрошлакового плавлення (АНФ-1, АНФ-6, АНФ-7 та ін.).

Електрошлакове зварювання кольорових металів знаходить обмежене застосування, однак даний технологічний процес досить добре вивчений і дозволяє одержати властивості зварних з'єднань на рівні, близькому до властивостей основного металу.

Електрошлакове зварювання алюмінію та його сплавів доцільно здійснювати, починаючи з товщини понад 40 мм. Для цієї мети розроблені флюси АН-А301, АН-А302, АН-А304 і АН-А306 [4].

Титан і його сплави мають ряд специфічних фізико-хімічних властивостей, що викликають серйозні утруднення при ЕШЗ. У промисловості найбільше поширення для ЕШЗ титану одержали безкисневі флюси АНТ-2, АНТ-4 і АНТ-6, що забезпечують високу стабільність процесу і добре формування шва. У розплавленому стані вони характеризуються дуже високою рідинотекучістю, тому необхідна ретельна підготовка деталей під зварювання [18].

Особливості ЕШЗ міді та її сплавів складаються, по-перше, в забезпеченні необхідного підігріву та достатнього оплавлення основного металу, і, по-друге, у рафінуванні розплавленого основного та присадного металу. Це досягається шляхом сполучення плавких і неплавких електродів, застосування спеціальних флюсів і особливих формуючих пристроїв [4, 17]. З урахуванням цих обставин для ЕШЗ міді розроблені легкоплавкі флюси АН-М10Ц та АНФ-5 на основі фторидів лужно-земельних елементів.

При ЕШЗ нікелю та його сплавів виникає цілий ряд серйозних труднощів, пов'язаних, насамперед, з великою схильністю металу швів до утворення кристалізаційних тріщин і пористістю. Найбільше поширення для ЕШЗ нікелю одержали безкисневі фторидні флюси АНФ-5, АНФ-1, АНФ-6, АНФ-7 і АНФ-8 [4, 18].

## Розділ 5. ЗАХИСНІ ТА ГОРЮЧІ ГАЗИ Й ГАЗОВІ СУМІШІ

Як захисні середовища при зварюванні широко застосовують інертні (Ar, He) й активні (O<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub>) гази, а також їхні суміші (Ar + CO<sub>2</sub> + O<sub>2</sub>, Ar + O<sub>2</sub>, Ar + CO<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub> + O<sub>2</sub> та ін.).

Ідея газового захисту зони зварювання належить великому російському винахіднику М.М. Бенардосу, але промислове застосування зварювання в захисних газах почалося після розробки в 40-х роках у США способу зварювання неплавким вольфрамовим електродом в інертному газі – аргоні, а у 50-х роках у СРСР високопродуктивного способу зварювання плавким електродом в активному вуглекислому газі.

Зварювання в захисних газах порівняно з іншими способами має ряд переваг, з яких головні наступні [20]:

- наявність сприятливих умов для візуального, у тому числі і дистанційного, спостереження за процесом та широкий діапазон робочих параметрів режиму зварювання;

- можливість ведення процесу з періодичною зміною електричних параметрів (імпульсно-дугове зварювання);

- легкість здійснення процесу зварювання в різних просторових положеннях;

  - вірогідність варіювання складу захисного газу;

  - використання для зварювання широкої номенклатури матеріалів, у тому числі кольорових металів і їхніх сплавів;

  - широка можливість механізації й автоматизації процесу, у тому числі із застосуванням робототехніки;

  - висока культура виробництва та сприятливі гігієнічні умови праці зварників.

Завдяки відзначеним перевагам спосіб дугового зварювання в захисних газах найбільш широко використовують у промисловості. Він має ряд



різновидів, які можна розділити на дві основні групи: зварювання плавким і неплавким електродами.

Крім захисних газів під час зварювання широко застосовують горючі гази. Газове полум'я – одне з найстаріших джерел енергії. Але зварювальний газовий пальник з'явився відносно недавно, на початку ХХ сторіччя. В якості горючих газів найчастіше виступають вуглеводні (ацетилен, бутан, пропан та ін.). Окиснювачем є кисень, інколи повітря.

Незважаючи на досить низьку теплову потужність газового полум'я та його відносно низькі захисні можливості, це джерело енергії має високу ефективність в процесах термообробки, паяння, газового різання та ін.

Для більш ефективного використання захисних та горючих газів треба добре знати їхні властивості.

### **5.1. Захисні гази, їх властивості та способи одержання**

Захисні гази використовують для з'єднання зварюванням широкого спектра конструкційних матеріалів, у тому числі вуглецевих, низько-, середньо- та високолегованих сталей, алюмінію, титану, міді та їх сплавів, а також для інших хімічно активних та тугоплавких матеріалів.

Вибір типу захисного газу залежить в першу чергу від його окисної здатності, фізичних властивостей (табл. 5.1) [20] та хімічної активності основного металу. Важливе значення мають технологічні властивості захисного середовища, а також його вартість та санітарно-гігієнічні умови використання.

#### ***5.1.1. Інертні гази***

При зварюванні в інертних газах, якщо забезпечена повна ізоляція розплавленого металу від повітря, хімічні реакції між металом і навколишнім середовищем зводяться до мінімуму. Інтенсивність протікання реакцій у цьому випадку визначається ступенем чистоти газу.

Таблиця 5.1. Фізичні властивості деяких газів

Газ	Маса		Щільність при 0 °С та 0,1 МПа, г/см <sup>3</sup> ·10 <sup>3</sup>	Температура кипіння, °С	Потенціал іонізації, еВ
	атомна	молекулярна			
Аргон	39,9480	–	1,78330	–185,9	15,76
Гелій	4,0026	–	0,17847	–268,9	24,58
Азот	14,0080	28,016	1,2510	–195,8	14,54
Кисень	16,0	32,0	1,4290	–182,9	13,62
Водень	1,0080	2,016	0,08988	–259,0	13,59
Вуглекислий газ	–	44,011	1,9760	–78,5 (перетворюється в "суху кригу")	–
Повітря	–	29	1,2930	–190,0	–

**Аргон** (лат. Argon). Ar – хімічний елемент VIII групи періодичної системи Д.І. Менделєєва, інертний газ, атомний номер 18, атомна маса 39,948.

При звичайних умовах аргон – безбарвний, неотруйний газ, без запаху та смаку, майже в 1,5 раза важче повітря. У природі аргон присутній тільки у вільному стані. Об'ємна концентрація аргону в повітрі 0,93 %. Як у рідкому, так і у твердому стані аргон у металах нерозчинний. Аргон широко використовують як захисне середовище при зварюванні та плавленні активних і рідких металів і сплавів (алюмінію, алюмінієвих і магнієвих сплавів, корозійностійких хромонікелевих жароміцних сплавів і легированих сталей різних марок).

Основним промисловим способом отримання аргону є метод низькотемпературної ректифікації повітря. Температура кипіння аргону складає (–185,9 °С). Це трохи нижче, ніж кисню (–182,9 °С), і вище, ніж азоту (–195,8 °С). Тому в розділюючих колонах відбувається вибіркоче випаровування окремих газів. Подальшим глибоким охолодженням і фракційною перегонкою цієї суміші підвищують концентрацію аргону до необхідної величини. Від залишків кисню аргон очищують шляхом безполуменового спалювання водню в "сирому" аргоні у присутності каталізато-

ра. Застосовують також спосіб очищення в реакторах, які заряджаються гранулами активного окису міді. У чистому аргоні як домішки залишаються невеликі кількості кисню, азоту та вологи. Оскільки за умовами зварювання потрібен аргон різної чистоти, то промисловість випускає його трьох сортів (табл. 5.2) [20]. Аргон виробляють на потужних повітрянорозділюючих установках типу КААр-30, якими комплектуються кисневі станції заводів чорної металургії. Аргон також отримують на спеціалізованих заводах із використанням повітрянорозділюючих установок типу Кж-1 Ар, КжжААр-1,6 і АжКжКаАрж-2.

*Таблиця 5.2. Склад газоподібного аргону (ГОСТ 10157–79)*

Показник	Сорт		
	вищий	перший	другий
Об'ємна частка аргону, %, не менше	99,9930	99,987	99,950
Об'ємна частка кисню, %, не більше	0,0007	0,002	0,005
Об'ємна частка азоту, %, не більше	0,0050	0,010	0,040
Масова концентрація водяної пари при 20 °С та тиску 0,1 МПа, г/м <sup>3</sup> , не більше	0,0070	0,010	0,030
Об'ємна частка сполук, що містять вуглець, у перерахуванні на СО <sub>2</sub> , %, не більше	0,0005	0,001	0,005

Аргон постачається як у газоподібному, так і в рідинному стані. Газоподібний аргон відпускають, зберігають і транспортують у сталевих балонах (за ГОСТ 949–73) або автореципієнтах під тиском  $(15,0 \pm 0,5)$  МПа або  $(20,0 \pm 1,0)$  МПа при 20 °С. Тиск газу в балоні й автореципієнтах вимірюють манометром відповідного класу точності. Температуру газу в балоні приймають рівною температурі навколишнього повітря, у якому наповнений балон повинен бути витриманий не менше п'яти годин перед вимірюванням тиску.

Об'єм газоподібного аргону в балоні за нормальних умов обчислюють за формулою

$$V_r = kV_0,$$

де  $k$  – коефіцієнт для обчислення об'єму газу в балоні, що враховує тиск і температуру аргону.

При постачанні аргону в балонах (за ГОСТ 949–73) місткістю 40 дм<sup>3</sup> об'єм газу в балоні при номінальному тиску 15 МПа і 20 °С становить 6,20 м<sup>3</sup> ( $k = 0,155$ ); при номінальному тиску 20 МПа і 20 °С – 8,24 м<sup>3</sup> ( $k = 0,206$ ) (див. п. 5.6).

Рідкий аргон транспортують залізницею у спеціальних залізничних вагонах-цистернах типу ЦТК. Автомобільним транспортом рідкий аргон перевозять у транспортних цистернах для рідкого аргону всіх типорозмірів (за ГОСТ 17518–79), а також автомобільними газифікаційними установками типу АГУ. Кількість рідкого аргону в цистернах вимірюють у тоннах або кілограмах. При перерахуванні маси або об'єму рідкого аргону в кубометри газоподібного аргону при нормальних умовах використовують наступні формули:

$$V_r = m \cdot 1000 / 1,662$$

або

$$V_r = V_p \cdot 1,392 / 1,662,$$

де  $m$  – маса рідкого аргону, т;  $V_p$  – об'єм рідкого аргону, дм<sup>3</sup>; 1,662 – щільність газоподібного аргону за нормальних умов, кг/м<sup>3</sup>; 1,392 – щільність рідкого аргону за нормального тиску, кг/дм<sup>3</sup>.

Аргон нетоксичний і вибухобезпечний. Газоподібний аргон важче повітря і може накопичуватися в приміщеннях біля підлоги. При цьому знижується вміст кисню в повітрі, що викликає кисневу недостатність в електрозварника. У зв'язку з цим у місцях можливого накопичення газоподібного аргону необхідно контролювати вміст кисню в повітрі приладами автоматичної або ручної дії з пристроєм для дистанційного відбору проб повітря. Об'ємна частка кисню в повітрі повинна бути не менше 19 %.

При роботі в атмосфері аргону необхідно користуватися ізолюючим кисневим приладом, шланговим протигазом або скафандром.

**Гелій** (*лат.* Helium). He – хімічний елемент VIII групи періодичної системи Д.І. Менделєєва, атомний номер 2, атомна маса 4,0026, інертний газ, без кольору та запаху, щільність 0,178 г/л. Вперше був відкритий на сонці (Helius – сонце). Має дуже низьку температуру кипіння (–268,93 °С). На землі гелію мало, у невеликій кількості міститься в повітрі та земній корі, де він постійно утворюється при розкладанні урану й інших радіоактивних елементів. Об’ємний вміст гелію в повітрі 0,00052 %.

Газ не отруйний, добре дифундує крізь тверді тіла, значно легше повітря й аргону. Гелій не утворює хімічних сполук з більшістю елементів. Гелій отримують методом фракційної конденсації з природних газів, що утворюються при розкладанні гірських порід, які містять уран. Природний газ попередньо очищають від окису та двоокису вуглецю, піддають сушці, а потім спалюють. Метан та інші вуглеводні відокремлюють в абсорберах з активованим вугіллям. Від азоту газ очищають шляхом глибокого охолодження в теплообміннику. У чистому гелії як домішки залишаються невеликі кількості азоту, водню, кисню та вологи.

Гелій для зварювання виробляється промисловістю за ТУ 51–689–75 трьох сортів: марки А, Б та В (табл. 5.3) [20]. Методи визначення частки домішок та умов постачання регламентуються ГОСТ 20461–75.

*Таблиця 5.3. Склад гелію (за ТУ 51–689–75)*

Об’ємна частка, %	Марка		
	А	Б	В
Гелій, не менше	99,9950	99,990	99,990
Водень, не більше	0,0001	0,0025	0,0025
Азот, не більше	0,0005	0,0040	0,0040
Кисень, не більше	0,0001	0,0010	0,0010
Аргон, не більше	–	0,0010	0,0010
Вуглеводень, не більше	0,0001	0,0030	0,0030
Неон, не більше	0,0040	0,0090	0,040
Водяна пара, не більше	0,0005	0,0020	0,0020

Транспортують і зберігають гелій у газоподібному стані в сталевих балонах при тиску 15 МПа або в скрапленому стані при 0,2 МПа (див. п. 5.6). Вартість гелію значно вища, ніж аргону, тому його застосовують в основному при зварюванні хімічно чистих й активних матеріалів і сплавів, а також сплавів на основі алюмінію та магнію.

### **5.1.2. Активні гази**

У якості активних захисних газів при зварюванні використовують вуглекислий газ і суміші газів ( $\text{Ar} + \text{O}_2$ ,  $\text{Ar} + \text{CO}_2$ ,  $\text{CO}_2 + \text{O}_2$  та ін.). У деяких зварювальних процесах використовують також азот і водень.

**Вуглекислий газ** або двоокис вуглецю, оксид вуглецю (IV), може мати газоподібний, рідкий або твердий (у вигляді "сухої криги") стан. Щільність двоокису вуглецю залежить від тиску, температури та агрегатного стану. При атмосферному тиску і температурі  $-78,5\text{ }^\circ\text{C}$  двоокис вуглецю, минаючи рідкий стан, перетворюється в білу снігоподібну масу – "суху кригу". Вуглекислий газ – широко розповсюджений у природі безбарвний газ, має слабкий кислуватий запах і смак, добре розчинюється у воді й утворює вугільну кислоту  $\text{H}_2\text{CO}_3$ , додаючи їй кислий смак. Повітря містить 0,03 %  $\text{CO}_2$ . При нульовій температурі та тиску 101,3 кПа щільність вуглекислого газу дорівнює  $0,001976\text{ г/см}^3$  і відносно повітря складає 1,524.

Рідкий двоокис вуглецю існує при кімнатній температурі лише при тиску більше 5,85 МПа (щільність  $0,771\text{ г/см}^3$  ( $20\text{ }^\circ\text{C}$ )). Питома маса рідкого двоокису вуглецю значно змінюється від температури, тому кількість двоокису вуглецю визначають і продають за масою. Розчинність води в рідкому двоокисі вуглецю в інтервалі температур  $5,8\dots 22,9\text{ }^\circ\text{C}$  не більше 0,05 %. За нормальних умов ( $20\text{ }^\circ\text{C}$  і 101,3 кПа) під час випаровування 1 кг рідкої вуглекислоти утворюється 509 л газу. При надмірно швидкому відборі газу, зниженні тиску в балоні та недостатньому підведенні теплоти вуглекислота охолоджується, швидкість її випаровування знижується і

при тиску 0,53 МПа і температурі  $-56,6\text{ }^{\circ}\text{C}$  вона перетворюється в "суху кригу". При нагріванні "суха крига" безпосередньо переходить у вуглекислий газ, мінаючи рідкий стан. "Суха крига" випаровується значно повільніше від рідкої вуглекислоти.

Двоокис вуглецю термічно стійкий, дисоціює на окис вуглецю та кисень тільки за температури вище  $2000\text{ }^{\circ}\text{C}$  [7].

Для одержання швів високої якості необхіден вуглекислий газ високої чистоти. У зв'язку з цим для зварювання використовують двоокис вуглецю вищого та першого сортів (табл. 5.4) [18, 20]. Відповідно до ГОСТ 8050–85 двоокис вуглецю не повинен містити сірководень, кислоти, органічні сполуки (спирти, ефіри, альдегіди й органічні кислоти), аміак, етаноламіни й ароматичні вуглеводні.

*Таблиця 5.4. Склад двоокису вуглецю (ГОСТ 8050–85)*

Показник	Сорт		
	вищий	перший	харчовий
Об'ємна частка $\text{CO}_2$ , %, не менше	99,80	99,50	98,50
Об'ємна частка $\text{CO}$ , %, не більше	Немає	Немає	0,050
Масова концентрація мінеральних масел і механічних домішок, мг/кг, не більше	0,10	0,10	0,10
Масова частка води, %, не більше	Немає	Немає	0,750
Масова концентрація водяної пари при $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ і 0,1 МПа, г/см <sup>3</sup> , не більше, що відповідає температурі насичення $\text{CO}_2$ водяною парою при тиску 0,1 МПа і температурі, $^{\circ}\text{C}$ , не вище	0,037	0,184	0,50
	-48,0	-48,0	-48,0

Вуглекислий газ одержують у промисловості декількома способами, з яких найбільш поширені наступні:

з газів, що утворюються при бродінні спирту, пива, розщепленні жирів. Газ у цих випадках являє собою майже чистий вуглекислий газ і є дешевим побічним продуктом виробництва;

з газів хімічних виробництв, у першу чергу синтетичного аміаку та метанолу (містять приблизно 90 %  $\text{CO}_2$ );

з димових газів промислових котелень. При спалюванні вугілля, природного газу та інших палив димовий газ містить 12...20 % CO<sub>2</sub>.

Двоокис вуглецю – нетоксичний, вибухобезпечний. Однак, при концентраціях більше 5 % (92 г/м<sup>3</sup>) він може викликати явища кисневої недостатності. Гранично припустима концентрація двоокису вуглецю в повітрі робочої зони 9,2 г/м<sup>3</sup> (0,5 %). Приміщення для зварювання в цьому випадку повинні бути обладнані загальнообмінною вентиляцією.

Для транспортування та збереження рідкого двоокису вуглецю найбільш поширені ізотермічні транспортні цистерни та стаціонарні наповнювачі середнього тиску. Це устаткування, а також газифікатори за відповідними характеристикам об'єднані в групи, які в сукупності утворюють типові комплекси. В першій комплекс входить транспортна ізотермічна цистерна рідкої вуглекислоти ЦЖУ-3,0-2,0, стаціонарна посудина – накопичувач рідкої вуглекислоти НЖУ-4,0-2,0 (обладнана холодильною установкою) та установка для газифікації вуглекислоти ЭГУ-100 (обладнана електричним випаровувачем); в другий комплекс – ЦЖУ-6,0-1,8, НЖУ-8,0-2,0, УГМ-200М; в третій – ЦЖУ-9,0-1,8, НЖУ-12,5-2,0, ГУ-400; у четвертий – ЦЖУ-17,0-2,0, НЖУ-25,0-2,0, ГУ-400; у п'ятий – ЦЖУ-40,0-2,0, НЖУ-50,0-2,0, ГУ-400. Транспортувати та зберігати вуглекислоту можна також у балонах за ГОСТ 949–73 (див. п. 1.6).

Споживання вуглекислоти здійснюється через газифікатори по системі трубопроводів.

**Кисень** (лат. Oxxygenium). О – хімічний елемент VI групи періодичної системи Д.І. Менделєєва, атомний номер 8, атомна маса 15,9994. За нормальних умов – газ без кольору, запаху і смаку. Хімічно найбільш активний (після фтору) неметал. З більшістю інших елементів (воднем, металами, сіркою, фосфором та ін.) взаємодіє безпосередньо (окиснення) і, як правило, з виділенням енергії. В атмосфері кисень знаходиться у вільному стані й складає 23,15 % маси повітря. У звичайних умовах молекула



кисню двохатомна (O<sub>2</sub>). Щільність газоподібного кисню при температурі 0 °С і нормальному тиску 1,42897 г/л. Критична температура переходу в рідкий стан 118,84 °С, критичний тиск 4,97 МПа. Температура кипіння 182,9 °С. Кисень широко застосовують для газового зварювання та різання, а також при дуговому зварюванні як складову частину газової суміші. При досить високому вмісті елементів-розкиснювачів у металі, що переплавляється дугою, кисень може вводиться в зону зварювання для зменшення шкідливої дії водню, поліпшення формування металу шва та переносу електродного металу. Як поверхнево активний елемент кисень зменшує поверхневе натягнення рідкого металу, сприяє утворенню на торці електроду більш дрібних крапель та переходу до струминного переносу металу в зварювальну ванну.

Промисловість випускає технічний і медичний газоподібний кисень, який одержують з атмосферного повітря способом низькотемпературної ректифікації. Технічний кисень одержують також електролізом води. Склад газоподібного кисню надано у табл. 5.5 [4, 20]. Кисень – нетоксичний, негорючий і вибухобезпечний, однак він різко збільшує здатність інших матеріалів до горіння. Накопичення кисню в повітрі приміщень створює небезпеку виникнення пожеж. Об'ємна частка кисню в робочих приміщеннях не повинна перевищувати 23 %.

**Таблиця 5.5. Склад газоподібного кисню (ГОСТ 5583–78, ISO 2046–73)**

Показник	Сорт		
	перший	другий	третій
Об'ємна частка кисню, %, не менше	99,70	99,50	99,20
Масова концентрація водяної пари при 20 °С і 0,1 МПа, г/м <sup>3</sup> , не більше	0,05	0,07	0,07
Об'ємна частка водню, %, не більше	0,30	0,50	0,70

Газоподібний кисень транспортують у сталевих балонах (за ГОСТ 949–73) або в автореципієнтах під тиском (15 ± 0,5) МПа або

( $20 \pm 1$ ) МПа при 20 °С. Балони з киснем перевозять транспортом усіх видів відповідно до правил перевезення небезпечних вантажів (див. п. 5.6).

При навантаженні, розвантаженні, транспортуванні та збереженні балонів повинні дотримуватися заходи, що *запобігають* їхньому падінню, ударам, ушкодженню і *забрудненню балонів мастилами*.

**Азот** (*грецьк.* azoos – безжиттєвий, *лат.* Nitrogenium). N – хімічний елемент V групи періодичної системи Д.І. Менделєєва, атомний номер 7, атомна маса 14,0067, безбарвний газ, без запаху та смаку. У повітрі вільний азот (у вигляді молекул N<sub>2</sub>) складає 78,09 %. Азот трохи легший повітря, щільність 1,2506 кг/м<sup>3</sup> при нульовій температурі та нормальному тиску, температура кипіння 195,8 °С. Критична температура переходу в рідкий стан 147,1 °С і критичний тиск 3,39 МПа.

Азот використовують для зварювання міді та її сплавів, відносно яких він є інертним газом, а також для плазмового різання. Стосовно більшості інших металів азот є активним газом (часто шкідливим) і його концентрацію в зоні плавлення прагнуть обмежити.

Питомий об'єм газоподібного азоту дорівнює 860,4 дм<sup>3</sup>/кг при тиску близько 1 МПа і температурі 20 °С, рідкого – 1,239 дм<sup>3</sup>/кг при температурі –195,8 °С і тиску близько 0,1 МПа (табл. 5.6) [18, 20].

**Таблиця 5.6. Склад азоту (ГОСТ 9293–74, ISO 2435–73)**

Показник	Сорт		
	вищий	перший	другий
Об'ємна частка азоту, %, не менше	99,994	99,60	99,0
Об'ємна частка кисню, %, не більше	0,005	0,40	1,0
Масова концентрація водяної пари при 20 °С та 0,1 МПа, г/м <sup>3</sup> , не більше	0,005	0,070	–
Температура насичення азоту водяною парю при тиску 0,1 МПа, °С, не вище	–63,0	–43,0	–

Постачання технічного азоту здійснюється в газоподібному стані у балонах й автореципієнтах під тиском ( $15,0 \pm 0,5$ ) МПа й ( $20,0 \pm 1,0$ ) МПа

або в рідкому стані в ізотермічних цистернах. Технічний газоподібний азот вищого сорту поставляється тільки по трубопроводу.

Накопичення газоподібного азоту викликає явища кисневої недостатності. Вміст кисню в повітрі робочої зони зварника повинен бути не менше 19 %.

**Водень** (*лат.* Hydrogenium). Н – хімічний елемент, перший за порядковим номером в періодичній системі Д.І. Менделєєва. Атомна маса дорівнює 1,00792. За звичайних умов водень – газ без кольору, запаху та смаку, у 14,4 рази легший за повітря. Щільність 0,0899 г/л (при температурі 0 °С і тиску близько 0,1 МПа). Критична температура дуже низька (–240 °С). Водень використовують у зварювальному виробництві для атомно-водневого зварювання та дугового зварювання в захисних газах (у суміші Ar + H<sub>2</sub> до 12 %). Крім того він горючий газ (див. п. 5.4.). Водень відіграє також важливу роль у металургійних процесах зварювання. Більш широко застосовують його у спеціальних способах зварювання та металургії, наприклад у порошковій металургії при спіканні виробів.

Відповідно до ГОСТ 3022–80 водень випускають трьох марок: А, Б, В. Водень марки А одержують електролізом води; марки Б – залізопаровим способом під час взаємодії феросиліцію з розчином лугу; марки В – електролізом хлористих солей, а також при паровій конверсії вуглеводневих газів. Для зварювання та з металургійною метою в основному використовують водень марок А та Б (табл. 5.7) [20].

При роботі з воднем необхідно ретельно виконувати вимоги техніки безпеки. Водень вибухонебезпечний. З повітрям і киснем утворює вибухонебезпечну суміш, у суміші з киснем (2 : 1) – гримучий газ. Вибухові концентрації: з повітрям – 4...75 %, з киснем – 4,1...96,0 %. Температура samozapalювання 510 °С. Водень фізіологічно інертний, при високих концентраціях викликає кисневу недостатність. При високому тиску ви-

являється його наркотична дія. У зв'язку з цим при роботі в середовищі водню необхідно користуватися ізолюючим протигазом.

**Таблиця 5.7. Склад водню вищої категорії якості (ГОСТ 3022–80)**

Показник	Марка	
	А	Б
Об'ємна частка водню в перерахунку на сухий газ, %, не менше	99,990	99,950
Загальна об'ємна частка газів (кисню, азоту, окису вуглецю) в перерахунку на сухий газ, %	0,005	0,050
Об'ємна частка кисню, %, не більше	0,010	0,050
Концентрація водяної пари при 20 °С і 0,1 МПа, г/м <sup>3</sup> , не більше:		
в трубопроводах	0,50	0,50
в балонах під тиском	0,20	0,20

Технічний водень зберігають і транспортують у сталевих балонах місткістю 40 і 50 дм<sup>3</sup> (за ГОСТ 949–73) під тиском ( $15 \pm 0,5$ ) МПа при 20 °С.

Балони з воднем зберігають у спеціальних, ізольованих приміщеннях або на відкритому повітрі під навісом, з обов'язковим захистом балонів від атмосферних опадів та прямих сонячних променів. Збереження поруч балонів з воднем і балонів з іншими газами не допускається. Кожна партія захисного газу повинна супроводжуватися документом про якість.

## **5.2. Класифікація захисних газів і сумішей**

Дугове зварювання в окисних газах супроводжується помітними втратами ряду легуючих елементів, що утворюють під час взаємодії з киснем шлаки (MnO, SiO<sub>2</sub>, TiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> та ін.) або гази (CO<sub>2</sub>, CO, SO<sub>2</sub> та ін.). Здатність захисного газу окиснювати метал у процесі зварювання називається окисною здатністю або окисним потенціалом.

За даними М.М. Новожилова, у реакційній зоні зварювання одночасно протікають два протилежних процеси [20]:

окиснення рідкого металу (електродні краплі, зварювальна ванна) та його пари захисним газом;

розкиснення металу зварювальної ванни легуючими елементами електродного або основного металу.

При цьому продукти окиснення металу визначають склад шлаку, який утворюється на його поверхні, а продукти розкиснення впливають на склад неметалевих включень у металі шва. Це пов'язано з тим, що на відміну від продуктів окиснення, продукти розкиснення не завжди встигають коагулюватися та виділитися з металу шва, і тоді утворюються неметалеві включення. Процеси окиснення та розкиснення мають важливе практичне значення: окиснення легуючих елементів знижує міцність, а неметалеві включення зменшують (особливо при низьких температурах) пластичність металу шва.

Через велику різноманітність газів, для оцінки інтенсивності окиснення металу захисним середовищем, розроблено декілька експериментальних методів [7]. Наприклад, інтенсивність окиснення металу захисним газом можна оцінювати за відношенням вмісту елементів у металі шва і вмісту елементів, що надійшли до нього з електродного дроту й основного металу (початкова концентрація елементів). Це відношення називають **коефіцієнтом засвоєння** або коефіцієнтом переходу в метал шва легуючих елементів:

$$\begin{aligned}\mu_i &= C_{ши} / C_{пи}, \\ C_{пи} &= \gamma C_{oi} + (1 - \gamma) C_{ди}, \\ C_{ши} &= C_{oi} \mu_i \gamma + C_{ди} \mu_i (1 - \gamma),\end{aligned}$$

де  $\mu_i$  – коефіцієнт засвоєння відповідного елемента;  $C_{ши}$  – концентрація елемента в металі шва, %;  $C_{пи}$  – початкова концентрація елемента, %;  $(1 - \gamma)$ ,  $\gamma$  – частка участі електродного й основного металів у металі шва відповідно;  $C_{ди}$ ,  $C_{oi}$  – концентрація елемента в електродному дроті й основному металі, відповідно %, мас.

Загальні коефіцієнти засвоєння елементів підраховують на підставі

експериментального визначення вмісту елементів в електродному дроті, основному металі, металі шва та визначення часток участі електродного та основного металів у металі шва шляхом дослідження поперечних перерізів швів. На практиці досить зручно оцінювати вміст легуючих елементів у металі шва за формулою

$$C_{ши} = C_{oi} \mu_{oi} \gamma + C_{di} \mu_{di} (1 - \gamma),$$

де  $\mu_{oi}$ ,  $\mu_{di}$  – коефіцієнт засвоєння відповідного елемента із основного й електродного металів відповідно.

Оцінку інтенсивності окиснення за коефіцієнтами засвоєння елементів застосовують найбільш широко. Однак цей метод не дозволяє кількісно оцінювати інтенсивність окиснення.

Оцінку за **складом захисного газу** і вмістом кисню в металі шва застосовують при зварюванні в окисних газах, коли відбувається збільшення вмісту кисню в металі шва. Цей параметр використовують у ряді країн для оцінки окисного потенціалу захисних газових сумішей. В узагальненому вигляді результати досліджень впливу складу газів на окиснення металу шва знайшли відображення в запропонованій ІІВ класифікації захисних газів за їх хімічною активністю (окисною здатністю), показниками якої є склад газу та вміст кисню в металі шва (табл. 5.8) [27]. Однак вміст кисню в металі шва не може кількісно відтворювати інтенсивність окиснення металу захисним газом, оскільки в метал шва переходить тільки частина кисню, а інша значна частина його зв'язується в оксидні плівки, що утворюються на поверхні зварних швів. Отже, запропонована ІІВ класифікація захисних газів за їх хімічною активністю може бути використана як наближена.

Оцінка інтенсивності взаємодії металу з захисним газом за **підсумковою кількістю кисню**, який прореагував з металом, запропонована М.М. Новожиловим. У даному випадку враховують не тільки кисень, що

Таблиця 5.8. Класифікація захисних газів (за даними ПП)

Група	Номер газу	Число компонентів	Склад суміші, %					Тип газу (хімічна активність)	Загальний вміст [O] в металі шва, %
			Окиснювачі		Інертні гази		Відновлювачі		
			CO <sub>2</sub>	O <sub>2</sub>	Ar	He	H <sub>2</sub>		
I1	1	1	–	–	100	–	–	Інертний	0,02
	2	1	–	–	–	100	–		
	3	2	–	–	25...75	Решта	–		
	4	2	–	–	85...95	–	Решта		
	5	1	–	–	–	–	100		
M1	1	2	–	1...3	Решта	–	–	Слабоокиснювальний	0,04
	2	2	2...4	–	Решта	–	–		
M2	1	2	15...30	–	Решта	–	–	Середньоокиснювальний	0,04...0,07
	2	3	5...15	1...4	Решта	–	–		
	3	2	–	4...8	Решта	–	–		
M3	1	2	30...40	–	Решта	–	–	Сильноокиснювальний	0,07
	2	2	–	9...12	Решта	–	–		
	3	3	5...20	4...6	Решта	–	–		
C	1	1	100	–	–	–	–		
	2	2	Решта	20	–	–	–		

перейшов у метал шва, але й кисень, який прореагував з розплавленим металом при зварюванні, але не потрапив у метал шва:

$$m[\text{O}]_д + n[\text{O}]_о + \text{O}_р = [\text{O}]_ш + \{\text{O}\}_г + [\text{O}]_рб + (\text{O})_шл,$$

де  $m[\text{O}]_д$ ,  $n[\text{O}]_о$  – кількість кисню в розплавленому електродному дроті та основному металі відповідно, віднесена до одиниці маси (г) металу шва;  $\text{O}_р$  – кількість кисню, що проарегував з металом в результаті його взаємодії з захисним газом;  $[\text{O}]_ш$  – кількість кисню, що потрапив у метал шва;  $\{\text{O}\}_г$  – кількість кисню, що вийшов з металу у складі  $\text{CO}_2$ ,  $\text{CO}$  та інших газів;  $[\text{O}]_рб$  – кількість кисню, що прореагував з металом, який не потрапив у шов і пішов на розбризкування;  $(\text{O})_шл$  – кількість кисню, що перейшов з металу у шлакову фазу за рахунок процесів розкиснення.

Підсумкову кількість кисню, який прореагував у процесі зварювання з 100 г металу шва, найчастіше визначають через втрати легуючих елементів  $\text{V}_е$ , які мають велику хімічну спорідненість з киснем (C, Si, Mn та ін.) і містяться в металі у значній кількості.

Втрати кожного елемента (%) визначають за його вмістом в електродному дроті  $C_д$ , основному металі  $C_о$  та металі шва  $C_ш$  з урахуванням часток участі електродного M та основного N металів, які знаходять шляхом планіметрування поперечних перерізів шва:

$$\text{V}_е = (\text{M}C_д + \text{N}C_о) - C_ш.$$

Підсумкову кількість кисню  $\Sigma\text{O}$  ( $\text{см}^3/100$  г металу), що прореагував із всіма легуючими елементами, приблизно підраховують з урахуванням відношення атомних мас кисню та легуючих елементів, які окиснюються в найбільш імовірних (з термодинамічної точки зору) окисах ( $\text{CO}$ ,  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{MnO}$ ,  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  та ін.) [11]:

$$\begin{aligned} \Sigma\text{O} = & 1,33\text{V}_C + 1,14\text{V}_{\text{Si}} + 0,29\text{V}_{\text{Mn}} + 0,46\text{V}_{\text{Cr}} + 0,67\text{V}_{\text{Ti}} + 0,89\text{V}_{\text{Al}} + \\ & + 0,35\text{V}_{\text{Zr}} + \dots, \end{aligned}$$

де  $\text{V}_C$ ,  $\text{V}_{\text{Si}}$ ,  $\text{V}_{\text{Mn}}$ , ... – втрати вуглецю, кремнію, мангану та інших елементів відповідно.



Оцінка інтенсивності окиснення за кількістю кисню, що прореагував з металом, дозволяє найбільш вірогідно, кількісно оцінити окисню здатність захисного газу. Класифікація захисних газів за кількістю кисню, що прореагував з металом, наведена в табл. 5.9 [11].

Окиснення металу при зварюванні істотно залежить від параметрів режиму: струму, напруги на дузі, швидкості зварювання, вильоту електрода. При збільшенні струму, напруги на дузі швидкість окиснення металу спочатку зменшується, а потім залишається постійною або трохи підвищується.

### **5.3. Особливості використання захисних газів при зварюванні**

Основними захисними газами при зварюванні неплавким електродом є аргон і гелій. Для захисту зварювальної ванни ці гази застосовують у чистому вигляді або у вигляді суміші  $Ar + He$  в будь-якому співвідношенні (див. табл. 5.9). Значні розходження в щільності та теплопровідності аргону та гелію визначають особливості їх захисних властивостей, а також умов горіння дуги. Аргон є більш важким газом, ніж повітря. У зв'язку з цим при витіканні із сопла пальника, струмінь аргону краще захищає рідкий метал при зварюванні в нижньому положенні. Розтікаючись по поверхні виробу, він тривалий час захищає широку зону розплавленого та нагрітого до високих температур металу. Гелій захищає метал гірше аргону (мала щільність), що змушує збільшувати його витрати для надійного захисту.

При зварюванні в гелії напруга на дузі в 1,5...2,0 рази вища, ніж при зварюванні в аргоні, що пов'язано з більш високим потенціалом іонізації гелію (див. табл. 5.1). У зв'язку з цим за однакової сили струму при зварюванні в гелії виділяється більше тепла, ніж при зварюванні в аргоні й дуга в гелії має більшу проплавляючу здатність (рис 5.1) [18]. У багатьох випадках рекомендується використовувати захисну суміш 65 %  $Ar + 35$  %  $He$ .

Таблиця.5.9. Класифікація захисних газів (за М.М. Новожиловим)

Група	Номер газу	Число компонентів	Склад суміші, %					$\Sigma O_{зв}$ , см <sup>3</sup> /100 г металу шва	Тип газу (хімічна активність)
			Окиснювачі		Інертні гази		Відновлювачі		
			CO <sub>2</sub>	O <sub>2</sub>	Ar	He	H <sub>2</sub>		
II	1	1	–	–	–	–	100	0,04	Слабовідновлювальний
	2	2	–	–	85...95	–	Решта		
I2	1	1	–	–	100	–	–	0,05	Інертний
	2	1	–	–	–	100	–		
	3	2	–	–	25...75	Решта	–		
M1	1	2	2...8	–	Решта	–	–	0,05...0,1	Слабоокиснювальний
	2	2	–	1...5	Решта	–	–		
M2	1	2	9...20	–	Решта	–	–	0,1...0,2	Середньоокиснювальний
	2	2	–	6...11	Решта	–	–		
	3	3	5...10	1...3	Решта	–	–		
M3	1	2	21...95	–	Решта	–	–	0,2...0,3	Окиснювальний
	2	2	–	12...14	Решта	–	–		
	3	3	11...20	2...3	Решта	–	–		
C	1	1	100	–	–	–	–	0,3	Сильноокиснювальний
	2	2	Решта	1	–	–	–		
	3	2	–	15	Решта	–	–		
	4	3	15...25	4	Решта	–	–		

При цьому співвідношенні найбільш повно забезпечуються переваги обох газів, глибоке проплавлення основного металу та добре формування металу шва [20].

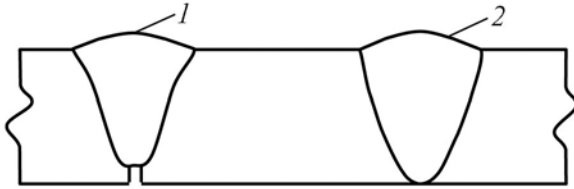


Рис. 5.1. Форма проплавлення при зварюванні в аргоні (1) та гелії (2)

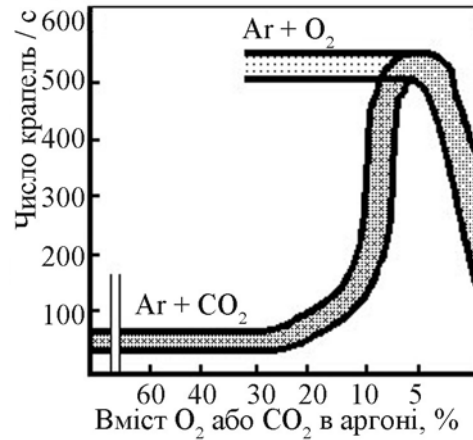
При зварюванні плавким електродом розплавлений метал переходить у зварювальну ванну і таким чином бере участь у формуванні шва. Основні види перенесень електродного металу при зварюванні плавким електродом наступні: великокрапельний з короткими замиканнями дугового проміжку; великокрапельний без коротких замикань; перенесення краплями середнього розміру без коротких замикань; струминне перенесення.

Характер перенесення електродного металу залежить від температури (з підвищенням температури поверхневий натяг рідкого металу зменшується) і складу захисного газу, який суттєво впливає на поверхневий натяг рідкого металу.

Кисень зменшує поверхневий натяг металу, і тому зі збільшенням його вмісту в суміші на основі аргону критичний струм переходу до струминного перенесення зменшується. Високі технологічні властивості дуги при зварюванні сталі забезпечуються при доданні до аргону 2...5 %  $O_2$ . У такому середовищі дуга горить стабільно. Перенесення металу є дрібнокрапельним з мінімальним розбризкуванням (рис. 5.2) [20].

Вуглекислий газ при концентраціях 5...10 % у суміші з аргонном також сприяє зниженню поверхневого натягу. Зростання вмісту  $CO_2$  у суміші  $Ar + CO_2$  більше 20 % збільшує поверхневий натяг рідкого металу [24].

Рис. 5.2. Вплив складу газових сумішей  $\text{Ar} + \text{O}_2$ ,  $\text{Ar} + \text{CO}_2$  на число електродних крапель, що утворюються при зварюванні електродом діаметром 1 мм струмом 250 А



Азот, навпаки, підвищує поверхневий натяг металу. Тому із збільшенням вмісту азоту в аргоні при однаковій силі струму розмір краплі збільшується. При зварюванні в середовищі азоту відбувається великокрапельне перенесення металу з інтенсивним розбризуванням.

Водень також підвищує поверхневий натяг та сприяє збільшенню критичного струму. При додаванні до аргону 5...10 %  $\text{H}_2$  краплі електродного металу виростають до великих розмірів, зберігаючи сферичну форму. При зварюванні в аргоні, що містить більше 20 %  $\text{H}_2$ , перенесення металу супроводжується вибухами в результаті коротких замикань крапель на зварювальну ванну та активним розбризуванням.

Основні закономірності процесу зварювання в сумішах  $\text{Ar} + \text{CO}_2$ ,  $\text{Ar} + \text{O}_2$ ,  $\text{Ar} + \text{CO}_2 + \text{O}_2$  мало відрізняються від існуючих при зварюванні в чистому аргоні. Однак присутність окисних газів значно розширює діапазон струмів стабільного ведення процесу зварювання, забезпечує краще формування металу шва та менше розбризування, поліпшує форму провару та зменшує випромінювання дуги порівняно зі зварюванням в чистому аргоні або у чистому вуглекислому газі. Завдяки переліченим перевагам суміші  $\text{Ar} + \text{O}_2$ ,  $\text{Ar} + \text{CO}_2$ ,  $\text{Ar} + \text{CO}_2 + \text{O}_2$  широко використовують на практиці для зварювання плавким електродом.

При вмісті  $\text{CO}_2$  у суміші  $\text{Ar} + \text{CO}_2$  більше 25...30 % стабільність процесу помітно знижується. При вмісті  $\text{CO}_2$  40...50 % і більше зварювання в суміші  $\text{Ar} + \text{CO}_2$  практично мало відрізняється від зварювання в чистому  $\text{CO}_2$ . Однак при зварюванні у чистому  $\text{CO}_2$  складно забезпечити струминний перенос електродного металу. При малій довжині дуги на низьких напругах процес протікає з короткими замиканнями, супроводжується великими втратами електродного металу на розбризування. Підвищене розбризування розплавленого металу є серйозним недоліком зварювання в  $\text{CO}_2$ . Бризки засмічують сопло пальника та порушують захист у процесі зварювання, налипають на основний метал, що вимагає проведення наступного механічного зачищення. Незважаючи на ці недоліки, уперше розроблений в СРСР у 1950–1952 рр. К.В. Любавським і М.М. Новожиловим спосіб зварювання плавким електродом у вуглекислому газі одержав широке поширення для виготовлення конструкцій з вуглецевих і низьколегованих сталей. Зниження розбризування можна досягти примусовим керуванням перенесення електродного металу імпульсами зварювального струму при веденні процесу зварювання в імпульсно-дуговому режимі.

Забезпечити стабільність горіння дуги та скоротити втрати металу на розбризування при зварюванні в  $\text{CO}_2$  можна також, використовуючи електродні дроти, активовані цезієм, рубідієм, калієм, натрієм, барієм та деякими іншими елементами, які забезпечують стабільність струминного переносу електродного металу у вуглекислому газі. Однак в цілому, вуглекислота в чистому вигляді, як захисне середовище для зварювання низьколегованих та низьковуглецевих сталей дротами суцільного перерізу, використовується обмежено, що пов'язано насамперед з великими втратами металу на розбризування, а також суттєвим зменшенням в металі шва вмісту легуючих елементів та збільшенням вмісту кисню. Це призводить також до зниження рівня механічних властивостей зварних з'єднань,

особливо ударної в'язкості при низьких температурах, що обмежує температурний інтервал використання металокопструкцій.

Починаючи з 60-х років, для з'єднання вуглецевих та низьколегованих сталей застосовується зварювання в суміші вуглекислого газу з киснем (до 20...40 % O<sub>2</sub>). Однак додавання кисню до вуглекислого газу викликає ще більше зменшення вмісту легуючих елементів та підвищення вмісту кисню в металі шва, що є дуже серйозним недоліком.

#### **5.4. Горючі гази, їх властивості та способи одержання**

Горючі гази згорають, як правило, у суміші з киснем. Найвищу температуру має ацетиленокисневе полум'я (3200 °С), що дозволяє використовувати ацетилен при всіх видах газополуменевої обробки металів [18].

**Ацетилен** належить до групи вуглеводнів ряду C<sub>n</sub>H<sub>2n-2</sub>. Це безбарвний пальний газ зі специфічним запахом за рахунок присутності в ньому домішок фосфористого водню, сірководню та ін.; щільність ацетилену при 20 °С та 0,1 МПа дорівнює 1,091 кг/м<sup>3</sup>; при 0 °С та 0,1 МПа щільність – 1,171 кг/м<sup>3</sup>. Ацетилен легший за повітря; щільність, у порівнянні зі щільністю повітря, 0,9; молекулярна маса 26,038. Критична точка для ацетилену характеризується тиском насиченої пари 6,165 МПа та температурою 35,54 °С. При тиску 0,1 МПа та температурі –84 °С ацетилен переходить у рідкий стан, при температурі –85 °С – твердіє [18].

Ацетилен – єдиний газ, що широко використовується у промисловості, горіння і вибух якого може відбутися за відсутності кисню та інших окиснювачів. Температура samozапалювання ацетилену коливається в межах 500...600 °С при тиску 0,2 МПа та знижується зі збільшенням тиску; так, при тиску 2,2 МПа температура samozапалювання ацетилену дорівнює 350 °С, а при наявності каталізаторів, таких, як залізний порошок, силікагель, активоване вугілля та інших розкладання ацетилену по-

чинається при 280...300 °С. Присутність окису міді знижує температуру samozапалювання до 246 °С. За певних умов ацетилен реагує з міддю, утворюючи вибухонебезпечні з'єднання. У зв'язку з цим при виготовленні ацетиленового устаткування забороняється застосовувати сплави, які містять більше 70 % Cu.

Ацетилен використовують у газоподібному або у розчиненому стані. Ацетилен розчиняється в ацетоні, який рівномірно розподіляється в пористому наповнювачі в балоні. Лита пориста маса (ЛПМ) забезпечує локалізацію вибухового розкладання ацетилену. При відсутності пористої маси в балоні ініційоване вибухове розкладання ацетилену відбувається при тиску нижче 0,5 МПа. У якості пористих наповнювачів можуть бути використані також пористі насипні маси (наприклад, активоване вугілля), але при цьому вміст ацетилену в балоні зменшується в 1,5 рази.

Фізико-хімічні показники газоподібного та розчиненого технічного ацетилену регламентує ГОСТ 5457-75.

Технічний розчинений ацетилен транспортують у сталевих балонах за ТУ 6–21–32–78. Припустимий максимальний тиск у балонах не повинен перевищувати 1,34 МПа при температурі –5 °С та тиску 0,1 МПа і 3,0 МПа при температурі +40 °С та тиску 0,1 МПа. Залишковий тиск у балоні при цих параметрах не повинен бути менше 0,05 і 0,30 МПа відповідно.

Для газополуменевої обробки металів поряд з ацетиленом, отриманим з карбїду кальцію, застосовують піролізний ацетилен, який одержують термоокиснювальним піролізом метану.

При застосуванні розчиненого ацетилену, порівняно з газоподібним, забезпечується найбільший коефіцієнт використання карбїду кальцію. Основною сировиною для одержання ацетилену є карбїд кальцію, який одержують в електричних печах при взаємодії обпаленого вапна з коксом або антрацитом. Розплавлений карбїд кальцію розливають у форми, де він

застигає. Потім його подрібнюють в дробарках та сортують за розмірами шматків відповідно до ГОСТ 1460–76. Ацетилен одержують розкладанням (гідролізом) карбіду кальцію водою. Дійсний "вихід" ацетилену з 1 кг технічного карбіду при 20 °С і 0,1 МПа не перевищує 285 л та залежить від грануляції карбіду (табл. 5.10) [18].

**Таблиця 5.10. Фізико-хімічні показники карбіду кальцію**

Розміри шматків, мм	Позначення	Об'єм ацетилену, л/кг, не менше	
		Перший сорт	Другий сорт
25...80	25/80	285	265
15...25	15/25	275	255
8...15	8/15	265	250
2...8	2/8	255	240
Для шматків різного розміру	–	275	255

Вміст фосфористого водню в ацетилені повинен бути не більше 0,08 % об., вміст сульфідної сірки не більше 1,20 %. Великий тепловий ефект реакції розкладання карбіду створює небезпеку сильного перегріву. Без відведення тепла при взаємодії стехіометричної кількості карбіду кальцію та води реакційна маса розігрівається до 700...800 °С. Розкладання карбіду при недостатньому охолодженні й особливо в присутності повітря може привести до вибуху, тому необхідно процес здійснювати при значному надлишку води. Для розкладання 1 кг карбіду необхідно 5...20 л води.

Карбід кальцію транспортують та зберігають у залізних барабанах з товщиною стінки не менше 0,51 мм і масою 50...130 кг.

Усі гази можна поділити на прості, зріджені, стиснуті охолодженням, розчинені, а також газові суміші. Основні фізичні та теплові властивості горючих газів наведено в табл. 5.11 [18].

**Стиснуті гази.** Стиснутими газами – заміниками ацетилену називають такі гази, які за звичайних умов збереження й транспортування не



переходять у рідкий стан ні при якому тиску. До таких газів належать водень, метан, двоокис вуглецю, коксовий, піролізний, природні, нафтові та сланцеві.

У чистому вигляді водень для газополуменевої обробки застосовують в основному при зварюванні та паянні свинцю, а також при особливих видах кисневого різання, де потрібна подача пального газу в різак під високим тиском. Частіше водень є одним із компонентів горючої суміші газів. Чим більше водню в суміші, тим нижчі теплові характеристики останньої.

**Метан** у суміші з повітрям та киснем має широкі концентраційні границі вибуху. Його одержують із природного або коксового газу шляхом глибокого охолодження. Температура запалювання метану  $340\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Для повного згорання  $1\text{ м}^3$  метану необхідно  $2\text{ м}^3$  кисню. Максимальна швидкість поширення полум'я метану в суміші з киснем  $3,3\text{ м/с}$ . Метан – єдиний вуглеводень, який має критичну температуру, значно нижчу температури навколишнього середовища, поряд з воднем та вуглекислим газом. Для газополуменевої обробки чистий метан застосовують обмежено. Він є основним компонентом природних газів і входить до складу інших горючих газів.

**Природні та міські гази** являють собою суміші газоподібних вуглеводнів з переважною кількістю метану ( $75,7\text{...}99,4\%$ ) та невеликою кількістю інертних газів й азоту. Нижча теплота згорання природних газів коливається в межах  $31300\text{...}37800\text{ кДж/м}^3$ . Природний газ практично не має запаху, тому в газ додають адорант, який має різкий запах, за яким можна визначити витікання газу. Природний газ може надходити до споживача або в балонах, або по газопроводу. Газопроводи природних,

Таблиця 5.11. Основні фізичні та теплові властивості горючих газів

Найменування горючого газу та його хімічна формула	Теплота згорання при 20 °С та 0,1 МПа, кДж/м <sup>3</sup>	Температура полум'я суміші газу з киснем, °С	Коефіцієнт заміни ацетилену	Щільність при 20 °С та 0,1 МПа, кг/м <sup>3</sup>	Температура, °С			Границі вибуху, % вмісту газу в суміші		Оптимальне співвідношення між киснем та газом у суміші	Відносна швидкість поширення полум'я
					критична <sup>1</sup>	плавлення	кипіння	з повітрям	з киснем		
Ацетилен C <sub>2</sub> H <sub>2</sub>	52718	3100...3200	1,0	1,090	+35,5	-81,0	-83,6	2,10...100,0	2,3...100,0	1,7	1,0
Водень H <sub>2</sub>	10042	2100...2500	5,20	0,084	-239,8	-259,2	-252,8	3,30...81,50	2,6...95,0	0,4	1,2
Метан CH <sub>4</sub>	33472	2000...2200	1,60	0,670	-82,5	-182,5	-161,7	4,80...16,70	5,0...59,2	2,0	-
Етан C <sub>2</sub> H <sub>6</sub>	60250	2200	1,27	-	-	172,1	-88,5	3,10...15,0	4,1...50,1	-	-
Пропан C <sub>3</sub> H <sub>8</sub>	87027	2600...2750	0,65	1,880	+96,8	-189,9	-42,6	2,0...11,0	2,0...48,0	-	0,3
Бутан C <sub>4</sub> H <sub>10</sub>	116315	2400...2500	0,45	2,540	+152,0	-139,0	-0,6	1,50...8,50	3,0...45,0	3,5...4,0	-
Пропан-бутан	86190	2000...2100	0,60	1,867	-	-	-	2,17...9,50	-	-	-
Етилен C <sub>2</sub> H <sub>4</sub>	59496	2900	0,90	1,170	-	-	-	2,70...36,0	2,6...80,0	-	-
Окис вуглецю CO	11715	2600...2800	4,50	1,160	-140,2	205,0	-191,5	11,40...77,50	15,5...93,9	-	-
Сланцевий газ <sup>2</sup>	13389	1500...2000	4,0	0,740... ...1,0	-	-	-	-	-	0,7	0,5
Коксовий газ <sup>2</sup>	14644... ...18409	2000...2200	3,20	0,40... ...0,550	-	-	-	7,0...21,0	-	0,8...0,9	0,7
Природний газ <sup>2</sup> (метан 98 %)	31380... ...37656	2000...2200	1,80	0,680... ...0,90	-	-	-	4,80...14,0	-	1,7...2,1	0,4
Нафтовий (попутний) газ <sup>2</sup>	36401... ...61923	2000...2400	1,20	0,870... ...1,370	-	-	-	3,50...16,30	-	1,9...2,9	0,5
Міський газ <sup>2</sup>	17154... ...20920	2000...2300	3,0	0,840... ...1,050	-	-	-	3,80...40,0	8,5...73,6	1,2	0,5

Продовж. табл.5.11

Найменування горючого газу та його хімічна формула	Теплота згорання при 20 °С та 0,1 МПа, кДж/м <sup>3</sup>	Температура полум'я суміші газу з киснем, °С	Коефіцієнт заміни ацетилену	Щільність при 20 °С та 0,1 МПа, кг/м <sup>3</sup>	Температура, °С			Границі вибуху, % вмісту газу в суміші		Оптимальне співвідношення між киснем та газом у суміші	Відносна швидкість поширення полум'я
					критична <sup>1</sup>	плавлення	кипіння	з повітрям	з киснем		
Піролізний газ	31380... ...37656	2000...2400	1,80	0,650... ...0,850	–	–	–	–	–	–	–
МАПШ або МАФ	88700	2800...2900	0,55	1,760	–	–	+120,0	3,40...10,80	2,5...60,0	–	–
Пари бензину (C <sub>7</sub> H <sub>15</sub> )	58110 <sup>3</sup>	2400	–	0,70... ...0,740 <sup>4</sup>	–	–	–	0,70...6,0	2,1...28,4	–	–
Пари гасу (C <sub>7</sub> H <sub>14</sub> )	52300 <sup>3</sup>	2300	–	0,790... ...0,820 <sup>4</sup>	–	–	–	1,40...5,50	–	–	–

<sup>1</sup>Критична температура – така температура, вище якої газ не переходить в рідкий стан ні при якому тиску.

<sup>2</sup>Для газових сумішей наведені дані стосуються середніх складів цих газів. Широкі межі зміни щільності, температури полум'я та теплоти згорання пояснюються зміною хімічного складу зазначених газів, яка залежить від родовища або місця виробництва.

<sup>3</sup>Одиниця вимірювання – кДж/л.

<sup>4</sup>Одиниця вимірювання – кг/л.

нафтових та зріджених газів поділяють на три групи: низького (до  $5 \cdot 10^3$  Па), середнього (до  $3 \cdot 10^5$  Па) та високого тиску (до  $1,2 \cdot 10^6$  Па).

Суміш природних газів з низькокалорійними (коковим, генераторним та ін.) називають міським газом та застосовують для побутових потреб, а також для газотермічного різання.

**Окис вуглецю** входить до складу кокового (5...12 %), міського (5...15 %), нафтового піролізного газу (1...11 %) та ін.

**Коксовий газ** являє собою суміш газоподібних продуктів сухої перегонки кам'яного вугілля. Залежно від якості вугілля та технології виробництва коковий газ містить 40...60 %  $H_2$ , 20...30 %  $CH_4$ , 5...12 %  $CO$ , 1,5...4,0 % важких вуглеводнів, 2...3 %  $CO_2$ , 0,4...1,0 %  $O_2$ . Коксовий газ має порівняно низьку теплоту згорання, але його широко застосовують на металургійних заводах, де він є побічним продуктом. Для газополуменевої обробки використовують тільки добре очищений газ, в противному випадку вузькі канали апаратури засмічуються смолистими речовинами, які входять до складу газу. При використанні кокового газу мундштуки варто виготовляти з латуні або чавуну. Для повного згорання  $1 \text{ м}^3$  кокового газу необхідно  $0,9 \text{ м}^3$  кисню. До місця споживання коковий газ транспортують в балонах під тиском 15 МПа або по газопроводу (до  $5 \cdot 10^3$  Па).

**Нафтові гази** являють собою суміш горючих газів. В залежності від способу одержання, нафтові гази поділяють на природні, що є супутниками нафти при її видобутку, та штучні (заводські). Природні нафтові гази іноді називають супутніми або побіжними. Основними компонентами природних нафтових газів є метан, етан, пропан, бутан та більш високомолекулярні вуглеводні парафінового ряду. До складу заводських нафтових газів, крім того, входять вуглеводні олефінового ряду: етилен, пропілен, бутілен, амілен. Штучні нафтові гази містять до 60 %  $H_2$ .

**Сланцевий газ** одержують при газифікації горючих сланців у спеціальних генераторах і застосовують для хімічної переробки та побутових

потреб. З деякими обмеженнями він може бути використаний і для процесів газополуменевої обробки металів.

**Піролізний газ** – продукт термічного розкладання нафтового мазуту. Після очищення в газі утворюються сірчані сполуки, які взаємодіють з міддю. Необхідне ретельне очищення газу, в противному випадку мідні мундштуки газоапаратури руйнуються після трьох-чотирьох годин роботи. Мундштуки, так само як і при роботі з коксовим газом, варто виготовляти з латуні або чавуну.

**Зрідженими газами** називають вуглеводні та їх суміші, які при температурі 20 °С та тиску 0,1 МПа мають газоподібний стан, а при порівняно невеликому підвищенні тиску або зниженні температури переходять в рідкий стан. Зріджені гази навіть у газоподібному стані мають щільність більш високу, ніж щільність повітря, тому вони можуть накопичуватися на поверхні землі або підлоги. У рідкій фазі гази мають великі коефіцієнти об'ємного розширення. Ці властивості зріджених газів вимагають особливої обережності та дотримання заходів безпеки. До зріджених газів належать суміші технічного пропану та бутану, а також суміші метилацетилену та пропадієну.

**Пропан-бутанові суміші** одержують при добуванні природних (попутних) газів, а також при переробці нафти та нафтопродуктів. Пропан-бутанові суміші можуть бути переведені в рідкий стан. Так, при температурі –40 °С навіть при атмосферному тиску пропан-бутанова суміш являє собою рідину. Під час випаровування 1 кг рідкого пропану утворюється 0,535 м<sup>3</sup> пари, а при випаровуванні тієї ж кількості бутану – 0,406 м<sup>3</sup>. Пропан-бутанова суміш порівняно з іншими пальними газами має найвищу теплоту згорання. Кількість тепла, передана металу за одиницю часу полум'ям, називають ефективною потужністю полум'я. Для пропан-бутанових сумішей вона вища, ніж для ацетилену, однак швидкість поширення полум'я цієї суміші значно нижча та довжина його конуса збіль-

шена. У результаті пропан-бутанове полум'я менш концентроване. Пропан-бутан може надходити до споживача в балонах під тиском до 1,6 МПа.

**Метилацетилен-пропадієн (МАПП)** – суміш пальних газів. За фізичними властивостями близький до пропану. Вибухові концентрації МАПП у суміші з повітрям 3,4...10,8 %, у суміші з киснем – 2,5...60 %. Суміші метилацетилену та пропадієну термодинамічно нестійкі, тому до складу МАПП додають стабілізатор. Розкладання метилацетилену відбувається з виділенням великої кількості тепла. Температура полум'я МАПП (2900 °С) близька до температури горіння ацетилену. МАПП використовують для газотермічного різання, зварювання та інших газополумєневих процесів.

**Пальне МАФ** – метилацетиленова пропадієнова фракція є побічним продуктом оліфінового виробництва, а також відходом виробництва етилену та моновінілацетилену. Ця фракція містить 48...75 % суміші метилацетилену та пропадієну й стабілізатори: 3 % пропілену, 15 % пропану, 7 % інших вуглеводнів. Вибухові концентрації для МАФ такі ж самі, що і для МАПП. МАФ не чуттєвий до удару. Балони з МАФ не вибухають, навіть якщо розташовані поруч з відкритим полум'ям. Суміш інертна при температурах до 215 °С і тиску до 2,0 МПа. При взаємодії з міддю утворюються вибухонебезпечні сполуки – ацетиленіди міді. Швидкість поширення полум'я МАФ дорівнює 4,70 м/с. Місткість балонів для зріджених газів 40 або 55 л<sup>3</sup>; товщина стінки 3 мм. Граничний робочий тиск у балонах для зріджених газів різний: для пропану не більше 1,6 МПа, для пропілену 2,0 МПа, для бутану та бутилену 0,38 МПа.

**Рідкі палива.** Бензин і гас – леткі та вогнєнебезпечні рідини, є продуктами переробки нафти. У газополумєневій обробці їх використовують у вигляді пари. До споживача вони надходять у цистернах або бочках під атмосферним тиском. Основна характеристика пари бензину та гасу – ко-

ефіцієнт заміни ацетилену, рівний 1,0...1,3. Температура полум'я при згоранні в кисні 2400...2500 °С, нижча теплотворна здатність 42600...46000 кДж/кг, вибухові концентрації з повітрям 2,6...6,7 % для бензину та 1,4...5,5 % для гасу. Пара бензину та гасу отруйна й при тривалому вдиханні може викликати сильний головний біль та запаморочення. Пара бензину та гасу знаходить застосування при зварюванні металів, що мають добру зварність, пайці та кисневому різанні.

У зв'язку з дефіцитністю та високою вартістю ацетилену для багатьох газополумєневих процесів варто використовувати не ацетилен, а пальні гази-замінники ацетилену.

При правильному виборі потужності полум'я газу-замінника, незважаючи на деяке зниження швидкості процесу, збільшення тривалості початкового підігрівання та збільшення витрати кисню, досягається помітна економія, підвищується безпека робіт і заощаджується час газозварників та газорізальників на обслуговування обладнання газоживлення.

## **5.5. Плазмоутворюючі властивості захисних і горючих газів**

Найбільш сучасним й універсальним джерелом енергії є струмінь низькотемпературної плазми. Плазмовий струмінь застосовують для різання та зварювання різних матеріалів, паяння, наплавлення, напилювання, поверхневої обробки та інших технологічних операцій.

Струмінь низькотемпературної плазми утворюється шляхом нагрівання за допомогою електричної дуги плазмоутворюючого газу, який під тиском обдуває дугу та проходить крізь неї, при цьому підвищує свою температуру, змінює склад, дисоціює й іонізує, а також стискає дугу. Низькотемпературна плазма – це частково іонізований газ, який складається з позитивно та негативно заряджених часток, сумарний заряд яких дорівнює нулю. Ступінь іонізації 2...20 %. При цьому щільність енергії в дузі

та її температура різко зростають. До низькотемпературної плазми відносять речовину з температурою  $10^3 \dots 10^5$  °C [8].

Істотно впливає на характеристики плазмового струменя плазмоутворююче середовище. Від складу середовища залежить напруженість поля стовпа дуги, щільність струму в дузі, величина теплового потоку та ефективність перетворення електричної енергії в теплову. Склад середовища обумовлює також процеси його взаємодії з основним металом.

Традиційно найбільш розповсюдженими плазмоутворюючими газами є аргон, азот, водень, гелій, кисень та їх суміші, хоча в останній час широко використовують й інші гази та газові суміші, зокрема аміак, повітря, суміш аміаку з азотом, водяну пару, вуглеводні тощо.

При виборі плазмоутворюючого газу враховують такі його характеристики:

- комплекс фізико-хімічних властивостей, які визначають фізичний стан плазми (теплоємність, теплопровідність, потенціал іонізації);

- комплекс фізико-хімічних властивостей, які визначають взаємодію плазмоутворюючого газу з основним матеріалом і забезпечують проходження цих процесів у потрібному напрямку;

- ступінь взаємодії плазми з електродами генератора плазми;

- забезпечення безпечних умов роботи з обладнанням (нетоксичність, вибухобезпечність);

- вартість та доступність устаткування.

Термодинамічний аналіз плазмоутворюючих газів дає змогу оцінити теплові та транспортуючі властивості плазмових середовищ різного вихідного складу. На рис. 5.3 [8] наведені залежності температури плазми від величини питомого внеску енергії, який пов'язаний із добутком ентальпії співвідношенням, кВт·год/м<sup>3</sup>,

$$\varepsilon = \frac{H - H_0}{3600v_0},$$



де  $H$  – ентальпія плазмового струменя, кДж/кг;  $H_0$  – ентальпія вихідних плазмоутворюючих газів при стандартних умовах, кДж/кг;  $v_0$  – питомий об’єм плазмоутворюючого газу, м<sup>3</sup>/кг.

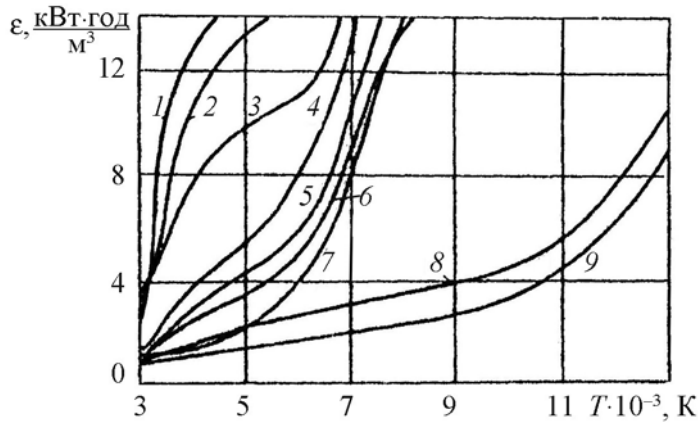


Рис. 5.3. Залежність середньовагової температури плазмового струменя від питомої енергії та природи плазмоутворюючого газу:

1 – H<sub>2</sub>O; 2 – NH<sub>3</sub>; 3 – CO<sub>2</sub>; 4 – 20 % CH<sub>4</sub> + 80 % повітря; 5 – 9 % CH<sub>4</sub> + 91 % повітря; 6 – повітря; 7 – N<sub>2</sub>; 8 – 85 % Ar + 15 % H<sub>2</sub>; 9 – Ar

Крім того потужність плазмового струменя залежить від електричної потужності плазмотрону, втрат у навколишнє середовище та інших чинників. У табл. 5.12 [8] наведені значення середньовагової температури плазмового струменя при питомій енергії 10 кВт·год/м<sup>3</sup> для різних середовищ.

Таблиця 5.12. Середньовагова температура плазмового струменя при  $\epsilon = 10$  кВт·год/м<sup>3</sup>

Плазмоутворюючий газ	H <sub>2</sub> O	NH <sub>3</sub>	CO <sub>2</sub>	Продукти горіння вуглеводневих газів	N <sub>2</sub>	Аргоноводнева суміш із вмістом H <sub>2</sub> (0...50 %)
Температура, °С	3700	3800	5000	6200...6600	7000	11500...13100

Аналіз наведених в табл. 5.12 результатів показує, що використання в якості плазмоутворюючого середовища суміші вуглеводневих газів із повітрям має ряд переваг. При взаємодії плазмового струменя продуктів го-

ріння вуглеводневих газів з навколишнім середовищем підвищується коефіцієнт витрат окиснювача за рахунок кисню атмосфери, що супроводжується додатковим виділенням тепла.

Взагалі, однокомпонентні плазмоутворюючі середовища недоцільно використовувати в промисловості.

Так, аргон має погані енергетичні характеристики, низьку напруженість поля та малу теплопровідність, через що його застосування як самостійного плазмоутворюючого газу є недоцільним. Значно кращі енергетичні характеристики гелію, однак висока вартість та дефіцитність гелію не дозволяють використовувати його в промисловості. Високі енергетичні характеристики, теплоємність та теплопровідність має азот, але він активно взаємодіє з металом та електродом плазмового пальника. Кисень за енергетичними властивостями близький до азоту, але стійкість катода в кисневому середовищі вкрай низька. Водень має добрі енергетичні характеристики: напруженість електромагнітного поля у водневій дузі в два-три рази вища, ніж в аргоновій; теплопровідність водню значно вища, ніж в інших газів. Але як самостійне плазмоутворююче середовище водень не знайшов застосування через низьку стабільність горіння дуги та низьку стійкість сопла плазмотрона.

У промисловості звичайно використовують багатокомпонентні плазмоутворюючі середовища, такі, як аргон + водень, азот + водень, вуглекислий газ, повітря, вода, аміак та ін. Суміш газів дозволяє найбільш ефективно використовувати найкращі властивості вхідних компонентів у широкому температурному інтервалі.

Наприклад, одним із визначених чинників плазмового струменя є теплопровідність. Для суміші дисоційованих й іонізованих газів дотримується (з точністю до 15 %) співвідношення для ефективного коефіцієнта теплопровідності:

$$\lambda_c = \lambda_{c,g} \frac{C_{Pp}}{C_{Pz}},$$

де  $\lambda_{c,g}$  – коефіцієнт теплопровідності суміші газів без урахування хімічних реакцій, Вт/(м·град);  $C_{Pp}$  і  $C_{Pz}$  – рівноважна та "заморожена" теплоємності суміші газів у плазмі.

Вплив співвідношення теплоємностей переважає похибку за  $\lambda_{c,g}$ , яка обумовлена природою плазмоутворюючих газів. Ефективний коефіцієнт теплопровідності за рахунок хімічних реакцій може змінюватися у 10...12 разів. Таким чином ефективний коефіцієнт теплопровідності багатоконпонентної плазми, яка містить різнорідні молекули, іони та електрони, визначається інтенсивністю протікання в плазмі хімічних реакцій, а отже теплопровідністю компонентів. У зв'язку з цим залежність ефективного коефіцієнта теплопровідності плазми від температури має немонотонний, хвилеподібний вигляд, на відміну від одноконпонентної плазми.

Наприклад, плазма, яка генерується із суміші метану та повітря, вміщує компоненти з різними значеннями температур максимальних швидкостей дисоціації:  $H_2O$  – 2500 °С,  $CO_2$  – 3200 °С,  $H_2$  – 4200 °С,  $N_2$  – 6700 °С. Тому нагрівання матеріалів у ній здійснюється ефективно у широкому інтервалі температур. Таким чином у виробництві компонується склад сумішей, які забезпечують найбільш оптимальні параметри дуги як з енергетичної точки зору, так і з погляду стабільності горіння дуги. Отже у сумішах є робочий компонент, що визначає технологічні можливості даного плазмоутворюючого середовища, і захисний, який забезпечує нормальну роботу плазмотрона.

Співвідношення компонентів плазмоутворюючого середовища залежить від конкретної технологічної задачі.

Треба також враховувати, що на структуру, склад, теплові та швидкісні параметри плазмового струменя великий вплив мають режимні параметри плазмотрону та геометричні характеристики дугового каналу.

## 5.6. Збереження газів

Для збереження та транспортування захисних та паливних газів широко використовують сталеві балони ( $p < 20$  МПа), які виготовляють за ГОСТ 949–73.

Для транспортування та роздачі на зварювальні пости аргону, гелію, вуглекислого газу, азоту та водню використовують, в основному, сталеві балони місткістю 40 л. Аргон, гелій, азот і водень перебувають у балонах у газоподібному стані при тиску 15 МПа, а вуглекислий газ – у скрапленому при тиску 6...7 МПа. Балон місткістю 40 л при тиску 15 МПа та температурі 20 °С містить близько 6 м<sup>3</sup> аргону, гелію або азоту. У балоні такої ж місткості при температурі 20 °С міститься 25 кг рідкої вуглекислоти. Тиск у балоні з вуглекислотою істотно залежить від температури навколишнього повітря. При нульовій температурі тиск у балоні складає 3,6 МПа, а при 31 °С вже 7,5 МПа. При випаровуванні 25 кг рідкої вуглекислоти утворюється 12,6 м<sup>3</sup> газоподібного CO<sub>2</sub>.

**Балони ацетиленові.** На відміну від усіх інших стислих газів ацетилен зберігається в суцільнотягнутих балонах місткістю 40 дм<sup>3</sup>, заповнених пористою масою, яка просочена ацетоном. Як пористу масу зазвичай застосовують активоване вугілля БАУ за ГОСТ 6217–74 або литу пористу масу (ЛПМ), виготовлену за спеціальною технологією. Середня кількість розчиненого ацетилену в балоні з БАУ об'ємом 40 дм<sup>3</sup> дорівнює 5,5 м<sup>3</sup> або 6 кг, з ЛПМ – на 30...40 % більше. Максимальне відбирання газу з балону з пористою масою 1,0 м<sup>3</sup>/год, а з литою – 1,5 м<sup>3</sup>/год.

Промисловість випускає також ацетиленові балони об'ємом 10 і 5 л.

**Балони для пропан-бутану** виготовляють зварними трьох типів за ГОСТ 15860–84.

Граничний робочий тиск у балонах для скраплених газів різний. Так, для пропану граничний робочий тиск не повинен перевищувати 1,6 МПа, а для бутану – 0,45 МПа. Скраплені гази мають високий коефіцієнт

об'ємного розширення, тому наповнення балонів здійснюють з таким розрахунком, щоб парова подушка була достатньою для поглинання рідини, яка розширюється при нагріванні.

Балони для інших стиснутих газів (водню, азоту, аргону, міського, природного та ін.) виготовляють суцільнотягнутими відповідно до ГОСТ 949–73.

Балони фарбують у визначені кольори та роблять на них надписи відповідно до ГОСТ 949–73 (табл. 5.13) [18, 20]. Щоб уникнути вибухання балонів, що супроводжується великою руйнівною силою, варто особливо ретельно дотримуватися правил влаштування та безпеки експлуатації посудин, що працюють під тиском, а також вживати заходи, які передбачають недопускання перегрівання та перевищення тиску в них.

**Балонні вентиля** призначені для установа на сталевих балонах середньої місткості (за ГОСТ 949–73), вони є запірним пристосуванням для балонів при їхньому наповненні, а також при збереженні та витраті газів. Промисловість випускає вентиля двох типів: *кисневі* вентиля ВК-74, їх установають на балони з аргонем, киснем, азотом, гелієм і воднем; і *водневі* вентиля ВВ-73, які мають ущільнювач більш високої якості, їх установають на водневі балони. Водневий вентиль ВВ-73 має ущільнювач клапана та сальники з фторопласту. Його штуцер має ліву різь та комплектується спеціальною різьовою заглушкою.

Вентиль ацетиленових балонів розрахований на робочий тиск 2,5 МПа, виготовляються зі сталі та його штуцер має відмінну від інших типів вентиля різь. Серійно випускають ацетиленові вентиля трьох типів: ВБА-1 і ВБА з мембранним ущільнювачем, а також ВА-1 (ущільнювач клапана ебонітовий) з сальниковим ущільнювачем.

Для пропан-бутанових сумішей використовують вентиля РДГ-6М, які розраховані на робочий тиск 1,6 МПа. Усі вентиля мають приєднувальні штуцери з такою ж різзю, як вентиль типу ВВ-73.

**Таблиця 5.13. Характеристика сталевих балонів для стиснутих та скраплених газів об'ємом 40 дм<sup>3</sup>**

Газ	Тиск, МПа		Стан газу в балоні	Об'єм газу в балоні, л	Колір балону
	робочий	випробувальний			
Азот	15,0	22,50	Стиснутий	5700	Чорний з коричневою
Аргон	15,0	22,50	Стиснутий	6200	Сірий з зеленою смугою
Водень	15,0	22,50	Стиснутий	6000	Темно-зелений
Повітря	15,0	22,50	Стиснутий	6000	Чорний
Гелій	15,0	22,50	Стиснутий	6000	Коричневий
Кисень	15,0	22,50	Стиснутий	6200	Блакитний
Двоокис вуглецю зварювальний	7,50	9,50	Скраплений	12600 (з 25 кг)	Чорний
Ацетилен	2,50	3,750	Розчинений	5500 (з 6 кг)	Білий
Горючий	15,0	22,50	Стиснутий	6000	Червоний
Коксовий	15,0	22,50	Стиснутий	6000	Червоний
Метан	15,0	22,50	Стиснутий	6000	–
Пропан	1,60	2,40	Скраплений	535 (з 1 кг)	–
Бутан	0,45	0,675	Скраплений	406 (з 1 кг)	–
Природний	15,0	22,50	Стиснутий	6000	–
Сланцевий	15,0	22,50	Стиснутий	6000	–

## СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. *Алымов А.Н.* Механизированная сварка порошковой проволокой – путь повышения эффективности изготовления сварных конструкций // Сварщик. – 2002. – № 5 (27). – С. 42–45.
2. *Бринюк М.В., Семенов С.Е.* Улучшение потребительских характеристик сварочной проволоки // Сварщик. 2001. – № 6 (22). – С. 14–15.
3. *Воропай Н.М., Бринюк М.В.* Технологические свойства омедненной сварочной проволоки // Сварщик. – 2002. – № 4 (26). – С. 16–20.
4. *Гуревич С.М.* Справочник по сварке цветных металлов. – К.: Наук. думка, 1981. – 608 с.
5. *Закс И.А.* Электроды для дуговой сварки сталей и никелевых сплавов: Справочное пособие. – С.Пб.: WEL COME, 1996. – 384 с.
6. *Занирато А., Сурнин А.* Современная технология изготовления сплошной проволоки для сварки в защитных газах // Сварщик. – 2003. – № 6 (34). – С. 32–33.
7. *Квасницький В.В.* Теорія зварювальних процесів. Дослідження фізико-хімічних і металургійних процесів та здатності металів до зварювання. – Миколаїв: УДМТУ, 2002. – 184 с.
8. *Кузнєцов В.Д., Пащенко В.М.* Фізико-хімічні основи створення покриттів: Навч. посіб. – К.: НМЦВО, 1999. – 176 с.
9. *Лебедев Б.Д., Перемитько В.В.* Расчетные методы в сварке плавлением. – Днепродзержинск: ДГТУ, 1998. – 285 с.
10. *Мартин Д. Хусман.* Порошковые проволоки – альтернатива штучным электродам и сплошной проволоке // Сварочное производство. – 1996. – № 1. – С. 34–38.
11. *Новожилов Н.М., Борисенко М.М., Аносов Н.П.* О классификации защитных газов по их химической активности в процессе сварки // Сварочное производство. 1978. – № 5. – С. 52–53.

12. *Подгаецкий В.В., Люборец И.И.* Сварочные флюсы. – К.: Техника, 1984. – 166 с.
13. *Подгаецкий В.В., Кузьменко В.Г.* Сварочные шлаки: Справочное пособие. – К.: Наук. думка, 1988. – 255 с.
14. Порошковые проволоки для электродуговой сварки: Каталог-справочник / Под ред. *И.К. Походни*. – К.: Наук. думка, 1980. – 180 с.
15. Потапов Н.Н. Состояние и перспективы развития флюсового производства // Сварочное производство. – 1997. – №9. – С. 34–36.
16. Походня И.К. Сварочные материалы: состояние и тенденции развития // Автоматическая сварка. – 2003. – №3. – С. 9–20.
17. Правила класифікації та побудови морських суден: Офіційне видання / *В.В. Бабій, О.А. Баранова, А.О. Білокурець* та ін.; Під загальним керівництвом *В.В. Севрюкова*. – К.: Регістр судноплавства України. 2003. – Т. 4. – С. 318–462.
18. Сварка в машиностроении: Справочник: В 4 т.: – Т. 2 / Под ред. *А.И. Акулова*. – М.: Машиностроение, 1978. – 462 с.
19. Сварка, пайка, склейка и резка металлов и пластмасс. Справ. изд.– 3-е изд. / Под ред. *А. Наймана, Е. Рихтера*: Пер. с нем. – М.: Металлургия, 1985. – 480 с.
20. Сварочные материалы для дуговой сварки: В 2 т. Т. 1: Защитные газы и сварочные флюсы / Под общ. ред. *Н.Н. Потапова*. – М.: Машиностроение, 1989. – 544 с.
21. Сварочные материалы для дуговой сварки: В 2 т. Т. 2: Сварочные проволоки и электроды / Под общ. ред. *Н.Н. Потапова*. – М.: Машиностроение, 1993. – 767 с.
22. *Сидорук В.С., Галинич В.И.* Классификация флюсов для дуговой сварки по металлургическим и технологическим свойствам // Автоматическая сварка. – 2002. – № 6. – С. 33–37.



23. *Сидорук В.С., Галинич В.И.* Классификация флюсов для дуговой сварки по способу применения, изготовления, составу и типу свариваемого металла // *Автоматическая сварка.* – 2002. – № 5. – С. 32–57.
24. *Теория сварочных процессов: Учеб. для вузов / В.Н. Волченко, В.М. Ямпольский, В.А. Винокуров и др.; Под общ. ред. В.В. Фролова.* – М.: Высш. шк., 1988. – 559 с.
25. Comment on dokument IIW–XII-D-1–81. – S. 1., S.a. – (Intern. Inst. of Welding; Doc / XII-761–82.
26. Draft international standard ISO/DIS 14174, ISO/TC 44Sc3, 1997.
27. Smit A.A. Classification of shielding gases for the MIG – Welding of steel. – IIW. – DOC XII B-195–76.
28. The Japan Welding News for the World. – 2001. – 5. – № 17. – 10 p.

## ДОДАТОК

*Таблиця 1Д. Хімічний склад і механічні властивості суднобудівної сталі нормальної міцності*

Категорія		А			В			D			E			
Сталь за ступенем розкиснення		Спокійна або напівспокійна						Спокійна			Спокійна, дрібнозерниста, оброблена алюмінієм			
Хімічний склад (ковшова проба), %	$C_{\max}$	0,210			0,210			0,210			0,180			
	$Mn_{\max}$	2,5·C			0,80			0,60			0,70			
	$Si_{\max}$	0,50			0,350			0,350			0,350			
	$P_{\max}$ і $S_{\max}$	0,035			0,035			0,035			0,035			
	$Al_{\min}$	–			–			0,015			0,015			
Механічні властивості під час розтягування	Тимчасовий опір $R_m$ , МПа	400...520												
	Границя текучості $R_{eH}$ , МПа	235												
	Відносне подовження $A$ , %	22												
Випробування на ударний згин	Температура, °C	+20			0			–20			–40			
	Товщина листа $t$ , мм	<50	50...70	70...100	≤50	50...70	70...100	≤50	50...70	70...100	≤50	50...70	70...100	
	Мінімальна робота удару, Дж	KV <sub>L</sub>	–	34	41	27	34	41	27	34	41	27	34	41
	KV <sub>T</sub>	–	24	27	20	24	27	20	24	27	20	24	27	

*Примітки.* 1. Для профільної сталі категорії А при товщині до 12,5 мм включно, може застосовуватися кипляча сталь. 2. Для профільної сталі категорії А вміст вуглецю допускається до 0,23 %. 3. Для профільної сталі категорії А всіх товщин за узгодженням з Регістром верхня границя тимчасового опору може бути підвищена. 4. Припускається, що сталь категорії А забезпечує роботу удару (KV) 27 Дж при 20 °C. 5. За узгодженням з Регістром вміст мангану в сталі категорії В, що піддається іспиту на ударний згин, може бути знижено до 0,60 %. 6. Сталь категорії D товщиною більш 25 мм повинна бути спокійною, дрібнозернистою і містити Al не менше 0,015 %. 7. При іспитах на розтягування стандартних зразків повної товщини з розрахунковою довжиною 200 мм мінімальне відносне подовження повинно відповідати наступним значенням.

Товщина, мм	$t \leq 5$	$5 < t \leq 10$	$10 < t \leq 15$	$15 < t \leq 20$	$20 < t \leq 25$	$25 < t \leq 30$	$30 < t \leq 40$	$40 < t \leq 45$
Категорія	А		В			D		E
Відносне подовження, %	14	16	17	18	19	20	21	22

Таблиця 2Д. Хімічний склад і механічні властивості суднобудівної сталі підвищеної міцності

Категорія		A32	D32	E32	A36	D36	E36	A40	D40	E40
Сталь за ступенем розкиснення		Спокійна								
Хімічний склад (ковшова проба), %	$C_{\max}$	0,180								
	Mn	0,90...1,60								
	$Si_{\max}$	0,50								
	$P_{\max}$ та $S_{\max}$	0,035								
	$Cu_{\max}$	0,350								
	$Cr_{\max}$	0,20								
	$Ni_{\max}$	0,40								
	$Mo_{\max}$	0,080								
	$Al_{\min}$	0,015								
	Nb	0,020...0,050								
V	0,050...0,10									
$Ti_{\max}$	0,020									
Механічні властивості при розтягуванні	Тимчасовий опір $R_m$ , МПа	440...590			490...620			510...650		
	Границя текучості $R_{eH}$ , МПа	315			355			390		
	Відносне подовження $A$ , min, %	22			21			20		

*Примітки.* 1. При товщині 12,5 мм і менше вміст мангану може бути зменшено до 0,70 %. 2. Якщо сталь піддається термічній обробці, Регістром можуть бути допущені або можуть вимагатися зміни хімічного складу. 3. При іспитах на розтягування стандартних зразків повної товщини мінімальне відносне подовження повинно відповідати наступним значенням, %.

Категорія сталі	Товщина $t$ , мм							
	$t < 5$	$5 < t \leq 10$	$10 < t \leq 15$	$15 < t \leq 20$	$20 < t \leq 25$	$25 < t \leq 30$	$30 < t \leq 40$	$40 < t \leq 50$
A32, D32, E32	14	16	17	18	19	20	21	22
A36, D36, E36	13	15	16	17	18	19	20	21
A40, D40, E40	12	14	15	16	17	18	19	20

Таблиця 3Д. Хімічний склад суднобудівної сталі, що працює при низьких температурах

Категорія	Вміст елементів, %													
	C	Mn	Si	P	S	Al (розчинний в кислоті), min	Nb	V	Ti	Cu	Cr	Ni	Mo	N
	max		max			max								
	Загальний вміст 0,12 % max													
F32	0,16	0,90...1,60	0,50	0,025	0,025	0,015	0,02...0,05	0,05...0,10	0,02	0,35	0,20	0,80	0,08	0,09
F36	0,16	0,90...1,60	0,50	0,025	0,025	0,015	0,02...0,05	0,05...0,10	0,02	0,35	0,20	0,80	0,08	при
F40	0,16	0,90...1,60	0,50	0,025	0,025	0,015	0,02...0,05	0,05...0,10	0,02	0,35	0,20	0,80	0,08	Al = 0,12

*Примітки.* 1. Замість визначення вмісту алюмінію, розчинного в кислоті, може бути визначений загальний вміст алюмінію. У данному випадку загальний вміст алюмінію повинен бути не менше 0,020 %. 2. Сталь може бути оброблена алюмінієм, ніобієм або ванадієм та іншими придатними подрібнювати зерно елементами, або кожним окремо, або в будь-якій комбінації. При цьому при обробці одним елементом його вміст повинен відповідати таблиці; при обробці комбінацією елементів вміст не менше одного з них повинен відповідати таблиці.

**Таблиця 4Д. Вимоги до механічних властивостей наплавленого металу для сталей нормальної та підвищеної міцності та працюючих при низьких температурах**

Категорія зварювального матеріалу	Призначення зварювального матеріалу	Властивості наплавленого металу при розтягуванні				Робота удару KV при випробуваннях наплавленого металу на ударний згин			
		Тимчасовий опір $R_m$ , МПа	Границя текучості $R_{eH}$ , МПа	Відносне подовження $A$ , %	Відносне звуження $Z$ , %	Електроди та комбінації для механізованого зварювання		Комбінації для автоматичного зварювання	
			min			Температура випробувань, °С	Середнє мінімальне значення для трьох зразків, Дж	Температура випробувань, °С	Середнє мінімальне значення для трьох зразків, Дж
1	Для сталі нормальної міцності	400...560	305	22	45	+20	47	+20	34
2		400...560	305	22	45	0	47	0	34
3		400...560	305	22	45	-20	47	-20	34
1У	Для сталі підвищеної міцності з $R_{eH} < 355$ МПа	490...660	375	22	45	Не класифікуються		+20	34
2У		490...660	375	22	45	0	47	0	34
3У		490...660	375	22	45	-20	47	-20	34
4У		490...660	375	22	45	-40	47	-40	34
2У40	Для сталі підвищеної міцності з $R_{eH} < 390$ МПа	510...690	400	22	45	0	47	0	41
3У40		510...690	400	22	45	-20	47	-20	41
4У40		510...690	400	22	45	-40	47	-40	41
5У	Для сталі категорій F32, F36	490...660	375	22	65	-60	47	-60	36
5У40	Для сталі категорії F40	510...690	400	22	65	-60	47	-60	41

**Таблиця 5Д. Вимоги до механічних властивостей наплавленого металу для сталей високої міцності**

Категорія зварювального матеріалу	Властивості наплавленого металу при розтягуванні			Робота удару KV при випробуваннях наплавленого металу на ударний згин				
	Границя текучості $R_{eH}$ або $R_{p0,2}$ , МПа	Тимчасовий опір $R_m$ , МПа	Відносне подовження $A$ , %	Температура, °С	Середнє мінімальне значення для трьох зразків, Дж			
	min							
3Y42 4Y42 5Y42	420	530	20	-20	47			
3Y46 4Y46 5Y46				460		570	-40	
		-60						
		-20						
		-40						
		-60						
3Y50 4Y50 5Y50	500	610	18	-20	50			
3Y55 4Y55 5Y55				550		670	-40	
								-60
		-20						
		-40						
		-60						
3Y62 4Y62 5Y62	620	720		17	-20	62		
							-40	
							-60	
3Y69 4Y69 5Y69	690	770			17	-20	69	
								-40
								-60

Таблиця 6Д. Вимоги до механічних властивостей зварного з'єднання

Категорія зварювального матеріалу	Призначення зварювального матеріалу	Властивості зварного з'єднання (поперечний зразок)		Робота удару KV при випробуванні зварного з'єднання на ударний згин				
				Електроди та комбінації зварювальних матеріалів для механізованого зварювання			Комбінації для автоматичного зварювання	
		Тимчасовий опір $R_m$ , МПа	Кут згину до виникнення тріщини, град	Температура випробувань, °С	Середнє значення для трьох зразків, Дж		Температура випробувань, °С	Середнє мінімальне значення для трьох зразків, Дж
					Нижнє, горизонтальне, стельове	Вертикальне		
min		min						
1	Для сталі нормальної міцності	400	120	+20	47	34	+20	34
2		400	120	0	47	34	0	34
3		400	120	-20	47	34	-20	34
1У	Для сталі підвищеної міцності з $R_{eH} < 355$ МПа	490	120	Не класифікуються				+20
2У		490	120	0	47	34	0	34
3У		490	120	-20	47	34	-20	34
4У		490	120	-20	47	34	-40	34
2У40	Для сталі підвищеної міцності з $R_{eH} < 390$ МПа	510	120	0	47	41	0	41
3У40		510	120	-20	47	41	-20	41
4У40		510	120	-40	47	41	-40	41
5У	Для сталі категорій F32, F36	490	120	-60	47	36	-60	36
5У40	Для сталі категорії F40	510	120	-60	47	41	-60	41

Таблиця 7Д. Вимоги до механічних властивостей зварного з'єднання для сталей високої міцності

Категорія зварювального матеріалу	Тимчасовий опір $R_m$ , МПа	Випробування на статичний згин		Робота удару KV при випробуванні зварного з'єднання на ударний згин	
		Кут згину до виникнення тріщини, град	Відносне подовження при згині, % <sup>1</sup>	Температура випробувань, °С	Середнє мінімальне значення для трьох зразків, Дж
3Y42 4Y42 5Y42	530...680	120	20	-20	47
3Y46 4Y46 5Y46	570...720			-40	
				-60	
				-20	
3Y50 4Y50 5Y50	610...770			-40	
				-60	
			-20		
3Y55 4Y55 5Y55	670...830		18	-20	55
			-40		
			-60		
3Y62 4Y62 5Y62	720...890		17	-20	62
				-40	
		-60			
3Y69 4Y69 5Y69	770...940	17		-20	69
		-40			
		-60			

<sup>1</sup>Вимога стосовно відносного подовження є обов'язковою у тому разі, якщо при випробуваннях не досягнуто необхідного кута згину до виникнення першої тріщини. Відносне подовження вимірюється на розрахунковій довжині  $L_0$ , яка розраховується за формулою  $L_0 = L_s + t$ , де  $L_s$  – фактична ширина шва на поверхні зразка, що підлягає розтягуванню;  $t$  – товщина зразка.



Таблиця 8Д. Марки електродів для конструкцій корпусів суден (мають сертифікат відповідності Регістра Судноплавства України)

Категорія зварювальних матеріалів	Найменування, марка електродів		
	СНД	Австрія	Швеція
2	ОЗС-12 МР-3	FOX EV47 FOX HL180Ti FOX OHV	OK 43.32 OK 46.00 OK 46.16 Filarc 46S
2НН	УОНИ-13/45А УОНИ-13/45	–	–
2УНН	УОНИ-13/45Р УОНИ-13/55	FOX MSU FOX HL 160Ti	Filarc 48
3УНН	УОНИ-13/55Р Э-138/50Н ИТС-4с ТМУ-21У ЛБ-52Т	FOX EV50FW FOX EV50(ННН) FOX EV55(ННН) FOX EV63(ННН) FOX NiCuCr (ННН) FOX EV60	Filarc 36D OK 48.00 OK 48.04 OK 55.00 OK 53.00
4У50НН	48ХН-2	–	–

**Таблиця 9Д. Комбінації "зварювальний дріт-флюс" для конструкцій корпусів суден (мають сертифікат відповідності Регістра Судноплавства України)**

Категорія зварювальних матеріалів	Найменування, марка зварювальних матеріалів		
	СНД	Німеччина	Швеція
2ТМ/2УТМ	СВ-08А+ОСЦ 45 СВ-08А+АН348 СВ-08А+АН-42 СВ-08ГА+АН-42 СВ-08ГА+АН-47	OE-S1+OP181 OE-S1+OP180S	OK Autrod 12.10+OK Flux 10.80 OK Autrod 12.10+OK Flux 10.81
3УМ	СВ-10ГН+АН-42А СВ-10ГН+ФИМС-20П	OE-SD3+OP41ТТ OE-SD3+OP121ТТ A105+Fluxcord 35.32-2D/OP122 VDGS2+OP180S Hoesch WHS2+OP180S	OK Autrod 12.34+OK Flux 10.71 OK Autrod 13.27+OK Flux 10.62 OK Autrod 12.10+OK Flux 10.70 OK Autrod 12.20+OK Flux 10.70 OK Autrod 12.24+OK Flux 10.71 OK Autrod 12.20+OK Flux 10.40 OK Autrod 12.24+OK Flux 10.61
4У40М	СВ-10ГН+48АНК-54 СВ-10ГН+АН-47	—	—
5У55М	СВ-04НЗГМТА+48АН5-54 СВ-04НЗГМТА+OKFlux10.62	—	—

**Таблиця 10Д. Комбінації "зварювальний дріт–захисний газ" для конструкцій корпусів суден (мають сертифікат відповідності Регістра Судноплавства України)**

Категорія зварювальних матеріалів	Найменування, марка зварювальних матеріалів		
	СНД	Голандія	Швеція
2YMS	СВ-08Г2С+С1 СВ-08Г2С-0+С1	–	–
3Y40MS	СВ-08ГСНТ+С1 СВ-08ГСМТ+С1 СВ-08ГСНТА+С1 48ПП-8Н+С1	PZ6111+M21(НН) PZ6113+С1(НН) PZ6113+M21(НН) PZ6113S+С1(НН) PZ6111HS+С1(НН)	OK Autrod 12.50+M21 OK Autrod 21.51+С1 OK Autrod 12.64+С1 Elgacore: DWA50+M21(ННН) Elgacore: DWA55E+С1(ННН) Elgacore: MXA100+M21(ННН) Elgacore: MX100T+С1(ННН) Elgamatic 100+С1
4Y40MS...4Y55MS	СВ-04Н3ГСМТА+С1 СВ-08ГСНТ+M21 СВ-10ГН+I1 СВ-04Н2ГСТА+С1 СВ-04Н3ГСМТА+С1 СВ-08ГСНТА+M21 СВ-10ГНА+I1	PZ6114+M21(НН) PZ6114S+С1(НН) PZ6115+M21(НН) PZ6130+С1(НН)	Elgacore: DWA55E+M21(ННН)
5Y42MS...5Y55MS	СВ-04Н3ГСМТА+M21 СВ-04Н3ГСМТА+I1 СВ-04Н2ГСНТА	PZ6138+M21(НН) PZ6125+M21(НН) PZ6116S+С1(НН)	Elgacore: DWA55L+M21(ННН)

**Таблиця 11Д. Електроди для зварювання високолегованих корозійностійких сталей і сплавів**

Марка електрода	Тип електрода за ГОСТ 10052–75 або тип наплавленого металу	Основне призначення	Додаткова або супутня області застосування
УОНИ-13/НЖ 12Х13	Э-12Х13	Зварювання хромистих сталей типу 08Х13 та 12Х13	Наплавка ущільнювальних поверхонь сталльної арматури
ОЗЛ-22	Э-02Х21Н10Г2	Зварювання устаткування зі сталей типу 04Х18Н10, 03Х18Н12, 03Х18Н11, працюючого в окисних середовищах, подібних азотній кислоті	–
ОЗЛ-8	Э-07Х20Н9	Зварювання сталей типу 08Х18Н10, 12Х18Н9 і 08Х18Н10Т, якщо до металу шва не пред'являють жорсткі вимоги стійкості проти МКК	–
ОЗЛ-50	–		–
ОЗЛ-8С	08Х20Н9КМВ		Зварювання з підвищеною продуктивністю
ОЗЛ-14	Э-07Х20Н9		Можливе зварювання змінним струмом
ОЗЛ-14А	Э-04Х20Н9	Зварювання сталей типу 08Х18Н10, 08Х18Н10Т 06Х18Н11 і 08Х18Н12Т, якщо до металу шва пред'являють вимоги стійкості проти МКК	–
ОЗЛ-36	Э-04Х20Н9		–
ЦЛ-11	Э-08Х20Н9Г2Б	Зварювання сталей типу 12Х18Н10Т, 12Х18Н9Т 08Х18Н12Т і 08Х18Н12Б, якщо до металу шва пред'являють жорсткі вимоги стійкості проти МКК	Зварювання устаткування зі сталей типу 12Х18Н10Т, 12Х18Н9Т, 08Х18Н12Т і 08Х18Н12Б для харчової промисловості
ЦЛ-11С/Ч	Э-08Х20Н9Г2Б	Зварювання сталей типу 08Х18Н10, 08Х18Н12Б і 08Х18Н10Т, якщо до металу шва пред'являють вимоги стійкості проти МКК	Зварювання із підвищеною продуктивністю

## Продовж. табл. 11Д

Марка електрода	Тип електрода за ГОСТ 10052-75 або тип наплавленого металу	Основне призначення	Додаткова або супутня області застосування
ОЗЛ-7	Э-08Х20Н9Г2Б	Зварювання сталей типу 08Х18Н10, 08Х18Н12Б і 08Х18Н10Т, якщо до металу шва пред'являють жорсткі вимоги стійкості проти МКК	Зварювання устаткування зі сталей типу 08Х18Н10, 08Х18Н12Б і 08Х18Н10Т для харчової промисловості
ЦТ-15	Э-08Х19Н10Г2Б	Див. групу електродів для зварювання жаростійких і жароміцних сталей і сплавів	Зварювання сталей типу 12Х18Н9Т, 2Х18Н12Т, Х20Н12Т-Л і Х16Н13Б, якщо до металу шва пред'являють жорсткі вимоги стійкості проти МКК
ЦЛ-9	Э-10Х25Н13Г2Б	Зварювання двошарових сталей зі сторони легованого шару зі сталей типу 12Х18Н10Т, 12Х18Н9Т і 08Х13, якщо до металу шва пред'являють вимоги стійкості проти МКК	–
ОЗЛ-40	08Х22Н7Г2Б	Зварювання сталей марок 08Х22Н6Т і 12Х21Н5Т	–
ОЗЛ-41	08Х22Н7Г2М2Б	Зварювання сталей марок 08Х21 Н6М2Т	Можливе зварювання сталі марки 03Х24Н6АМЗ
ОЗЛ-20	Э-02Х20Н14Г2М2	Зварювання устаткування із сталей типу 03Х16Н15М3 і 03Х17Н14М2, працюючого в середовищах високої агресивності	Можливе зварювання устаткування із сталі марки 08Х17Н15М3Т, працюючого в середовищах високої агресивності

Продовж. табл. 11Д

Марка електрода	Тип електрода за ГОСТ 10052–75 або тип наплавленого металу	Основне призначення	Додаткова або супутня області застосування
ЭА-400/10У ЭА-400/10Т	08Х18Н1ШЗГ2Ф	Зварювання устаткування зі сталей типу 08Х18Н10Т і 10Х17Н13М2Т, працюючого в агресивних середовищах при температурі до 350 °С, якщо до металу шва пред'являють вимоги стійкості проти МКК	–
НЖ-13	Э-09Х19Н10Г2М2Б	Зварювання устаткування зі сталей типу 10Х17Н13М3Т, 08Х21Н6М2Т і 10Х17Н13М2Т, працюючого при температурі до 350 °С, якщо до металу шва пред'являють вимоги стійкості проти МКК	–
НЖ-13С	Э-09Х19Н10Г2М2Б	Зварювання устаткування зі сталей типу 10Х17Н13М2Т, 10Х17Н13М3Т і 08Х21Н6М2Т, працюючого при температурі до 350 °С, якщо до металу шва пред'являють вимоги стійкості проти МКК	Зварювання з високою продуктивністю
НИАТ-1	Э-08Х17Н8М2	Зварювання сталей типу 08Х18Н10, 12Х18Н10Т і 10Х17Н13М2Т, якщо до металу шва пред'являють вимоги стійкості проти МКК	–
ОЗЛ-3	14Х17Н13С4Г	Зварювання устаткування зі сталі 15Х18Н12С4ТЮ, працюючого в середовищах підвищеної агресивності, якщо до металу шва не пред'являють вимоги стійкості проти МКК	–

## Продовж. табл. 11Д

Марка електрода	Тип електрода за ГОСТ 10052–75 або тип наплавленого металу	Основне призначення	Додаткова або супутня області застосування
ОЗЛ-24	02Х17Н14С5	Зварювання устаткування зі сталі типу 02Х8Н20С6, працюючого в умовах виробництва 98%-ної азотної кислоти	–
ОЗЛ-17У	03Х23Н27М3Д3Г2Б	Зварювання устаткування зі сплавів марок 06ХН28МДТ і 03ХН28МДТ і сталі марки 03Х21Н21М4ГБ переважно товщиною до 12 мм, працюючого в середовищах сульфатної та фосфорної кислот з домішками фтористих сполук	–
ОЗЛ-37-2	03Х24Н26М3Д3Г2Б	Зварювання устаткування зі сплавів марок 03Х23Н25М3Д3Б, 06ХН28МДТ і 03ХН28МДТ і сталі марки 03Х21Н21М4ГБ переважно товщиною до 12 мм, працюючого в середовищах сульфатної і фосфорної кислот з домішками фтористих сполук	–
ОЗЛ-21	Э-02Х20Н60М15В3	Зварювання устаткування зі сплавів типів ХН65МВ і ХН60МБ, працюючого в високоагресивних середовищах, якщо до металу шва пред'являють вимоги стійкості проти МКК	–
ОЗЛ-25Б	Э-10Х20Н70Г2М2Б2В	Див. групу електродів для зварювання жаростійких і жароміцних сталей і сплавів	Зварювання корозійностійких конструкцій зі сплаву марки ХН78Т

**Таблиця 12Д. Електроди для зварювання високолегованих жаростійких і жароміцних сталей і сплавів**

Марка електрода	Тип електрода за ГОСТ 10052–75 або тип наплавленого металу	Основне призначення	Додаткова або супутня області застосування
ОЗЛ-25Б	Э-10Х20Н70М2М2Б2В	Зварювання жаростійкого та жароміцного сплаву марки ХН78Т	Зварювання корозійностійких конструкцій і устаткування зі сплаву марки ХН78Т. Зварювання різнорідних сталей. Зварювання чавуну
ЦТ-15	Э-08Х19Н10М2Б	Зварювання жароміцних конструкцій і устаткування зі сталей типу 12Х18Н9Т, 12Х18Н12Т, Х20Н12Т-Л і Х16Н13Б, що працюють при температурі 570...650 °С	Зварювання сталей типу 12Х18Н9Т, 12Х18Н12Т, Х20Н12Т-Л і Х16Н13Б, коли до металу шва висувають жорсткі вимоги стійкості до МКК
ОЗЛ-6	Э-10Х25Н13М2	Зварювання жаростійких сталей типу 20Х23Н13 і 20Х23Н18, що працюють в окисних середовищах при температурі до 1000 °С	Зварювання сталей типу 15Х251 і сталі марки 25Х25Н20С2. Зварювання різнорідних сталей
КТИ-7А	Э-27Х15Н35В3Г2Б2Т	Зварювання реакційних труб з жаростійких сталей марок 45Х25Н20С2, 45Х20Н35С і 25Х20Н35, що працюють при температурі до 900 °С в печах конверсії метану	–
ОЗЛ-9А	Э-2ВХ24Н16М6	Зварювання жаростійких сталей типу 12Х25Н16М7АР, 45Х25Н20С2 і Х18Н35С2, що працюють в окисних середовищах при температурі до 1050 °С та в науглецювальних середовищах при температурі до 1000 °С	Зварювання сталей марок 20Х23Н13і20Х23Н18



## Продовж. табл. 12Д

Марка електрода	Тип електрода за ГОСТ 10052–75 або тип наплавленого металу	Основне призначення	Додаткова або супутня області застосування
ОЗЛ-38	30X24H23ГБ	Зварювання жаростійких хромонікелевих сталей, переважно марки 30X24H24Б, що працюють при температурі до 950 °С	–
ЦТ-28	Э-08X14H65M15B4M2	Зварювання жаростійких і жароміцних сплавів на нікелевій основі типу ХН78Т і ХН70ВМЮТ	Зварювання перлітних і хромистих сталей зі сплавами на нікелевій основі
ИМЕТ-10	Э-04X10H60M24	Зварювання жаростійких і жароміцних сталей і сплавів на нікелевій основі типу 37X12H6M8МФБ, ХН67ВМТЮ, ХН75МБТЮ, ХН78Т і ХН77ТЮ	Зварювання різнорідних сталей і сплавів
ОЗЛ-2	11X21H14M2M2	Зварювання жаростійких сталей типу 20X23H13, що працюють при температурі до 900 °С в газових середовищах, які містять сірчасті з'єднання	–
ОЗЛ-39	06X17H14Г3С3Ф	Зварювання жаростійких сталей типу 20X20H14С2, 20X23H18, 20X25H20С2 і 45X25H20С2, що працюють у науглецювальних середовищах при температурі до 1050 °С	–
ОЗЛ-46	06X11H2M2ГФ	Зварювання жароміцних сталей мартенситного типу 1X12H2ВМФ і Х12НМБФ-Ш	–

Продовж. табл. 12Д

Марка електрода	Тип електрода за ГОСТ 10052–75 або тип наплавленого металу	Основне призначення	Додаткова або супутня області застосування
ГС-1	09Х23Н9М6С2	Зварювання жаростійких сталей типу 20Х20Н14С2, 20Х25Н20С2 і 45Х25Н20С2, що працюють у науглецювальних середовищах при температурі до 1000 °С	Зварювання кореневого і лицевального шарів шва, звернених у бік робочого науглецювального середовища, у конструкціях зі сталей типу 20Х20Н14С2, 20Х25Н20С2 і 45Х25Н20С2 великої товщини
ОЗЛ-5	Э-12Х24Н14С2	Зварювання жаростійких сталей типу 20Х25Н20С2 і 20Х20Н14С2, що працюють в окисних середовищах при температурі до 1050 °С	Заварка дефектів лиття зі сталей типу 20Х25Н20С2 і 20Х20Н14С2
ОЗЛ-25	Э-10Х20Н70М2М2В	Зварювання тонколистових (товщиною до 6 мм) конструкцій і нагрівальних елементів із жаростійких сплавів типу ХН78Т	Наплавлення лицевальних шарів швів при зварюванні конструкцій зі сплавів типу ХН78Т великої товщини
ОЗЛ-35	10Х27Н70М2М	Зварювання жаростійких сплавів марок ХН70Ю, ХН45Ю і інших сплавів на нікелевій основі, що працюють при температурі до 200 °С	Зварювання лицевальних шарів швів, виконаних електродами інших марок
ОЗЛ-28	20Х27Н8М2М	Див. групу електродів для зварювання різнорідних сталей і сплавів	Зварювання корневих шарів швів жорстких конструкцій з жаростійкої сталі марки 45Х25Н20С2

Таблиця 13Д. Електроди для зварювання спеціалізованих сталей

Марка електрода	Тип електрода за ГОСТ 10052–75 або тип наплавленого металу	Основне призначення (стосовно зварювання спеціалізованих сталей)	Додаткова або супутня області застосування
ОЗЛ-19	10Х23Н12Г	Зварювання високоманганової сталі марки 110Г13Л	Зварка дефектів лиття зі сталі марки 110Г13Л. Зварювання різномірних сталей
НИИ-48Г	Э-10Х20Н9Г6С	Зварювання низьколегованих і високоманганових сталей типу 110Г13Л	Зварювання різномірних сталей
ЭА-395/9	08Х16Н26М6АГ2	Зварювання легованих високомірних сталей типу АК і високоманганових сталей типу 110Г13Л	Див. групу електродів для зварювання легованих конструкційних сталей підвищеної та високої міцності. Зварювання різномірних сталей
ЭА-981/15	10Х15Н25М6Г2АФ		
ЭА-112/15	10Х15Н25М6М2АФ		
ОЗЛ-44	10Х20Н75М2Г2БТЮФ	Зварювання холодостійких сталей типу ОН6 і ОН9, що працюють при температурі до мінус 196 °С	Зварювання різномірних сталей і сплавів
ОЗЛ-25Б	Э-10Х20Н70М2М2Б2В	Зварювання холодостійких сталей	Див. групу електродів для зварювання жаростійких і жаромірних сталей та сплавів






**Таблиця 14Д. Електроди для зварювання різнорідних сталей і сплавів**

Марка електрода	Тип електрода за ГОСТ 10052–75 або тип наплавленого металу	Призначення (стосовно зварювання різнорідних сталей і сплавів)	Додаткова область застосування
АНЖР-1	08Х24Н60М10Г2	Зварювання теплотривких сталей з високолегованими жароміцними сталями	Зварювання сталей, що гартуються, без попереднього підігрівання та наступної термообробки. Робоча температура 550...660 °С
ОЗЛ-27	20Х26Н10М3Г2	Зварювання вуглецевих сталей з легованими, у тому числі не конструкційними важко зварюваними сталями	Зварювання чавуну
АНЖР-2	08Х24Н60М10Г2	Зварювання теплотривких сталей з високолегованими жароміцними сталями	Зварювання сталей, що гартуються, без попереднього підігрівання та наступної термообробки. Робоча температура 450...550 °С
ОЗЛ-28	20Х27Н8Г2М	Зварювання вуглецевих сталей з легованими, у тому числі не конструкційними важко зварюваними сталями	Зварювання чавуну
ОЗЛ-6	Э-10Х25Н13Г2	Зварювання вуглецевих і низьколегованих сталей з високолегованими аустенітними сталями	Див. групу електродів для зварювання жаростійких та жароміцних сталей і сплавів
ОЗЛ-6С	Э-10Х25Н13Г2		–
НИАТ-5	Э-11Х15Н25М6АГ2	Зварювання низьколегованих і легованих сталей з високолегованими аустенітними сталями	Див. групу електродів для зварювання легованих сталей підвищеної та високої міцності
ЭА-395/9	08Х16Н26М6АГ2	Зварювання вуглецевих і низьколегованих сталей з високолегованими аустенітними сталями	











188 Продовж. табл. 14Д

Марка електрода	Тип електрода за ГОСТ 10052–75 або тип наплавленого металу	Призначення (стосовно зварювання різнорідних сталей і сплавів)	Додаткова область застосування
ЭА-981/15	10X15H25M6Г2АФ	Зварювання низьколегованих і легуваних сталей з високолегованими аустенітними сталями	Див. групу електродів для зварювання легуваних сталей підвищеної та високої міцності
ЭА-112/15			
НИИ-48М	Э-10X20H9Г6С	Зварювання низьколегованих, спеціальних і високоманганових сталей типу 110Г13Л з високолегованими аустенітними сталями	Див. групу електродів для зварювання спеціалізованих сталей
ОЗЛ-19	10X23H12Г	Зварювання високоманганової сталі марки 110Г13Л з легуваними сталями типу 30ХГСА і вуглецевими сталями типу сталь 35	Див. групу електродів для зварювання спеціалізованих сталей
ОЗЛ-25Б	Э-10X20H70Г2М2Б2В	Зварювання різнорідних сталей	Див. групу електродів для зварювання жаростійких і жароміцних сталей та сплавів
ИМЕТ-10	Э-04X10H60M24	Зварювання різнорідних жароміцних сталей і сплавів	
ОЗЛ-44	10X20H75M2Г2БТЮФ	Зварювання різнорідних сталей і сплавів	Див. групу електродів для зварювання спеціалізованих сталей
ЦТ-28	Э-08X14H65M15B4Г2	Зварювання перлітних і хромистих сталей зі сплавами на нікелевій основі	Див. групу електродів для зварювання жаростійких і жароміцних сталей та сплавів
ОЗЛ-32	10H95Г2	Зварювання вуглецевих і високолегованих корозійностійких сталей з нікелем	Див. групу електродів для зварювання кольорових металів
В-56У	05H70Д3О	Зварювання вуглецевих сталей з монель-металом	






Таблиця 15Д. Електроди для наплавлення поверхневих шарів з особливими властивостями

Марка електрода	Тип електрода за ГОСТ 10051–75 або тип наплавленого металу	Положення наплавлення	Основне призначення. Твердість наплавленого металу
Перша група			
ОЗН-300М	11Г3С	→	Наплавлення швидкозношених деталей з вуглецевих і низьколегованих сталей (наприклад, вали, осі, автозчеплення, хрестовини, інші деталі автомобільного та залізничного транспорту). НВ 270...360
ОЗН-400М	15М4С	→	Наплавлення швидкозношених деталей з вуглецевих і низьколегованих сталей (наприклад, вали, осі, автозчеплення, хрестовини, інші деталі автомобільного і залізничного транспорту). НВ 360...430
ЦНИИН-4	Э-65Х25М13Н3	→	Наплавлення зношених ділянок і заварка дефектів лиття залізничних хрестовин та інших деталей зі сталі типу 110Г13Л. HRC <sub>e</sub> 25...37
Друга група			
ОЗШ-1	Э-16Г2ХМ		Наплавлення молотових штампів. НВ 320...365
УОНИ-13/НЖ	Э-20Х13		Наплавлення штампів холодного та гарячого (до 400 °С) обрізування, деталей машин і устаткування. HRC <sub>e</sub> 41,5...49,5
ОЗШ-3	Э-37Х9С2		Наплавлення обрізних і вирубних штампів холодного і гарячого (до 650 °С) штампування, швидкозношених деталей машин і устаткування. HRC <sub>e</sub> 53...59
ОЗШ-7	5Х10С3М		Наплавлення ковально-штампового оснащення, що працює при температурах до 650 °С. HRC <sub>e</sub> > 56
ОЗШ-2	10Х5М10В2Ф		Наплавлення штампів гарячого штампування. HRC <sub>e</sub> > 57

## Продовж. табл. 15Д

Марка електрода	Тип електрода за ГОСТ 10051–75 або тип наплавленого металу	Положення наплавлення	Основне призначення. Твердість наплавленого металу
ЭН-60М	Э-70Х3СМТ		Наплавлення штампів усіх типів, що працюють при температурі до 400 °С, швидкозношених деталей машин і устаткування. HRC <sub>e</sub> 53...61
ОЗИ-3	Э-90Х4М4ВФ		Наплавлення штампів холодного і гарячого (до 650 °С); штампування, швидкозношених деталей гірничометалургійного та верстатного устаткування. HRC <sub>e</sub> 59...64
Третя група			
ОЗН-6	90Х4Г2СЗР		Наплавлення швидкозношених деталей гірничодобувних і будівельних машин та металургійного устаткування. HRC <sub>e</sub> > 58
ОЗН-7	75Х5Г4СЗРФ		Наплавлення швидкозношених деталей, переважно зі сталі 110Г13Л. HRC <sub>e</sub> > 56
ОЗН-7М	75Х5Н2СФР		Наплавлення швидкозношених деталей, переважно зі сталі 110Г13Л. HRC <sub>e</sub> , > 56
ВСН-6	Э-110Х14В13Ф2		Наплавлення швидкозношених деталей з вуглецевих і високоманганових сталей. HRC <sub>e</sub> 51...56,5
ЭНУ-2	360Х1 5ГЗР		Наплавлення швидкозношених сталевих і чавунних деталей (ударні навантаження – помірні). HRC <sub>e</sub> > 58
Т-590	Э-320Х25С2ГР		Наплавлення швидкозношених сталевих і чавунних деталей машин (ударні навантаження – мінімальні). HRC <sub>e</sub> 58...64
Т-620	Э-320Х23С2ГТР		Наплавлення швидкозношених сталевих і чавунних деталей машин (ударні навантаження – помірні). HRC <sub>e</sub> 56...63
Четверта група			
ОЗИ-5	Э-10Д018В11М10Х3СФ		Наплавлення металорізального інструменту й штампів гарячого (до 800...850 °С) штампування. HRC <sub>e</sub> 63...67

Продовж. табл. 15Д

Марка електрода	Тип електрода за ГОСТ 10051–75 або тип наплавленого металу	Положення наплавлення	Основне призначення. Твердість наплавленого металу
ОЗИ-6	100Х4М8В2СФ		Наплавлення при виготовленні металорізального інструменту, ремонті навантажених штампів холодного та гарячого (до 650 °С) штампування. HRC <sub>e</sub> 59...64
ЦН-6Л	Э-08Х17Н8С6Г		Наплавлення ущільнювальних поверхонь деталей арматури казанів, що працюють при температурах до 570 °С і тиску до 78 МПа. HRC <sub>e</sub> 29,5...39,0
ЦН-12М-67	Э-13Х16Н8М5С5Г4Б		Наплавлення ущільнювальних поверхонь деталей арматури енергетичних установок, що працюють при температурі до 600 °С та високих тисках. HRC <sub>e</sub> 39,5...51,5
ОЗШ-6	10Х33Н11М3СГ		Наплавлення ковальсько-штампового оснащення холодного та гарячого деформування металів, швидкозношених деталей металургійного, верстатного й іншого устаткування, що працює в тяжких умовах термічної втоми (до 950 °С) і великих тисків. HRC <sub>e</sub> 52...60
ОЗШ-8	11Х3ШЗГСЮФ		Наплавлення ковальсько-штампового оснащення гарячого деформування металів, що працюють у надважких умовах термічної втоми (до 1100 °С) і великих тисків. HRC <sub>e</sub> 51...57

*Примітка.* Електроди марки ОЗШ-1 також застосовують для зварювання легованих конструкційних сталей високої міцності.



Таблиця 16Д. Електроди для зварювання та наплавлення сірого, високоміцного й ковкого чавунів

Марка електрода	Положення зварювання	Тип наплавленого металу	Основне призначення	Особливість наплавленого металу
ЦЧ-4	→	Сталь легована	Зварювання і заварка дефектів лиття в деталях із сірого високоміцного та ковкого чавунів. Зварювання сірого та високоміцного чавунів зі сталлю	–
ОЗЧ-2	→	Сплав на мідній основі	Зварювання, наплавлення та заварка дефектів лиття в деталях із сірого й ковкого чавунів	–
ОЗЧ-6	↖	Сплав на мідній основі	Зварювання деталей із сірого та ковкого чавунів	–
МНЧ-2	↖	Сплав мідно-нікелевий	Зварювання, наплавлення та заварювання дефектів лиття в деталях із сірого, високоміцного й ковкого чавунів	Висока технологічність при обробці різанням. Корозійна стійкість у рідинних агресивних середовищах і гарячих газах
ОЗЖН-1	↖	Сплав залізо-нікелевий	Зварювання, наплавлення та заварювання дефектів лиття в деталях із сірого й високоміцного чавунів	Близькість за кольором до основного металу
ОЗЖН-2	↖	Сплав залізо-нікелевий		–
ОЗЧ-3	↖	Сплав на нікелевій основі	Зварювання та заварювання дефектів лиття в деталях із сірого й високоміцного чавунів	Висока технологічність при обробці різанням
ОЗЧ-4	↖	Сплав на нікелевій основі	Зварювання та наплавлення деталей із сірого й високоміцного чавунів	Стійкість в умовах тертя металу об метал, до впливу ударних навантажень

Таблиця 17Д. Хімічний склад дротів сталевих зварювальних (ГОСТ 2246–70), %, не більше

Марка дроту	C	Si	Mn	Cr	Ni	Mo	Ti	S	P	Інші елементи
Низьковуглецевий дріт										
СВ-08	0,10	0,03	0,35...0,60	0,15	0,30	–	–	0,040	0,040	0,01 Al
СВ-08А			0,35...0,60	0,12	0,25	–	–	0,030	0,030	0,01 Al
СВ-08АА			0,35...0,60	0,10	0,25	–	–	0,020	0,020	0,01 Al
СВ-08ГА		0,12	0,06	0,80...1,10	0,10	0,25	–	–	0,025	0,030
СВ-10ГА	1,10...1,40			0,20	0,30	–	–	0,025	0,030	–
СВ-10Г2	1,50...1,90			0,20	0,30	–	–	0,030	0,030	–
Легований дріт										
СВ-08ГС	0,10	0,60...0,85	1,40...1,70	0,20	0,25	–	–	0,025	0,030	–
СВ-12ГС	0,14	0,60...0,90	0,80...1,10	0,20	0,30	–	–	0,025	0,030	–
СВ-08Г2С	0,05...0,11	0,70...0,95	1,80...2,10	0,20	0,25	–	–	0,025	0,030	–
СВ-10ГН	0,12	0,15...0,35	0,90...1,20	0,20	0,90...1,20	–	–	0,025	0,030	–
СВ-08ГСМТ	0,06...0,11	0,40...0,70	1,00...1,30	0,30	0,30	0,20...0,40	0,05...0,12	0,025	0,030	–
СВ-15ГСТЮЦЧА	0,12...0,18	0,45...0,85	0,60...1,00	0,30	0,40	–	0,05...0,20	0,025	0,025	0,20...0,50 Al 0,05...0,15 Cr 0,04 Ce
СВ-20ГСТЮЧА	0,17...0,23	0,60...0,90	0,90...1,20	0,30	0,40	–	0,10...0,20	0,025	0,025	0,20...0,50 Al 0,30...0,45 Ce
СВ-18ХГС	0,15...0,22	0,90...1,20	0,80...1,10	0,80...1,10	0,30	–	–	0,025	0,030	–
СВ-10НМА	0,07...0,12	0,12...0,35	0,40...0,70	0,20	1,00...1,50	0,40...0,55	–	0,025	0,020	–
СВ-08МХ	0,06...0,10	0,12...0,30	0,35...0,60	0,45...0,65	0,30	0,40...0,60	–	0,025	0,030	–
СВ-08ХМ	0,06...0,10	0,12...0,30	0,35...0,60	0,90...1,20	0,30	0,50...0,70	–	0,025	0,030	–
СВ-18ХМА	0,15...0,22	0,12...0,35	0,40...0,70	0,80...1,10	0,30	0,15...0,30	–	0,025	0,025	–
СВ-08ХНМ	0,10	0,12...0,35	0,50...0,80	0,70...0,90	0,80...1,20	0,25...0,45	–	0,025	0,030	–
СВ-08ХМФА	0,06...0,10	0,12...0,30	0,35...0,60	0,90...1,20	0,30	0,50...0,70	–	0,025	0,025	0,15...0,30 V
СВ-10ХМФТ	0,07...0,12	0,35	0,40...0,70	1,40...1,80	0,30	0,40...0,60	0,05...0,12	0,030	0,030	0,20...0,35 V

Марка дроту	C	Si	Mn	Cr	Ni	Mo	Ti	S	P	Інші елементи
Св-08ХМНФБА	0,06...0,10	0,12...0,30	0,35...0,60	1,10...1,40	0,65...0,90	0,80...1,00	–	0,025	0,025	0,20...0,35 V 0,10...0,23 Nb
Св-08ХГ2С	0,05...0,11	0,70...0,95	1,70...2,10	0,70...1,00	0,25	–	–	0,025	0,030	–
Св-08ХГСМА	0,06...0,10	0,45...0,70	1,15...1,45	0,85...1,15	0,30	0,40...0,60	–	0,025	0,025	–
Св-10ХГ2СМА	0,07...0,12	0,60...0,90	1,70...2,10	0,80...1,10	0,30	0,40...0,60	–	0,025	0,025	–
Св-08ХГСМФА	0,06...0,10	0,45...0,70	1,20...1,50	0,95...1,25	0,30	0,50...0,70	–	0,025	0,025	0,20...0,35 V
Св-04Х2МА	0,06	0,12...0,35	0,40...0,70	1,80...2,20	0,25	0,50...0,70	–	0,020	0,025	–
Св-13Х2МФТ	0,10...0,15	0,35	0,40...0,70	1,70...2,20	0,30	0,40...0,60	0,05...0,12	0,030	0,030	0,20...0,35 V
Св-08Х3Г2СМ	0,10	0,45...0,75	2,00...2,50	2,00...3,00	0,30	0,30...0,50	–	0,030	0,030	–
Св-08ХН2М	0,10	0,12...0,30	0,55...0,85	0,70...1,00	1,40...1,80	0,20...0,40	–	0,025	0,030	–
Св-10ХН2ГМТ	0,07...0,12	0,12...0,30	0,80...1,10	0,30...0,60	1,80...2,20	0,40...0,60	0,05...0,12	0,025	0,030	–
Св-08ХН2ГМТА	0,06...0,11	0,12...0,30	0,80...1,10	0,25...0,45	2,10...2,50	0,25...0,45	0,05...0,12	0,020	0,025	–
Св-08ХН2ГМЮ	0,06...0,11	0,25...0,55	1,00...1,40	0,70...1,10	2,00...2,50	0,40...0,65	–	0,030	0,030	0,06...0,18 Al
Св-08ХН2Г2СМЮ	0,06...0,11	0,40...0,70	1,50...1,90	0,70...1,00	2,00...2,50	0,45...0,65	–	0,030	0,030	0,06...0,18 Al
Св-06Н3	0,08	0,30	0,40...0,70	0,30	3,00...3,50	–	–	0,025	0,030	–
Св-10Х5М	0,12	0,12...0,35	0,40...0,70	4,00...5,50	0,30	0,40...0,60	–	0,035	0,030	–
Високолегований дрiт										
Св-12Х11НМФ	0,08...0,15	0,25...0,55	0,35...0,65	10,50...12,00	0,60...0,90	0,60...0,90	–	0,025	0,030	0,25...0,50 V
Св-10Х11НВМФ	0,08...0,13	0,30...0,60	0,35...0,65	10,50...12,00	0,80...1,10	1,00...1,30	–	0,025	0,030	0,25...0,50 V 1,00...1,40 W
Св-12Х13	0,09...0,14	0,30...0,70	0,30...0,70	12,00...14,00	0,60	–	–	0,025	0,030	–
Св-20Х13	0,16...0,24	0,60	0,60	12,00...14,00	–	–	–	0,025	0,030	–
Св-06Х14	0,08	0,30...0,70	0,30...0,70	13,00...15,00	0,60	–	–	0,025	0,030	–
Св-08Х14ГНТ	0,10	0,25...0,65	0,90...1,30	12,50...14,50	0,40...0,90	–	0,60...1,00	0,025	0,035	–
Св-10Х17Т	0,12	0,80	0,70	16,00...18,00	0,60	–	0,20...0,50	0,025	0,035	–
Св-13Х25Т	0,15	1,00	0,80	23,00...27,00	0,60	–	0,20...0,50	0,025	0,035	–
Св-01Х19Н9	0,03	0,50...1,00	1,00...2,00	18,00...20,00	8,00...10,00	–	–	0,015	0,025	–

Продовж. табл. 17Д

Марка дроту	C	Si	Mn	Cr	Ni	Mo	Ti	S	P	Інші елементи
Св-08ХМНФБА	0,06...0,10	0,12...0,30	0,35...0,60	1,10...1,40	0,65...0,90	0,80...1,00	–	0,025	0,025	0,20...0,35 V 0,10...0,23 Nb
Св-04Х19Н9	0,06	0,50...1,00	1,00...2,00	18,00...20,00	8,00...10,00	–	–	0,018	0,025	–
Св-08Х16Н8М2	0,05...0,10	0,60	1,50...2,00	15,00...17,00	7,50...9,00	1,50...2,00	–	0,018	0,025	–
Св-08Х18Н8Г2Б	0,05...0,10	0,30...0,70	1,80...2,30	17,50...19,50	8,00...9,00	–	–	0,018	0,025	1,20...1,50 Nb
Св-07Х18Н9ТЮ	0,06...0,08	0,80	2,00	17,00...19,00	8,00...10,00	–	1,00...1,40	0,015	0,030	0,60...0,95 Al
Св-06Х19Н9Т	0,08	0,40...1,00	1,00...2,00	18,00...20,00	8,00...10,00	–	0,50...1,00	0,015	0,030	–
Св-04Х19Н9С2	0,06	2,00...2,75	1,00...2,00	18,00...20,00	8,00...10,00	–	–	0,018	0,025	–
Св-08Х19Н9Ф2С2	0,10	1,30...1,80	1,00...2,00	18,00...20,00	8,00...10,00	–	–	0,025	0,030	1,80...2,40 V
Св-05Х19Н9Ф3С2	0,07	1,30...1,80	1,00...2,00	18,00...20,00	8,00...10,00	–	–	0,025	0,030	2,20...2,70 V
Св-07Х19Н10Б	0,05...0,09	0,70	1,50...2,00	18,50...20,50	9,00...10,50	–	–	0,018	0,025	1,20...1,50 Nb
Св-08Х19Н10Г2Б	0,05...0,10	0,20...0,45	1,80...2,20	18,50...20,50	9,50...10,50	–	–	0,020	0,030	0,90...1,30 Nb
Св-06Х19Н10М3Т	0,08	0,30...0,80	1,00...2,00	18,00...20,00	9,00...11,00	2,00...3,00	0,50...0,80	0,018	0,025	–
Св-08Х19Н10М3Б	0,10	0,60	1,00...2,00	18,00...20,00	9,00...11,00	2,00...3,00	–	0,018	0,025	0,90...1,30 Nb
Св-04Х19Н11М3	0,06	0,60	1,00...2,00	18,00...20,00	10,00...12,00	2,00...3,00	–	0,018	0,025	–
Св-05Х20Н9ФБС	0,07	0,90...1,50	1,00...2,00	19,00...21,00	8,00...10,00	–	–	0,020	0,030	1,00...1,40 Nb 0,90...1,30 V
Св-06Х20Н11М3ТБ	0,08	0,50...1,00	0,80	19,00...21,00	10,00...12,00	2,50...3,00	0,60...1,10	0,018	0,030	0,60...0,90 Nb
Св-10Х20Н15	0,12	0,80	1,00...2,00	19,00...22,00	14,00...16,00	–	–	0,018	0,025	–
Св-07Х25Н12Г2Т	0,09	0,30...1,00	1,50...2,50	24,00...26,50	11,00...13,00	–	0,60...1,00	0,020	0,035	–
Св-06Х25Н12ТЮ	0,08	0,60...1,00	0,80	24,00...26,50	11,50...13,50	–	0,60...1,00	0,020	0,030	0,40...0,80 Al
Св-07Х25Н13	0,09	0,50...1,00	1,00...2,00	23,00...26,00	12,00...14,00	–	–	0,018	0,025	–
Св-08Х25Н13БТЮ	0,10	0,60...1,00	0,55	24,00...26,00	12,00...14,00	–	0,50...0,90	0,020	0,030	0,70...1,10 Nb 0,40...0,90 Al
Св-13Х25Н18	0,15	0,50	1,00...2,00	24,00...26,50	17,00...20,00	–	–	0,015	0,025	–
Св-08Х20Н9Г7Т	0,10	0,50...1,00	5,00...8,00	18,50...22,00	8,00...10,00	–	0,60...0,90	0,018	0,035	–
Св-08Х21Н10Г6	0,10	0,20...0,70	5,00...7,00	20,00...22,00	9,00...11,00	–	–	0,018	0,035	–
Св-30Х25Н16Г7	0,25...0,33	0,30	6,00...8,00	24,50...27,00	15,00...17,00	–	–	0,018	0,030	–

## Продовж. табл. 17Д

Марка дроту	C	Si	Mn	Cr	Ni	Mo	Ti	S	P	Інші елементи
Св-08ХМНФБА	0,06...0,10	0,12...0,30	0,35...0,60	1,10...1,40	0,65...0,90	0,80...1,00	–	0,025	0,025	0,20...0,35 V 0,10...0,23 Nb
Св-10Х16Н25АМ6	0,08...0,12	0,60	1,00...2,00	15,00...17,00	24,00...27,00	5,50...7,00	–	0,018	0,025	0,10...0,20 N
Св-09Х19Н25М6АФ	0,07...0,11	0,40	1,00...2,00	15,00...17,00	24,00...27,00	5,50...7,00	–	0,018	0,018	0,70...1,00 V 0,10...0,20 N
Св-01Х23Н28МЗДЗТ	0,03	0,55	0,55	22,00...25,00	26,00...29,00	2,50...3,00	0,50...0,90	0,018	0,030	2,50...3,50 Cu
Св-30Х15Н25В3БЗТ	0,27...0,33	0,60	0,50...1,00	14,00...16,00	34,00...36,00	–	0,20...0,70	0,015	0,025	2,50...3,50 W 2,80...3,50 Nb
Св-08Н50	0,10	0,50	0,50	0,30	48,00...53,00	–	–	0,020	0,030	–
Св-06Х15Н60М15	0,08	0,50	1,00...2,00	14,00...16,00	Основа	14,00...16,00	–	0,015	0,015	4,0 Fe

*Примітки.* 1. Умовні позначення марок дроту складаються з індексу Св (зварювальний) і наступних за ним цифр і літер. 2. Цифри, що розташовані за індексом Св, вказують середній вміст вуглецю в сотих частках відсотка. 3. Хімічні елементи, що містяться в металі дротів, позначені наступними літерами: А – азот (тільки у високолегованих дротах); Б – ніобій; У – вольфрам; Г – манган; Д – мідь; М – молібден; Н – нікель; С – кремній; Т – титан; Ф – ванадій; Х – хром; Ц – цирконій; Ю – алюміній; Ч – церій. 4. Цифри, що йдуть за літерними позначеннями хімічних елементів, вказують середній вміст елемента у відсотках. Після літерного позначення елементів, що містяться в невеликих кількостях, цифри не проставлені. 5. Літера А в кінці умовних позначень марок низьковуглецевого і легovanого дроту вказує на підвищену чистоту металу за вмістом сірки і фосфору. У дроті марки Св-08АА подвоєна літера А вказує на знижений вміст сірки та фосфору в порівнянні з дротом марки Св-08А.

Таблиця 18Д. Хімічний склад дротів для наплавлення, %, не більше

Марка дроту	C	Mn	Si	Cr	Ni	W	V	Mo	S	P
Вуглецевий дріт										
Нп-25	0,22...0,30	0,50...0,80	0,17...0,37	0,25	0,30	-	-	-	0,040	0,040
Нп-30	0,27...0,35									
Нп-35	0,32...0,40									
Нп-40	0,35...0,45									
Нп-45	0,42...0,50									
Нп-50	0,45...0,55									
Нп-65	0,60...0,70									
Нп-80	0,75...0,85									
Нп-85	0,82...0,90									
Легований дріт										
Нп-40Г	0,35...0,45	0,70...1,00	0,17...0,37	0,30	0,30	-	-	-	0,040	0,040
Нп-50Г	0,45...0,56	0,90...1,20								
Нп-65Г	0,60...0,70	0,80...1,10								
Нп-30ХГСА	0,27...0,35	0,40...0,70	0,90...1,20	0,80...1,10	0,40	-	-	-	0,030	0,040
Нп-30Х5		1,30...1,80	0,20...0,50	4,00...6,00						
Нп-40Х3Г2МФ	0,35...0,45	1,80...2,30	0,40...0,70	3,30...3,80	1,40...1,80	-	0,10...0,20	0,30...0,50	0,040	
Нп-40Х2Г2М	0,35...0,43	0,50...0,80	0,35	1,80...2,30				-	0,80...1,20	0,030
Нп-55ХНМ	0,50...0,60		-	0,17...0,37	0,50...0,80	0,40	-	-	0,15...0,30	0,030
Нп-50ХФА	0,46...0,54	0,80...1,20		0,80...1,10						
Нп-50Х6ФМС	0,45...0,55	0,30...0,60	0,15...0,36	5,60...6,50	0,35		0,10...0,20	-	0,030	0,030
Нп-105Х	0,95...1,10	0,15...0,40	-	1,30...1,66			0,35...0,55	1,20...1,60		
							-	-		
Високолегований дріт										
Нп-20Х14	0,16...0,25	0,80	0,80	13,00...15,00	0,60	-	-	-	0,030	0,035
Нп-30Х13	0,25...0,35			12,00...14,00						
Нп-30Х10Г10Т	0,25...0,35	10,0...12,0	0,35	10,00...12,00	-	-	-	0,15...0,30 Ti	-	-
Нп-40Х13	0,35...0,45	0,80	0,80	12,00...14,00						
Нп-45Х4В3Ф	0,40...0,50	0,80...1,20	0,70...1,00	3,60...4,60	-	2,5...3,0	0,20...0,40	0,05...0,90 Ti	0,040	0,040
Нп-45Х2В8Т		1,00...1,40		2,20...3,00			8,0...9,5			
Нп-60Х3В10Ф	0,55...0,66	1,30...1,80	0,40...0,70	2,60...3,60	0,35	9,0...10,5	0,30...0,50	-	0,040	0,040
Нп-Г13А	1,00...1,20	12,5...14,5	0,40	0,60	0,60	-	-		0,030	
Нп-Х15Н60	0,15	1,50	1,00	15,00...18,00	55,0...61,0	-	-	0,15...0,40 Ti	0,025	0,035
Нп-Х20Н80Т	0,12	0,70	0,80	19,00...23,00	Основа				0,015	0,020

Таблиця 19Д. Хімічний склад дротів для зварювання алюмінію та його сплавів (ГОСТ 7871–75), %

Марка сплавів	Основні компоненти								Домішки, не більше						
	Al	Mg	Mn	Fe	Si	Ti	Be	Sr	Fe	Si	Zn	Cu	Mg	Інші	Сума
СВ-А97	Не менше 99,97	–	–	–	–	–	–	–	0,015	0,015	–	0,005	–	0,010	0,03
СВ-А85Т	Решта	–	–	–	–	0,20	–	–	0,040	0,040	0,02	0,010	0,01	–	0,80
СВ-А5	Не менше 99,5	–	–	0,20... ...0,35	0,10...0,25	–	–	–	–	–	–	0,015	–	0,050	0,50
СВ-АМц	Решта	–	1,0... ...1,5	0,30... ...0,50	0,20...0,40	–	–	–	–	–	0,10	0,200	0,05	0,100	1,35
СВ-АМг3	–	3,2... ...3,8	0,3... ...0,6	–	0,50...0,80	–	–	–	0,500	–	0,20	0,050	–	0,100	0,85
СВ-АМг4	–	4,0... ...4,8	0,5... ...0,8	–	0,05... ...0,25 Cr	0,05... ...0,15	0,0020... ...0,0050	–	0,400	0,400	0,20	0,050	–	0,100	0,15
СВ-АМг5	–	4,8... ...5,8	0,5... ...0,8	–	–	0,10... ...0,20	0,0020... ...0,0050	–	0,400	0,400	0,20	0,050	–	0,100	1,40
СВ-1557	–	4,5... ...5,5	0,2... ...0,6	–	–	0,07... ...0,15 Cr	0,0020... ...0,0050	0,200... ...0,350	0,300	0,150	–	0,050	–	0,100	0,60
СВ-АМг6	–	5,8... ...6,8	0,5... ...0,8	–	–	0,10... ...0,20	0,0020... ...0,0050	–	0,400	0,400	0,20	0,100	–	0,100	0,15
СВ-АМг63	–	5,8... ...6,8	0,5... ...0,8	–	–	–	0,0020... ...0,0050	0,150... ...0,350	0,050	0,050	0,05	0,050	–	0,001	0,15
СВ-АМг61	–	5,5... ...6,5	0,8... ...1,1	–	–	–	0,0001... ...0,0003	0,002... ...0,120	0,400	0,400	0,20	0,050	–	0,100	1,15
СВ-АК5	–	–	–	–	4,50... ...6,00	0,10... ...0,20	–	–	0,600	–	0,10 Zn та 0,10 Sn	0,200	–	0,100	1,0
СВ-АК10	–	–	–	–	7,00... ...10,00	–	–	–	0,600	–	0,20	0,100	0,10	0,100	1,10
СВ-1201	–	6,0... ...6,8 Cu	0,2... ...0,4	–	0,05... ...0,15 V	0,10... ...0,20	0,0001... ...0,0008	0,100... ...0,250	0,150	0,080	0,05	–	0,02	0,001	0,30

Таблиця 20Д. Марки й хімічний склад зварювальних дротів і прутків з міді та її сплавів (ГОСТ 16130–72), %

Марки	Основні компоненти											
	Cu	Ni + Co	Mn	Si	Fe	Sn	Ag	Ti	Cr	Sr	B	Zn
МСр1	98,5... ...99,0	–	–	–	–	–	0,8...1,2	–	–	–	–	–
МНЖКТ5-1-0,2-0,2	Решта	5,0...6,5	0,3...0,8	0,15... ...0,30	1,0... ...1,4	–	–	0,10... ...0,30	–	–	–	–
Бр.Х0,7	Решта	–	–	–	–	–	–	–	0,40... ...1,00	–	–	–
Бр.ХНТ	Решта	Ni 0,5...0,8	–	–	–	–	–	0,05... ...0,15	0,15... ...0,35	–	–	–
Бр.НЦр	Решта	Ni 0,3...0,6	–	–	–	–	–	–	–	0,04... ...0,08	–	–
Бр.НЦрТ	Решта	Ni 0,5...0,8	–	–	–	–	–	0,10... ...0,20	–	1,40... ...1,70	–	–
ЛК62-0,5	60,5... ...63,5	–	–	0,3... ...0,7	–	–	–	–	–	–	–	Решта
ЛКБО62-0,2-0,04-0,5	60,5... ...63,5	–	–	0,1... ...0,3	–	0,3...0,7	–	–	–	–	0,03... ...0,10	Решта
ЛОК59-1-0,3	58,0... ...60,0	–	–	0,7... ...1,1	–	–	–	–	–	–	–	Решта

*Примітка.* Дріт постачають м'яким (М), напівтвердим (Пт) і твердим (Т); прутки – м'якими або твердими. Стан дроту, що постачається, і прутків необхідно обговорювати в замовленні.

Приклад умовного позначення дроту діаметром 5 мм, марки Бр.АМц9-2, м'який: дріт Бр.АМц9-2-М-5 ГОСТ 16130–72; дроту діаметром 1,2 мм, марки МНЖТ5-1-0,2-0,2, твердий: дріт МНЖКТ5-1-0,2-0,2-Т-1,2 ГОСТ 16130–72.



Таблиця 21Д. Порошкові дроти для зварювання

Марка дроту	Діаметр, мм	Вид захисту	$\sigma_b$ , МПа	$\sigma_t$ , МПа	$\delta$ , %	$T_{роб}$ , °С	Призначення
ПП-АН1	2,8	Самозахисний	520	420	18	+20	Ремонт залізничного транспорту й устаткування, зварювання будівельних металоконструкцій
ПП-АН8	2,0; 2,2; 2,5	CO <sub>2</sub>	540	420	27	0	Будівельні металоконструкції, транспортне машинобудування та ін.
ПП-АН29	1,2; 1,6; 2,0; 2,2; 2,5	CO <sub>2</sub>	560	440	24	-30	Будівельні металоконструкції, вантажопідйомні механізми та ін.
ПП-АН57	1,2; 1,6; 1,8; 2,0	CO <sub>2</sub>	690	560	22	-30	Металоконструкції з низьколегованих високоміцних сталей 12ГН2МФАЮ, 14Х2ГМР, 14Х2ГМРЛ та ін., ремонт залізничного транспорту
ППс-ТМВ57	1,2; 1,6; 1,8; 2,0	CO <sub>2</sub>	690	560	22	-30	
ППс-ТМВ8	1,6; 2,0; 2,2; 2,5	CO <sub>2</sub>	540	420	27	-20	Будівельні металоконструкції, вантажопідйомні механізми та ін.
ППс-ТМВ7	1,2; 1,6; 2,0; 2,5	CO <sub>2</sub>	580	460	23	-30	Суднобудування, машинобудування, сільгоспмашинобудування та ін.
ППс-ТМВ11	2,6; 2,8; 3,0	Самозахисний	520	30	27	+20	Для механізованого зварювання та наплавлення низьковуглецевих сталей, низьколегованих сталей, а також легованих конструкційних сталей з аустенітними сталями
ППс-ТМВ6	1,2; 2,0; 2,4; 3,0		560	440	20	0	Ремонт залізничного транспорту й устаткування, зварювання будівельних металоконструкцій
ПП-АС2 (ПГ39-АОГ)	1,2; 1,6	CO <sub>2</sub> , Ar + CO <sub>2</sub>	520...650	440	24	-30	Зварювання низьковуглецевих та низьколегованих сталей
ПП-АС4 (ПГ39-АОГ)	1,6	CO <sub>2</sub> , Ar + CO <sub>2</sub>	500...600	420	25	-30	
ПП-АС5 (ПГ44-А6Г)	1,2; 1,4; 1,6	CO <sub>2</sub> , Ar + CO <sub>2</sub>	520...650	460	23	-60	
ПП-АС10 (ПГ44-А2У)	1,2	CO <sub>2</sub> , Ar + CO <sub>2</sub>	580...720	480	22	-30	
ПП-АС10Н (ПГ50-А4У)	1,2	CO <sub>2</sub> , Ar + CO <sub>2</sub>	620...750	500	23	-40	

**Таблиця 22Д. Порошкові дроти для наплавлення**

Марка дроту	Діаметр, мм	Твердість HRC	Застосування
ПП-АН158 (ПП-Нп-12Х14Н3)	3,2...3,6	36...52	Наплавлення під флюсом плунжерів потужних гідропресів та інших деталей, працюючих в умовах гідроабразивного й абразивного зносу, корозії
ПП-Нп-350Х8Г4СЧР	2,8...3,6	50...56	Наплавлення відкритою дугою та під флюсом лопаток бетономішалок, деталей дробарного устаткування
ПП-Нп-25Г2ХС	1,6...3,2	20	Наплавлення відкритою дугою та під флюсом деталей сільгосптехніки та гірничо-збагачувальних машин
ПП-Нп-250Х30Н3	2,8...3,6	45...50	Наплавлення відкритою дугою та під флюсом деталей устаткування трубопркатних, сортопркатних станів та прошивних станів
ПП-Нп12Х13	1,6...3,6	30...45	Наплавлення під флюсом роликів МНЛЗ, деталей періодично контактуючих з рідким металом (сталлю, чавуном та ін.)
ПП-Нп14ГСТ	2,8...3,0	НВ 220...280	Наплавлення осей, валів, коліс залізничних вагонів, ресор
ПП-Нп-30ХГСА	2,0...6,0	260...320	Кранові колеса, посадні місця валів, підшари при наплавленні валків прокатних станів
Нп-10Х14Г (АН-106)	2,0...2,8	39...47	Плунжери гідропресів, ущільнювальні поверхні трубопроводів, штори гідроклітей
ПП-Нп-14ГСТ (ТН-250)	2,0...4,0	220...230	Осі коліс залізничних вагонів, деталі з вуглецевих конструкційних і литих сталей 25Л, 35Л, 45Л, підшари при наплавленні валків прокатних станів
ПП-Нп-150Х15Р3Т2	2,6...3,2	59...67	Наплавлення лемехів плугів, ножів бульдозерів і грейдерів, зубів ковшів екскаваторів
ПП-Нп-10Х15Н2Т (ПП-АН 138)	2,6	–	Відновлення гідротурбін, гвинтів та інших деталей працюючих на зношування
ВЕЛТЕК Н250РМ	2,0...4,0	220...230	Осі коліс залізничних вагонів, деталі з вуглецевих конструкційних і литих сталей 25Л, 35Л, 45Л, підшар при наплавленні валків прокатних станів
ВЕЛТЕК Н300РМ	2,0...6,0	260...320	Кранові колеса, посадні місця валів, підшар при наплавленні валків прокатних станів
ВЕЛТЕК Н570	3,0...4,0	50...56	Валки окалиноруйнівників. Підвищує стійкість валків в чотири рази порівняно з НП-35В9Х3СФ
ВЕЛТЕК Н200	2,0...2,6	180...240	Заварювання дефектів лиття на сталі 110Г13Л

Таблиця 23Д. Спеціалізовані порошкові дроти

Марка дроту	Діаметр, мм	Вид захисту	HRC	$\sigma_t$ , МПа	$\delta$ , %	Призначення
ПП-АНЧ2	3,0	CO <sub>2</sub>	–	–	–	Зварювання дефектів чавунного лиття
ПП-АН39	2,8...3,0	CO <sub>2</sub>		490...660	22	Суднобудування, машинобудування, транспортне машинобудування та ін.
ППс-АНТ	2,8...3,0	Самозахисний		540...640	22	Мостобудування та зварювання резервуарів
ВЕЛТЕК-НП1	1,8...2,4	–	–	–	–	Для напилювання зміцнюючих шарів
ПП-АН185	3,2...3,6	Флюс	38...47	–	–	Наплавлення роликів безупинного лиття, деталей періодично контактуючих з рідким металом (сталь, чавун та ін.)
ППР-АН1-М	2,0...3,0	Самозахисний	–	–	–	Для механізованого різання металів (сталь, чавун, кольорові метали) $V_{\text{різки}} = 25...12$ м/год
ПП-БрХТ12-2	2,6...3,2	Ar	–	–	–	Для плазмово-дугового зварювання хромистої бронзи
ППТ-1	2,2...2,6	Ar	–	–	–	Однопрохідне зварювання низьколегованих $\alpha - i$ ( $\alpha + \beta$ ) титанових сплавів
ППТ-2	3,0...3,5	Ar	–	–	–	
ППТ-3	3,0...3,5	Ar	–	–	–	

Таблиця 24Д. Плавлені флюси для механізованого зварювання низьковуглецевих сталей

Марка	Тип	Хімічний склад, %, не більше										A <sub>ф</sub>	I <sub>зв. max</sub> , ~, =, A	Сушіння		Рекомендо- вані дроти
		SiO <sub>2</sub>	MnO	CaF <sub>2</sub>	Na <sub>2</sub> O + + K <sub>2</sub> O	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO MgO	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	TiO <sub>2</sub>	S	P			°C	год	
		ФЦ-6	MS	43...46	44...47	2,5...4,0	0,3...0,5	2,5	4 1	1,0	–					
АНЦ-1	MS	38...42	29...34	2,0...5,0	–	3,0...6,0	Σ 15...24	2,0	–	0,14	0,10	0,90... ...0,95	1000	400	2	СВ-08 СВ-08А СВ-08ГА СВ-10Г2
ФЦ-3	MS	41...44	40...43	2,0...3,0	0,5	2,0	5,5 2	1,5	3...4	0,15	0,15	0,85... ...0,90	1200	400	2	СВ-08 СВ-08А СВ-08ГА СВ-10Г2
ФЦ-9	MS	38...41	38...41	2,0...3,0	–	10...13	8 2,5	2,0	–	0,10	0,10	0,80... ...0,85	800	400	1	СВ-08 СВ-08А СВ-08ГА СВ-10Г2 СВ-10ГН
ФЦ-7	MS	46...48	24...26	4,0...6,0	0,4...0,8	3,0	0,3 15...18	1,5	–	0,10	0,10	0,80... ...0,85	Більше 900	550	3	СВ-08 СВ-08А СВ-08АА СВ-10НМА
АН-65	MS	40	26	10,0	–	–	Σ 18	1,0	11	0,10	0,10	0,80... ...0,85	1700	400	2	СВ-08ГА СВ-10Г2 СВ-08ХМ СВ-10НМА

Марка	Тип	Хімічний склад, %, не більше										A <sub>ф</sub>	I <sub>зв. max</sub> , ~, =, A	Сушіння		Рекомендо- вані дроти
		SiO <sub>2</sub>	MnO	CaF <sub>2</sub>	Na <sub>2</sub> O + + K <sub>2</sub> O	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO MgO	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	TiO <sub>2</sub>	S	P			°C	ГОД	
АН-60	MS	42...46	37...41	5,0...8,0	–	5,0	3...11 0,5...3,0	0,9	–	0,09	0,10	0,75... ...0,80	1800	400	2	СВ-08А СВ-08ГА СВ-08ХМ СВ-10НМА
ОСЦ-45	MS	38...44	38...44	6,0...9,0	–	5,0	6,5 2,5	2,0	–	0,15	0,15	0,75... ...0,80	1200	400	2	СВ-08 СВ-08А СВ-08ГА СВ-10Г2
АН-348-В	MS	40...44	30...34	4,0...6,0	–	8,0	10 7	2,0	2...6	0,15	0,14	0,70... ...0,75	1100	400	1	СВ-08 СВ-08А СВ-08ГА СВ-10Г2
АН-348-А	MS	41...44	34...38	4,0...5,5	–	4,5	6,5 5,0...7,5	2,0	–	0,15	0,12	0,70... ...0,75	1100	400	2	СВ-08 СВ-08А СВ-08ГА СВ-10Г2
АН-1	CS	36...40	14...18	4,0...6,0	1,6...3,5	13...16	19,0...21,5 1	2,5	–	0,15	0,15	0,65... ...0,70	1000	400	2	СВ-08А СВ-08АА СВ-08ГА СВ-10Г2
ФВТ-4	CS	38	6	7,0	–	22,0	Σ 0...26	1,0	–	0,05	0,05	0,60... ...0,65	1200	620	4	СВ-08ГА СВ-10Г2 СВ-10ГА СВ-10НМА

Таблиця 25Д. Плавлені флюси для механізованого зварювання низьколегованих сталей

Марка	Тип	Хімічний склад, %, не більше										A <sub>ф</sub>	I <sub>зв max</sub> , ~, =, A	Сушіння		Рекомендовані дроти
		SiO <sub>2</sub>	MnO	CaF <sub>2</sub>	Na <sub>2</sub> O + + K <sub>2</sub> O	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO MgO	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	TiO <sub>2</sub>	S	P			°C	год	
		ФЦ-22	CS	34	4	15	–	20	Σ 30	1,0	–			0,04	0,03	
ФВТ-1	CS	33	9	12	2,5	20	Σ 25	1,0	–	0,05	0,05	0,52... ...0,56	= (+) 700	400	3	СВ-08Г2 СВ-08ХМ СВ-08ХГНМТА
АН-47	FB	28...32	14...18	9...13	1...2 ZrO <sub>2</sub>	9...13	13...18 6,5...10,5	2,0	4...7	0,05	0,05	0,45... ...0,50	1200	400	2	СВ-08ГА СВ-08ХМ СВ-10Г2 СВ-08ХМФ СВ-10НМА
АН-42	FB	30...34	14...19	14...20	–	13...18	12...16 0	1,0	–	0,06	0,10	0,50... ...0,55	= (+) 1200	400	3	СВ-08А СВ-08ГА СВ-08ХМ СВ-08ХМФ СВ-08ХГНМТА
ФЦ-11	FB	23...27	6...9	28...36	1	19...23	8 8...11	1,0	–	0,05	0,05	0,38... ...0,43	= (+) 1000	400	4	СВ-08ГА СВ-08Г2 СВ-08ГС СВ-10ГС СВ-12ГС СВ-08ХМ СВ-08ХМФ

## Продовж. табл. 25Д

Марка	Тип	Хімічний склад, %, не більше										A <sub>ф</sub>	I <sub>зв</sub> max, ~, =, A	Сушіння		Рекомендовані дроти
		SiO <sub>2</sub>	MnO	CaF <sub>2</sub>	Na <sub>2</sub> O + + K <sub>2</sub> O	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO MgO	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	TiO <sub>2</sub>	S	P			°C	год	
ФЦ-16	CS	29	5	19	2	19	Σ 27	1,0	–	0,03	0,03	0,32... ...0,37	= (+) 800	600	4	СВ-08ГА СВ-08Г2 СВ-08ГС СВ-08Г2С СВ-10ХГНМАА СВ-10ХГМТА
АН-43	AB	18...22	5...9	17...21	–	30...36	14...18 2	2,5...5,0 FeO	–	0,05	0,05	0,31... ...0,35	= (+) 800	450	2	СВ-10ГН СВ-10НМА СВ-08ГСМТ СВ-08ГСМА СВ-08ХН2ГМЮ СВ-08ХГСМФА СВ-10ХГ2СМА
ФЦ-15	CS	25...28	4...7	12...18	0,5...2,0	16...20	15...21 7...10	1,0	2	0,03	0,03	0,30... ...0,35	= (+) 900	630	4	СВ-08ГА СВ-08Г2 СВ-08ГС СВ-08Г2С СВ-08ГНМАА

**Таблиця 26Д. Склад та властивості керамічних флюсів для низьколегованих сталей**

Марка	Тип	Хімічний склад, %							Легуючі додатки	$I_{зв\ max,}$ = (+), А	Сушіння		Рекомендовані дроти
		SiO <sub>2</sub>	MnO	CaO	MgO	CaF <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	TiO <sub>2</sub>			°C	год	
АНК-44	AR	20	5	5	2	5	30	15	FeMo	1400	450	3	СВ-08ГМ СВ-08ГНМ СВ-08ГНМТ
АНК-30	FB	12	–	15	35	12	12	–	FeSi	1000	400	1	СВ-10Г2 СВ-08ГА
АНК-47	AB	15	8	8	30	8	20	–	FeMn FeTi Fe	1200	400	3	СВ-08МХ СВ-10НМА СВ-10Г2 СВ-08ГА
АНК-57	FB	15	–	15	25	25	17	–	Al та ін.	1000	400	3	СВ-10Г2 СВ-08МХ СВ-08ГНМТ СВ-10ГНМДТ



Таблиця 27Д. Склад і властивості плавлених флюсів для зварювання середньо- та високолегованих сталей

Марка	Тип	Хімічний склад, %, не більше												A <sub>ф</sub>	I <sub>зв max</sub> , = (+), А	Су- шіння		Рекомендовані дроти
		SiO <sub>2</sub>	MgO	CaF <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	TiO <sub>2</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MnO	CaO	K <sub>2</sub> O + + Na <sub>2</sub> O	C	P	S			°C	ГОД	
ФИМС-20П	AR	23	15	24	24	13	1	–	–	–	–	0,05	0,05	0,53... ...0,60	800	650	3	СВ-10НЗГМТ СВ-03ГХНЗМД СВ-07ХНЗМД
АН-26С	CS	29... ...33	15... ...18	20... ...24	19... ...23	–	1,5	2,5... ...4,0	4...8	–	0,05	0,10	0,1	0,45... ...0,50	800	400	2	СВ-06Х19Н9Т СВ-01Х19Н9 СВ-08Х19НЮБ
АН-20С	AB	19... ...24	9... ...13	25... ...33	27... ...32	–	1	0,5	3...9	2...3	–	0,05	0,08	0,35... ...0,40	500	400	2	ПП-3Х2В8 ПП-25Х5ФМС Нп-30ХГСА СВ-30Х25Н16Г7
АН-15	AB	24... ...29	8... ...11	20... ...23	22... ...25	–	<0,85	1,5... ...2,5	14...18	–	–	0,05	0,05	0,30... ...0,35	600	750	2	СВ-08ХГ2С СВ-08ХГСМА СВ-10ХГ2СМА СВ-08ХГСМФА СВ-08Х3Г2СМ
АН-45	FB	13... ...17	14... ...18	22... ...27	≤15	4...8	<25	10... ...14	4...8	10...14 ZrO <sub>2</sub>	0,05	0,75	0,05	0,25... ...0,30	800	400	2	СВ-12Х11НФ СВ-10Х11НВФ СВ-12Х13 СВ-20Х13 СВ-06Х14 СВ-08Х14ГНТ
АН-18	FB	17... ...21	7... ...10	19... ...23	14,5... ...18,5	–	13,5... ...16,5	2,5... ...5,0	14...18	–	–	0,05	0,05	0,25... ...0,30	800	400	2	СВ-08Х20Н9С2БТЮ СВ-06Х25Н12ТЮ СВ-08Х25Н13БТЮ СВ-07Х25Н12Г2Т
ФЦ-17	CS	26	24	15	20	4 Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	<1,0	–	<6	8,0	–	0,02	0,03	0,25... ...0,30	800	650	4	СВ-04Х19Н11М3 СВ-07Х25Н13 СВ-01Х19Н9 СВ-08Х16Н8М2 СВ-08Х18Н8Г2Б та ін.

Продовж. табл. 27Д

Марка	Тип	Хімічний склад, %, не більше												A <sub>ф</sub>	I <sub>зв</sub> max, = (+), А	Су- шіння		Рекомендовані дроти
		SiO <sub>2</sub>	MgO	CaF <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	TiO <sub>2</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MnO	CaO	K <sub>2</sub> O+ + Na <sub>2</sub> O	C	P	S			°C	ГОД	
ФЦ-19	CS	23	23	20	21	4,5 Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	2,0	–	<6	–	–	0,03	0,03	0,23... ...0,27	700	650	4	СВ-01Х13НЗД СВ-10Х11НВФ СВ-12Х13 СВ-06Х14 СВ-20Х13 та ін.
НФ-18М	AR	17... ...21	6... ...11	16... ...23	21... ...28	4... ...10	2...4,5	2...5	14...20	–	–	0,02	0,03	0,21... ...0,27	700	700	5	СВ-08ХГМТА СВ-10ХМТФ СВ-08ХНФА СВ-08ХН2М
АН-17М	AB	18... ...22	8... ...12	21... ...25	24... ...29	–	2...5 FeO	<3	14...18	–	–	0,05	0,05	0,2... ...0,27	750	450	2	СВ-10ГА СВ-08ГС СВ-08Г2С СВ-08ХН2ГМЮ СВ-08ХН2Г2СМЮ
AB-5M2	FB	12... ...15	–	35... ...40	19... ...22	3...5	<0,8	4...6 NaF	12...16	2,0...4,0	–	0,03	0,03	0,2... ...0,25	700	350	2	СВ-08ХГ2С СВ-10ХГ2СМА СВ-08Х3Г2СМ
AB-5	FB	15... ...20	–	35... ...45	19... ...23	–	<1,0	–	12...18	<3,5	–	0,05	0,05	0,18... ...0,23	700	350	2	СВ-18ХМА СВ-20ХСНВФА СВ-0ХНА СВ-ВЛ-10 та ін.
АН-15М	AB	6...10	2	16...20	36...40	<1 MnO	<0,8	2,0...6,0 NaF	29...33	–	–	0,05	0,07	0,10... ...0,15	700	900	1	СВ-18ХМА СВ-20ХСНВФА СВ-08ХМФ та ін.
ОФ-6	FB	3...6	≤3	50...60	20...24	–	<1,5	<0,3	16...20	–	–	0,05	0,05	0,05	800	900	1	СВ-07Х25Н13 СВ-08Х19Н10Г2Б СВ-04Х19Н11М3
ОФ-6М	FB	3	≤2	55	22	–	<0,8 FeO	–	17	–	–	0,05	0,05	0,05	800	950	5	СВ-10Х19Н23Г2М5ФАТ СВ-08Г35Ю6М2

Таблиця 28Д. Плавлені флюси для зносостійкого наплавлення сталей перлітно-феритного класу

Марка	Тип	Хімічний склад, %, не більше										HВ	A <sub>ф</sub>	I <sub>зв max</sub> , = (+), А	Сушіння		Рекомендовані дроти (стрічки)
		SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	CaF <sub>2</sub>	K <sub>2</sub> O + Na <sub>2</sub> O	MgO	MnO	FeO	S	P				°C	год	
АН-28	АВ	5... ...10	36... ...45	35... ...44	5... ...15	1...2	2	1,0	2	0,08 кож- ного	–	0,10	900	900	3	У25Х38 80Х4СГ У35Х7Г7С У35Х3Г6 та ін.	
ТКЗ-НЖ	АВ	1... ...3	34... ...38	20... ...25	33... ...43	–	1	0,5	1 Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,05 кож- ного	200	0,05	700	200	1	Св-04Х19Н9С2 Св-15Х18Н12С4ТЮ Св-15Х18Н12С4ТЮ-Ш	

Таблиця 29Д. Плавлено-керамічні флюси для зносостійкого наплавлення сталей перлітно-феритного класу

Марка	Тип	Склад шихти флюсу	HRC	A <sub>ф</sub>	I <sub>зв max</sub> , = (+), А	Сушіння		Рекомендовані дроти (стрічки)
						°C	год	
ПКНЛ-17	СS	(АН-26с – 75 %, FeSi75 – 10 %, FeTi30 – 5 %, FeMo60 – 10%) – шихта; натрієве рідке скло ≤ 25 % від маси сухої шихти	30	0,45... ...0,50	1000	450	2	Св-04Х19Н9С2
ПКНЛ-128	СS	(АН-26с – 79 %, FeSi75 – 8 %, FeCr30 – 8 %, FeTi30 – 5 %) – шихта; натрієве рідке скло ≤ 25 % від маси сухої шихти	30	0,45... ...0,50	1000	450	2	Св-15Х18Н12С4ТЮ Св-15Х18Н12С4ТЮ-Ш

Таблиця 30Д. Керамічні флюси для зносостійкого наплавлення сталей перлітно-феритного класу

Марка	Тип	Склад наплавленого металу, %									Твердість	A <sub>ф</sub>	I <sub>зв max</sub> , = (+), А	Сушіння,		Рекомендовані дроти (стрічки)
		Si	Mn	Cr	Ni	Mo	V	C	S	P				°C	год	
ФЦК-24	AB	5,0... ...6,20	0,5... ...1,5	15,0... ...17,5	7,5	–	–	0,20	0,03 кож-ного	HRC 30	0,3... ...0,35	1000	550	4	СВ-15Х18Н12С4ТЮ-Ш СВ-15Х18Н12С4ТЮ	
АНК-18	FB	0,20... ...0,50	1,3... ...1,5	3,0... ...3,5	–	–	–	0,30	–	НВ 400	0,2	900 (~ та- кож)	400	2	СВ-08А Нп-30ХГСА	
АНК-19	FB	0,30	0,8	4,5	–	–	–	0,60		НВ 50	0,25	1000	400	2	СВ-08А СВ-08	
АНК-40	FB	0,50... ...0,8	1,2... ...1,5	1,2... ...1,8	–	–	–	0,20	0,03 кож-ного	НВ 300	0,17... ...0,25	900 (~ та- кож)	400	2	СВ-08 СВ-08ГА	
ЖСН-1	FB	0,30... ...0,35	1,6... ...1,8	4,7... ...5,0	–	–	–	0,50... ...0,55		НВ 500	0,13... ...0,2	900	400	2	СВ-08 СВ-08А СВ-08ГА	
ЖСН-2	FB	0,30... ...0,35	0,9... ...1,4	2,0... ...2,2	–	–	–	0,30... ...0,35	0,03 кож-ного	–	0,14... ...0,21	800	400	2	СВ-08 СВ-08А СВ-08ГА	
ЖСН-4	FB	0,60	0,60	5,0	–	–	–	1,10	–	НВ 500	0,15... ...0,22	900	400	2	СВ-08 СВ-08А СВ-08ГА	
ЖСН-5	FB	0,65	0,32... ...0,68	6,2... ...6,7	–	0,8... ...0,9	0,35... ...0,41	0,18... ...0,26	0,03 кож-ного	–	0,15... ...0,22	800	400	2	СВ-08 СВ-08ГА Нп-30ХГСА СВ-12ГС	
ЖСН-6	FB	0,60	3,80	5,5	1,5 Cu	0,7	0,60	0,32		НВ 40	0,15... ...0,21	700	400	2	СВ-08 СВ-08А.	

Таблиця 31Д. Флюси для наплавлення аустенітно-феритними матеріалами

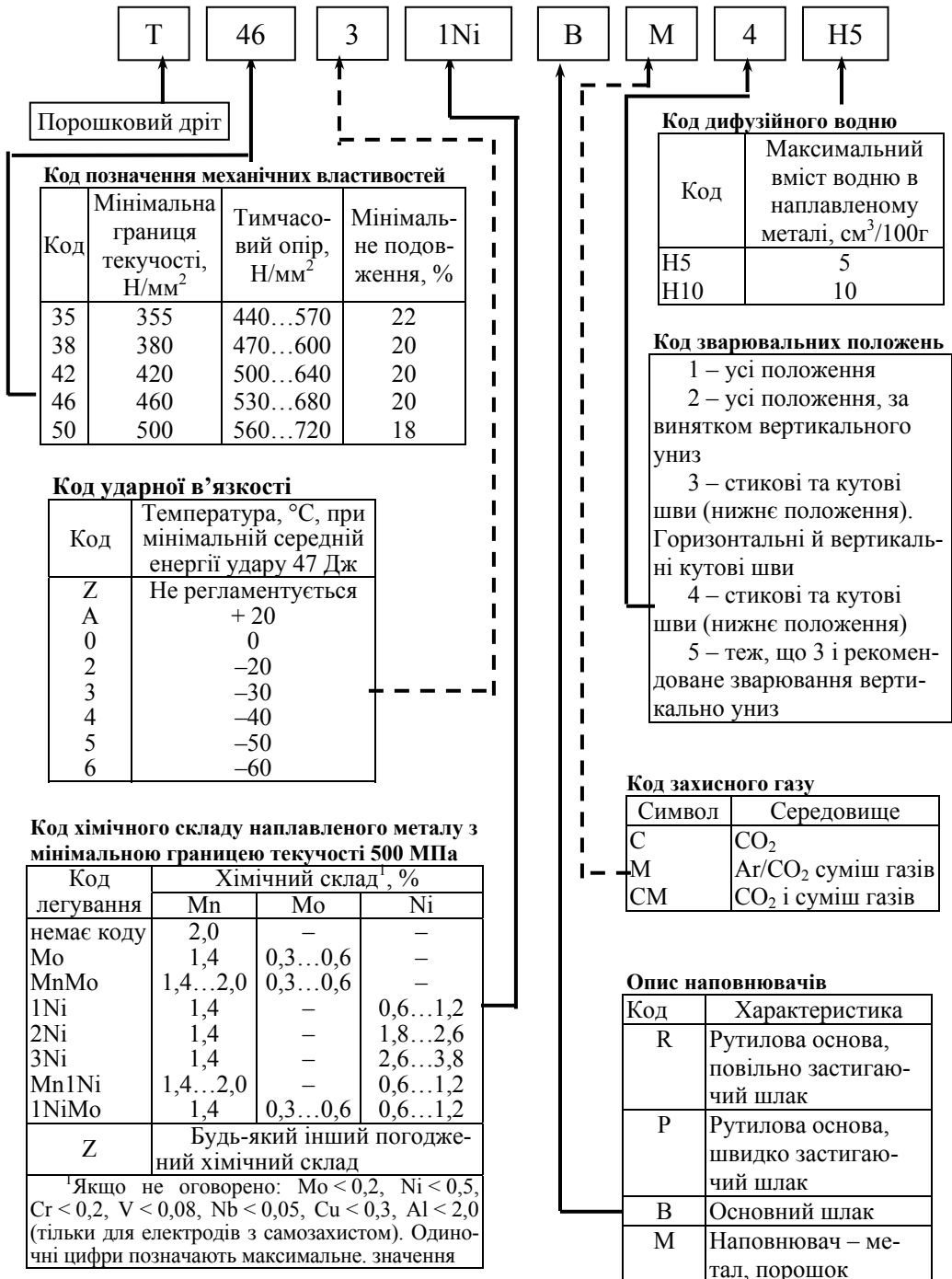
Марка	Тип	Хімічний склад, %, не більше									A <sub>ф</sub>	I <sub>зв max</sub> , = (+), А	Сушіння		Рекомендовані дроти (стрічки)
		SiO <sub>2</sub>	CaO	MgO	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaF <sub>2</sub>	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	S	P			°C	ГОД	
		ФЦ-18	FB	24...28	Σ 22...26		8...13	38...43	1,0...2,0	0,5					
АН-70	FB	8...10	25... ...35	–	25...35	25...35	1,0...3,0 NaF	0,5	0,040	0,010	0,10	1000	850	4	Св-04Х19Н10Г2Б Св-07Х25Н13 Св-04Х19Н11М3 Св-05Х20Н9Ф.
АН-72	FB	16...20	Σ 16...20		18...23 Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> + + TiO <sub>2</sub>	40...45	1,0...5,0 ZrO <sub>2</sub>	1,0	0,025 кожного		0,17... ...0,23	800	750	3	Св-30Х15Н35В3Б3Т Св-06Х15Н60М15 Св-08Н50
АН-90	FB	20...24	Σ 20...26		12...16 Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> + + TiO <sub>2</sub>	36...45	0,5...1,0 ZrO <sub>2</sub>	1,0	0,030 кожного		0,25... ...0,30	1200	800	3	Св-07Х25Н13 Св-04Х19Н10Г2Б Нп-03Х22Н11Г2Б Нп-04Х20Н10Г2Б
ОФ-10	FB	9...12	8	11...14	28...34	35...40	–	1,5	0,030 кожного		0,10... ...0,15	1200	950	5	Св-07Х25Н13 Св-04Х19Н10Г2Б
ФЦ-20	CS	29...35	8...16	24...28	6...14	3...7	9,0...15,0 TiO <sub>2</sub>	2,0	0,030	0,020	0,35... ...0,40	1200	650	3	Нп-03Х22Н11Г2Б Нп-04Х20Н10Г2Б

Таблиця 32Д. Флюси для електрошлакового зварювання сталей

Марка	Тип	Хімічний склад, %, не більше										A <sub>ф</sub>	I <sub>зв max</sub> , = (~), А	Су- шіння		Рекомендовані дроти (стрічки)
		SiO <sub>2</sub>	MnO	MgO	CaO	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaF <sub>2</sub>	K <sub>2</sub> O + + Na <sub>2</sub> O	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	S	P			°C	ГОД	
ФЦ-7	MS	45,0... ...48,0	23...26	16,0... ...18,0	3	3	4...6	0,60... ...0,80	1,5	0,10 кожного	0,75... ...0,82	600	275	2	СВ-08Г2 СВ-10Г2 СВ-10ГН СВ-10НМА	
АН-8	MS	33,0... ...36,0	21...26	5,0... ...7,5	4...7	11...15	13...19	–	1,5...3,5	0,150 кожного	0,58... ...0,65	600	400	2	СВ-08ГА СВ-10Г2 СВ-10НМА СВ-08Х2ГМЮ	
АН-25	AR	6,0... ...9,0	–	2,0... ...4,0	12...15	35...40 TiO <sub>2</sub>	33...40	–	1,0	0,050 кожного	0,25... ...0,30	800	400	2	СВ-08ГА СВ-08ГС СВ-10ГА СВ-10НМА	
АН-22	FB	18,0... ...21,5	7...9	11,5... ...15,0	12...15	19...23	20...24	1,0... ...2,0	1,0	0,050 кожного	0,20... ...0,26	800	400	2	СВ-08ГА СВ-10ГА СВ-10НМА	
ФЦ-21	FB	16,0... ...24,0	6...13	Σ 14...22		15...20	32...40	0,02 С	1,5	0,013 кожного	0,15... ...0,25	600	650	4	СВ-10ГН СВ-15ГСТЮЦА СВ-18ХГС СВ-13Х2МФТ	
АН-9	FB	15,0... ...20,0	6...10 (ZrO <sub>2</sub> + + TiO <sub>2</sub> )	Σ 30...35		10...15	25...30	–	0,3 С	0,030 кожного	0,14... ...0,20	800	625	3	СВ-10Х5М СВ-18ХГС, СВ-13Х2МФТ СВ-20ГСТЮА	
АНФ-14	FB	14,0... ...16,0	–	4,0... ...8,0	8	10...12	60...65	–	1	0,050 кожного	0,10... ...0,15	800	850	2	СВ-07Х25Н13 СВ-04Х19Н11М3 СВ-06Х20Н11М3ТБ СВ-01Х19Н18Г10АМ4	

## ДОВІДКОВИЙ ДОДАТОК

### Класифікація порошкового дроту для зварювання низьковуглецевих і низьколегованих сталей за EN-758



## Класифікація порошкового дроту для зварювання вуглецевих сталей за AWS 5.20



## Класифікація порошкового дроту для зварювання низьковуглецевих сталей за AWS 5.29<sup>1</sup>

### Хімічний склад

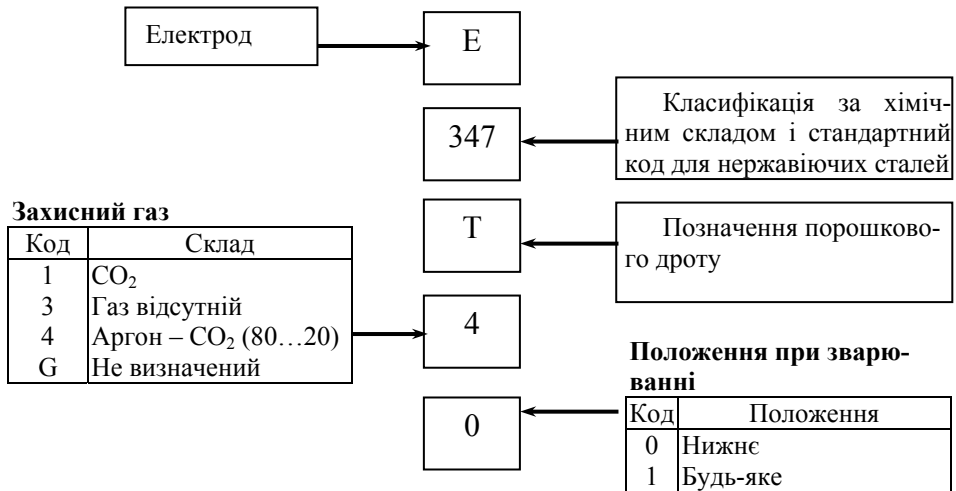
Символ	Склад, %
Ni1	0,80...1,10 Ni
Ni2	1,75...2,75 Ni
K3	1,25...2,60 Ni; 0,25...0,65 Mo
W	0,45...0,70 Ni; 0,45...0,70 Cr; 0,60...0,75 Cu
A1	0,40...0,54 Mo
B2	0,40...0,65 Mo; 1,00...1,50 Cr
B3	0,90...1,20 Mo; 2,00...2,50 Cr

Наприклад: E80T5-B2

<sup>1</sup>Класифікація AWS 5.29 є продовженням класифікації AWS 5.20 і додатково вводить шостий символ, що позначає хімічний склад наплавленого металу.



## Класифікація порошкового дроту для зварювання нержавіючої корозійностійкої сталі за AWS 5.22



# Класифікація покритих електродів відповідно до EN 499

Приклад позначення: O3C-24M, EN 499-E5063NiB22H10

## Код міцних і пластичних властивостей наплавленого металу

Код	Мінімальна границя текучості, Н/мм <sup>2</sup>	Тимчасовий опір, Н/мм <sup>2</sup>	Мінімальне відносне подовження, %
35	355	440...570	22
38	380	470...600	20
42	420	500...640	20
46	460	530...680	20
50	500	560...720	18

## Код ударної в'язкості

Код	Мінімальна середня енергія удару 47 Дж при температурі °С
Z	Не регламентується.
A	+ 20
0	0
2	-20
3	-30
4	-40
5	-50
6	-60

E 50 6 3Ni B 2 2 H10

## Позначення хімічного складу наплавленого металу

Позначення легуючих елементів	Хімічний склад, %		
	Mn	Mo	Ni
Без позначення	2,0	–	–
Mo	1,4	0,3...0,6	–
MnMo	Від 1,4 до 2,0	0,3...0,6	–
1Ni	1,4	–	0,6...1,2
2Ni	1,4	–	1,8...2...2,6
3Ni	1,4	–	Від 2,6 до 3,8
Mn1Ni	Від 1,4 до 2,0	–	0,6...1,2
1NiMo	1,4	0,3...0,6	0,6...1,2
Z	Будь-який інший склад		

*Примітки.* 1. Якщо не обговорено, то Mo < 0,2, Ni < 0,3, Cr < 0,2, V < 0,05, Nb < 0,05, Cu < 0,3. 2. Окремі значення в таблиці є максимальними. 3. Результати повинні бути округлені відповідно до встановлених значень за ISO 31-0, розділ B, пра-

## Тип покриття

A – кисле  
 C – целюлозне  
 R – рутилове  
 RR – товсте рутилове  
 RC – рутилоцелюлозне  
 RA – рутило-кисле  
 RB – рутило-основне  
 B – основне

## Продуктивність і рід струму

Код	Продуктивність, %	Рід струму
1	≤105	~, =
2		=
3	105...125	~, =
4		=
5	125...160	~, =
6		=
7	>160	~, =
8		=

*Примітка.* Щоб показати придатність застосування змінного струму, проводяться випробування при напрузі холостого ходу максимум 65 В.

## Код положення швів

1 – усі положення  
 2 – усі, крім вертикального зверху униз  
 3 – стиковий у нижньому положенні, кутовий у нижньому та горизонтальному  
 4 – стиковий та кутовий у нижньому положенні  
 5 – вертикальний зверху униз та по коду 3

## Код дифузійного водню

Код	Максимальний вміст водню в наплавленому металі, см <sup>3</sup> /100 г
H5	5
H10	10
H15	15

## Класифікація електродів для зварювання вуглецевих і низьколегованих конструкційних сталей відповідно до DIN 1913

Приклад позначення: ОЗС-6, DIN 1913-E4330RR1120

Позначення електрода	Тимчасовий опір, МПа	Границя текучості, МПа	Максимальне відносне подовження, %		
			0, 1	2	3, 4, 5
E43	430...550	≥330	20	22	24
E51	510...650	≥360	18	18	20

Перший індекс	Мінімальна температура, °С, при КСВ 28 Дж/см <sup>2</sup>	Другий індекс	Мінімальна температура, °С, при КСВ 47 Дж/см <sup>2</sup>
0	Не регламентується	0	Не регламентується
1	+20	1	+20
2	0	2	0
3	-20	3	-20
4	-30	4	-30
5	40	5	40

### Тип покриття

А – кисле  
 С – целюлозне  
 R – рутилове  
 RR – товсте рутилове  
 R(C) – рутилоцелюлозне  
 RR(C) – товсте рутилоцелюлозне  
 RA – рутилокісле  
 R(B) – рутилоосновне  
 RR(B) – товсте рутилоосновне  
 B – основне

E 43    3    0    RR    11    120

Індекс	Положення швів при зварюванні
1	Всі
2	Всі, крім вертикального зверху вниз
3	Нижні та горизонтальне на вертикальній площині
4	Нижні (стикові та валикові шви)

Н – вміст водню у наплавленому металі менше 15 см<sup>3</sup>/100 г

Індекс	Полярність постійного струму	$U_{xx}$ трансформатора, В
0	Зворотна (+)	–
1	Будь-яка (+/-)	50
2	Пряма (-)	50
3	Зворотна (+)	50
4	Будь-яка (+/-)	70
5	Пряма (-)	70
6	Зворотна (+)	70
7	Будь-яка (+/-)	90
8	Пряма (-)	90
9	Зворотна (+)	90

### Продуктивність (перехід металу до шва), %

Індекс	K, %
120	115...125
130	125...135
140	135...145
150	145...155
160	155...165
170	165...175
180	175...185
190	185...195
200	195...205

## Класифікація електродів для зварювання вуглецевих і низьколегованих конструкційних сталей відповідно до AWS A.1

Позначення електрода	Тимчасовий опір, МПа	Границя текучості, МПа	Відносне подовження, %
	Не менше		
E60	435	350	22
E70	506	421	22
E80	562	471	19
E90	632	541	17
E100	703	611	16
E110	773	682	15

Перший індекс – положення зварювання	Вид покриття, рід струму, полярність і т. п.
10	Целюлозне, постійний (+), шлак тонкий, крихкий. Забезпечує глибоке проплавлення
11	Подібні 10. Змінний, постійний (+)
12	Рутилове. Змінний, постійний (-)
13	Подібні 12. Забезпечує можливість зварювання при низькому напруженні холостого ходу
14	Подібні 13, покриття містить залізний порошок
15	Основне. Постійний (+).
16	Подібні 15. Змінний, постійний (+)
18	Подібні 16, покриття містить залізний порошок
20	Кисле, містить велику кількість окислів заліза. Змінний, постійний. Шлак крихкий, пористий, легко відокремлюється
24	Рутилове, містить залізного порошку більше, ніж у електродах 14
27	Кисле, змінний, постійний (-)
28	Основне, продуктивність вища ніж електродів 18. Змінний, постійний (+)

E 70    18    -1    H<sub>4</sub>    R

Індекс	Положення швів при зварюванні
1	Усі
2	Нижнє та вертикальне
4	Особливо добре зверху донизу

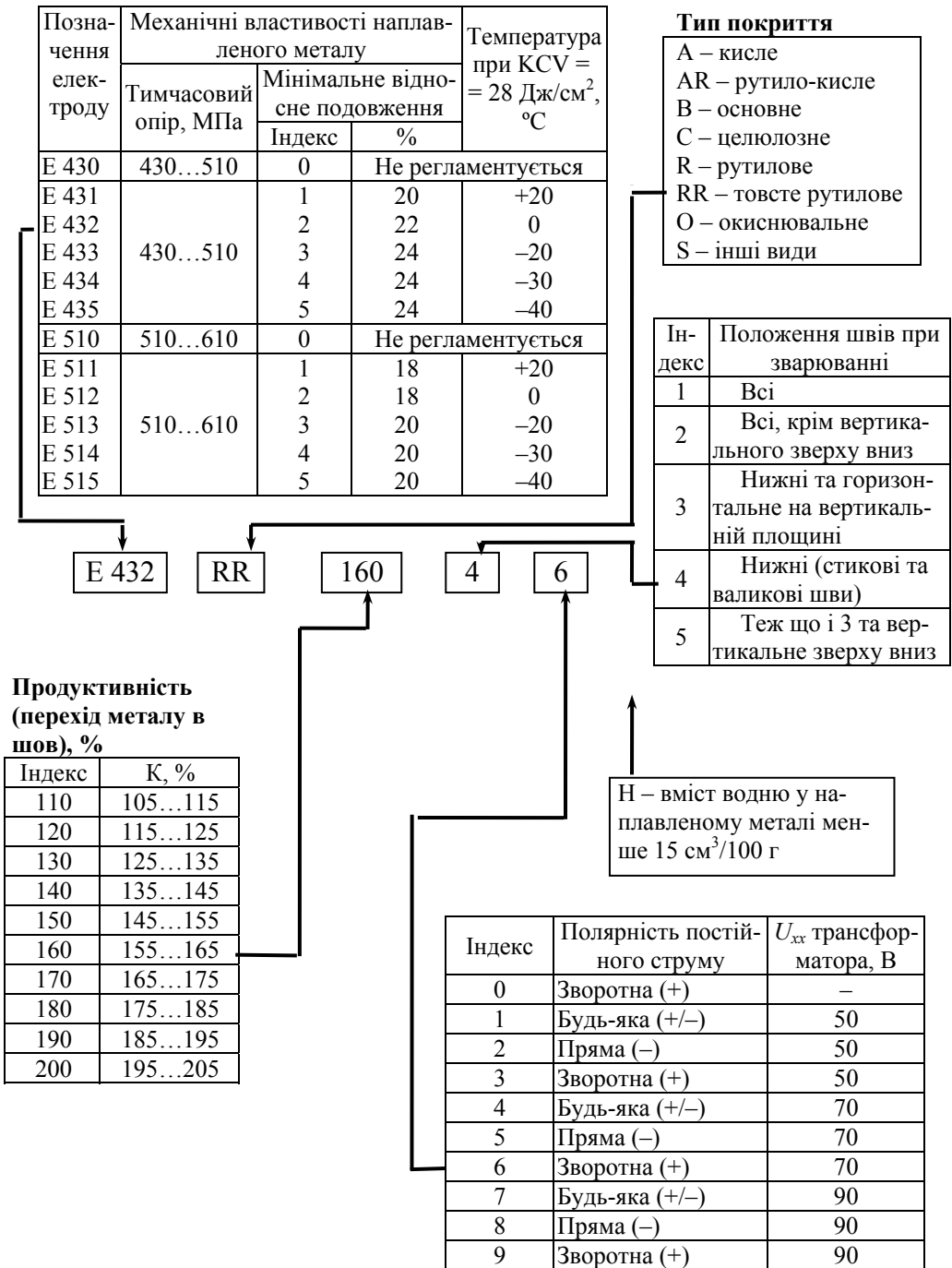
Тип	Вимоги до ударної в'язкості при KCV
E7016-1	27 Дж при -46°C
E7018-1	27 Дж при -46°C
E7024-1	27 Дж при -18°C

Вміст водню в наплавленому металі	
H <sub>4</sub>	≤4 см <sup>3</sup> /100 г
H <sub>8</sub>	≤8 см <sup>3</sup> /100 г
H <sub>16</sub>	≤16 см <sup>3</sup> /100 г

R – показник вологостійкості покриття (випробуваний електрод має вологість не більше 0,3 % після 9 год у приміщенні з температурою 26,7 °C і при вологості 80 %)

## Класифікація електродів для зварювання вуглецевих і низьколегованих конструкційних сталей відповідно до ISO 2560

Приклад позначення: O3C-3, ISO-432RR16046



## Класифікація електродів для наплавлення вуглецевих і низьколегованих конструкційних сталей відповідно до DIN 8555

Приклад позначення: O3H-7M, DIN-E2UM55GP

### Група сплавів

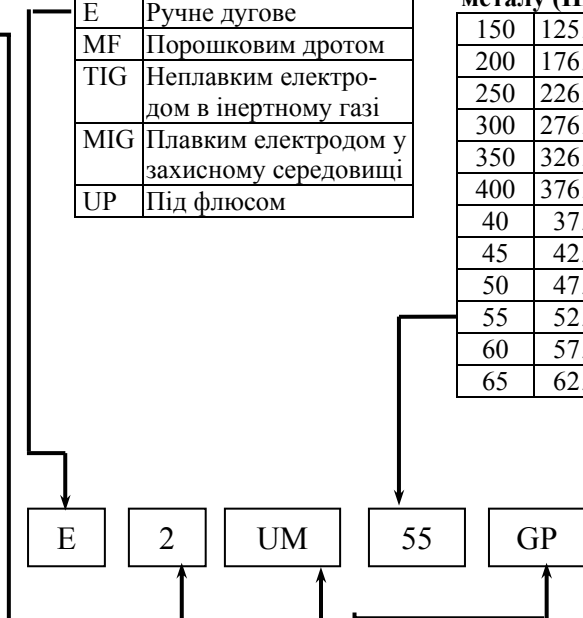
1. Сплав з $C \leq 0,4\%$ або з $C \leq 0,4\%$ та $\Sigma Cr, Mn, Mo, Ni \leq 5\%$
2. Сплав з $C > 0,4\%$ або з $C > 0,4\%$ та $\Sigma Cr, Mn, Mo, Ni \leq 5\%$
3. Легований для роботи при високих температурах
4. Легований для наплавлення ріжучок інструменту
5. Легований $Cr \geq 5\%$ з низьким вмістом вуглецю до $0,2\%$
6. Легований $Cr \geq 5\%$ з підвищеним вмістом вуглецю ( $0,2\% \leq C \leq 2\%$ )
7. Мангановий аустеніт $Mn = 11...18\%$ , $C \geq 0,5\%$ , $Ni \geq 3\%$
8. Cr-Ni-Mn – аустенітні сплави
9. Cr-Ni сталі (стійкі до іржі, кислот та підвищених температур)
10. Високовуглецевий високохромистий сплав без карбідоутворюючих елементів
20. Сплав на основі Co, легований Cr та W з або без добавок Ni та Mo
21. Сплави на основі карбідів
22. Сплави на основі Ni з добавками Cr або Cr-B
23. Сплави на основі Ni з добавками Mo або Cr (або без Cr)
30. Сплави на основі Cu з добавками Sn
31. Сплави на основі Cu з добавками Al
32. Сплави на основі Cu з добавками Ni

### Спосіб зварювання

G	Газове
E	Ручне дугове
MF	Порошковим дротом
TIG	Неплавким електродом у інертному газі
MIG	Плавким електродом у захисному середовищі
UP	Під флюсом

### Твердість наплавленого металу (HB)

150	125...175
200	176...225
250	226...275
300	276...325
350	326...375
400	376...425
40	37...42
45	42...47
50	47...52
55	52...57
60	57...62
65	62...67



### Метод виготовлення

GW	Прокатування
GO	Лиття
GZ	Волочіння
GS	Спікання
GF	Порошковий дріт
UM	Покриті електроди

### Властивості наплавленого металу

C	Корозійностійкий
G	Стійкий до абразивного зносу
K	Зміцнюваний при експлуатації
N	Не магнітний
P	Стійкий до ударних навантажень
R	Стійкий до іржі
S	З високими ріжучими властивостями
T	З високотемпературною міцністю та для ріжучого інструменту
Z	Жаростійкий

## Класифікація електродів для зварювання легованих теплотривких сталей відповідно до ISO 3580

Приклад позначення: ЦЛ-17, ISO-E5CrMoVB20

Символ	Вміст елементів, %					
	C <sup>1</sup>	Si	Mn	Cr	Mo	Інші елементи
	Не більше					
Mo	0,12	0,8	1,5	—	0,4...0,7	—
05CrMo				0,3...0,8	—	
05CrMoV				0,3...0,6	0,8...1,2	V 0,25...0,60
1CrMo				0,8...1,5	—	
1CrMoV				0,9...1,3	0,4...0,7	V 0,10...0,35
2CrMo		2,0...2,6		0,9...1,3	—	
5CrMo		4,0...6,0		0,4...0,7	—	
5CrMoV		0,9		—	V 0,10...0,35	
9CrMo		8,0...10,0		0,9...1,2	—	
12CrMoV		0,8		11,0...13,0	0,8...1,2	V 0,2...0,4 W 0,4...0,6

<sup>1</sup>При вмісті вуглецю в наплавленому металі не більше 0,05 % до символу додається індекс L.

### Тип покриття

A – кисле  
AR – рутило-кисле  
B – основне  
C – целюлозне  
O – окиснювальне  
R – рутилове  
RR – товсте рутилове  
S – інші типи

E    5CrMoV    B    2    0

### Код положення швів

1 – всі положення  
2 – всі, крім вертикального зверху вниз  
3 – нижнє, горизонтальне і вертикальне  
4 – нижнє (стиківий та валикові шви)  
5 – вертикальний зверху вниз та по коду 3

Індекс	Полярність постійного струму	$U_{xx}$ трансформатора, В
0	Зворотна (+)	—
1	Будь-яка (+/-)	50
2	Пряма (-)	
3	Зворотна (+)	
4	Будь-яка (+/-)	70
5	Пряма (-)	
6	Зворотна (+)	
7	Будь-яка (+/-)	90
8	Пряма (-)	
9	Зворотна (+)	

## Класифікація електродів для зварювання високолегованих сталей відповідно до ISO 3581

Приклад позначення: ЦТ-15, ISO–E19.9NbB20

Символ коду	Вміст елементів, %				
	C, не більше	Cr	Ni	Mo	Інші елементи
13	0,12	11,0...14,0	–	–	–
13.1	0,07	12,0...15,0	0,8...1,5	–	–
13.4	0,07	12,0...15,0	3,0...5,0	До 1,0	–
17	0,10	15,0...18,0	–	–	–
17.0.1	0,25	15,0...18,0	–	1,0...1,5	–
19.9	0,08	18,0...21,0	8,0...11,0	–	–
19.9L	0,04	18,0...21,0	8,0...11,0	–	–
19.9.Nb	0,08	18,0...21,0	8,0...11,0	–	Nb (8×C...1,2)
19.9.LNb	0,04	18,0...21,0	8,0...11,0	–	Nb (8×C...1,2)
16.8.2	0,10	14,5...16,5	7,5...9,5	1,0...2,0	–
16.25.6	0,12	14,0...17,0	23,0...25,0	5,0...7,0	–
17.8.2	0,10	16,5...18,5	8,0...9,5	1,5...2,5	–
18.8Mn	0,20	17,0...20,0	7,0...10,0	–	Mn 5,0...8,0
18.15.3L	0,04	16,5...19,5	13,0...16,0	2,5...3,5	–
19.12.2	0,08	17,0...20,0	11,0...14,0	2,0...2,5	–
19.12.2L	0,04	17,0...20,0	11,0...14,0	2,0...2,5	–
19.12.2Nb	0,08	17,0...20,0	11,0...14,0	2,0...2,5	Nb (8×C...1,2)
19.12.3	0,08	17,0...20,0	10,0...14,0	2,5...3,5	–
19.12.3L	0,04	17,0...20,0	10,0...14,0	2,5...3,5	–
19.12.3Nb	0,08	17,0...20,0	10,0...14,0	2,5...3,5	Nb (8×C...1,2)
19.13.4	0,08	17,0...21,0	11,0...15,0	3,5...5,5	–
19.13.4L	0,04	17,0...21,0	11,0...15,0	3,5...5,5	–
19.13.4Nb	0,08	17,0...21,0	11,0...15,0	3,5...5,5	Nb (8×C...1,2)
20.9.Nb	0,13	18,0...21,0	8,0...10,0	0,35...0,65	Nb (8×C...1,2)
20.9.3	0,10	18,5...21,0	8,0...10,0	2,0...4,0	–
22.12	0,15	20,0...23,0	10,0...13,0	–	–
23.12	0,15	22,0...26,0	11,0...15,0	–	–
23.12.L	0,04	22,0...26,0	11,0...15,0	–	–
23.12.Nb	0,12	22,0...25,0	11,0...15,0	–	–
23.12W	0,20	22,0...25,0	11,0...15,0	–	W 2,0...4,0
23.12.2	0,12	22,0...25,0	11,0...15,0	2,0...3,0	–
25.20	0,20	24,0...28,0	18,0...22,0	–	–
25.20L	0,04	24,0...28,0	18,0...22,0	–	–
25.20Nb	0,12	24,0...28,0	18,0...22,0	–	Nb (8×C...1,2)
25.20.2	0,12	25,0...28,0	20,0...22,0	2,0...3,0	–
25.25.2Nb	0,10	24,0...27,0	24,0...26,0	2,0...3,0	Nb (8×C...1,2)
25.4	0,15	24,0...27,0	4,0...6,0	–	–
29.9	0,15	28,0...32,0	8,0...12,0	–	–
18.36	0,25	14,0...19,0	33,0...38,0	–	–
17.12Si	0,15	17,0...19,0	11,0...13,0	–	Si 3,8...4,8
24.14Si	0,12	22,0...25,0	13,0...15,0	–	Si 1,5...2,2

### Тип покриття

A – кисле  
AR – рутило-кисле  
B – основне  
C – целюлозне  
O – окиснювальне  
R – рутилове  
RR – товсте рутилове  
S – інші типи

E 19.9Nb B 2 0

### Код положення швів

1 – всі положення  
2 – всі, крім вертикального зверху вниз  
3 – нижнє, горизонтальне і вертикальне  
4 – нижнє (стиківий та валикові шви)  
5 – вертикальний зверху вниз та по коду 3

Ін-декс	Полярність постійного струму	$U_{xx}$ , В
0	Зворотна (+)	–
1	Будь-яка (+/-)	50
2	Пряма (-)	50
3	Зворотна (+)	50
4	Будь-яка (+/-)	70
5	Пряма (-)	70
6	Зворотна (+)	70
7	Будь-яка (+/-)	90
8	Пряма (-)	90
9	Зворотна (+)	90



## ЗМІСТ

ВСТУП .....	3
Розділ 1. ЗВАРЮВАЛЬНІ МАТЕРІАЛИ В СУДНОБУДУВАННІ .....	5
1.1. Суднобудівні сталі .....	5
1.2. Зварювальні матеріали для суднобудівних сталей .....	11
1.3. Вибір зварювальних матеріалів для суднобудівних сталей .....	13
Розділ 2. ЕЛЕКТРОДИ ДЛЯ ЗВАРЮВАННЯ, НАПЛАВЛЕННЯ ТА РІЗАННЯ .....	18
2.1. Класифікація зварюваності сталей .....	18
2.2. Класифікація покритих металевих електродів .....	21
2.3. Загальні принципи вибору та використання електродів .....	29
2.4. Електроди для зварювання вуглецевих і низьколегованих конструкційних сталей .....	39
2.5. Електроди для зварювання легованих конструкційних сталей підвищеної та високої міцності .....	41
2.6. Електроди для зварювання теплотривких сталей .....	43
2.7. Електроди для зварювання високолегованих сталей і сплавів .....	44
2.8. Електроди для зварювання спеціальних сталей .....	46
2.9. Електроди для зварювання різнорідних сталей і сплавів .....	47
2.10. Електроди для ручного дугового наплавлення .....	48
2.11. Електроди для зварювання та наплавлення чавуну .....	50
2.12. Електроди для зварювання кольорових металів .....	51
2.13. Електроди для різання металу .....	54
2.14. Неплавкі електроди .....	55
Розділ 3. ДРОТИ ДЛЯ ЗВАРЮВАННЯ ТА НАПЛАВЛЕННЯ .....	57
3.1. Зварювальний сталевий дріт .....	57
3.2. Наплавний сталевий дріт .....	64
3.3. Дріт для зварювання алюмінію та його сплавів .....	66
3.4. Дріт для зварювання міді та її сплавів .....	68

3.5. Дріт для зварювання титану та його сплавів .....	70
3.6. Чавунні прутки для зварювання і наплавлення .....	72
3.7. Порошковий дріт .....	72
Розділ 4. ФЛЮСИ ДЛЯ ЗВАРЮВАННЯ І НАПЛАВЛЕННЯ .....	83
4.1. Класифікація зварювальних флюсів .....	84
4.2. Особливості виготовлення флюсів .....	92
4.3. Технологічні та металургійні особливості використання флюсів.....	97
4.4. Флюси для зварювання низьковуглецевих сталей .....	104
4.5. Флюси для зварювання низьколегованих сталей .....	108
4.6. Флюси для зварювання середньо- та високолегованих сталей..	109
4.7. Флюси для зварювання кольорових металів і сплавів .....	110
4.8. Флюси для наплавлення електродним дротом і стрічкою.....	121
4.9. Флюси для електрошлакового зварювання сталей, кольорових металів і сплавів .....	125
Розділ 5. ЗАХИСНІ ТА ГОРЮЧІ ГАЗИ Й ГАЗОВІ СУМІШІ .....	125
5.1. Захисні газы, їх властивості та способи одержання .....	128
5.2. Класифікація захисних газів і сумішей .....	139
5.3. Особливості використання захисних газів при зварюванні .....	144
5.4. Горючі газы, їх властивості та способи одержання.....	149
5.5. Плазмоутворюючі властивості захисних та горючих газів .....	158
5.6. Збереження газів .....	163
Список літератури .....	166
Додаток .....	169
Довідковий Додаток .....	214



КОСТІН Олександр Михайлович  
ЗВАРЮВАЛЬНІ МАТЕРІАЛИ

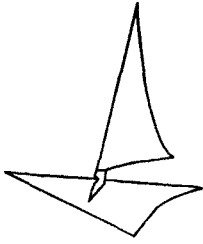
*Навчальний посібник*

Видавництво НУК, 54002, м. Миколаїв, вул. Скороходова, 5  
Свідоцтво про внесення суб'єкта видавничої справи до Державного  
реєстру видавців, виготівників і розповсюджувачів видавничої  
продукції ДК № 1150 від 12.12.2002 р.

Редактор Нестеровська О.В.  
Комп'ютерна правка Волкодаєва О.В.  
Верстка Волкодаєв А.Ю.  
Оформлення обкладенки Мартиненко В.О.  
Коректор Шайкіна Н.О.

---

Підписано до друку 27.12.04. Формат 70×100/16. Папір офсетний.  
Умов. друк. арк. 18,1. Обл.-вид. арк. 14,1. Тираж 200 прим. Зам. № 495.



**ВИДАВНИЦТВО НАЦІОНАЛЬНОГО  
УНІВЕРСИТЕТУ КОРАБЛЕБУДУВАННЯ  
імені адмірала Макарова**

---

***Шановні панове!***

Запрошуємо Вас ознайомитись з можливостями книжкового видавництва, висококваліфіковані спеціалісти якого забезпечать оперативне та якісне виконання замовлення будь-якого рівня складності.

Наш головний принцип – задовольнити потреби замовника в повному комплексі поліграфічних послуг, починаючи з розробки та підготовки оригіналу-макета, що виконується на базі ІВМ РС, і закінчуючи друком на офсетних машинах.

Крім цього, ми маємо повний комплекс післядрукарського обладнання, що дає можливість виконувати:

- ✓ аркушепідбір;
- ✓ брошурування на скобу, клей;
- ✓ порізку на гільйотинах;
- ✓ ламінування.

Видавництво також оснащено сучасним цифровим дублюкатором фірми "Duplo" формату А3, що дає можливість тиражувати зі швидкістю до 130 копій за хвилину.

Для постійних клієнтів – гнучка система знижок.

Отже, якщо вам потрібно надрукувати *підручники, книги, брошури, журнали, каталоги, рекламні листівки, прайс-листи, бланки, візитні картки*, – ми до Ваших послуг.

---

© Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова

✉ Україна, 54002, м. Миколаїв, вул. Скороходова, 5, видавництво НУК

☎ 8(0512) 47-83-86; 39-81-42, 39-73-39, fax 8(0512) 42-46-52;

E-mail: publishing@usmtu.edu.ua