

Міністерство освіти і науки України

Національний університет водного господарства  
та природокористування

Кафедра автомобілів та автомобільного господарства



**02-03-145M**

## **МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ**

до виконання практичних робіт  
з навчальної дисципліни  
«Технологія конструкційних матеріалів та матеріалознавство»  
для здобувачів вищої освіти першого бакалавратського рівня  
за освітньо-професійною програмою «Агроінженерія»  
спеціальності 208 «Агроінженерія»  
денної та заочної форм навчання

Рекомендовано науково-  
методичною  
радою з якості ННМІ  
Протокол № 2 від 2 жовтня 2024 р.

Рівне – 2024

Методичні вказівки до виконання практичних робіт з навчальної дисципліни «Технологія конструкційних матеріалів та матеріалознавство» для здобувачів вищої освіти першого (бакалавратського) рівня за освітньо-професійною програмою «Агроінженерія» спеціальності 208 «Агроінженерія» денної та заочної форм навчання. [Електронне видання] / Пахаренко В. Л. – Рівне : НУВГП, 2024. – 72 с.

Укладач:

*Пахаренко Володимир Леопольдович*, доцент кафедри автомобілів та автомобільного господарства, к.т.н.

Відповідальний за випуск: Налобіна О. О., доктор технічних наук, професор, завідувачка кафедри агроінженерії.

Керівник групи забезпечення спеціальності

Бундза Олег Зіновійович, кандидат технічних наук, доцент кафедри агроінженерії.

Попередня версія 12-01-04

© В. Л. Пахаренко, 2024

© НУВГП, 2024

## З М І С Т

Передмова.....	4
Практична робота №1 Методи визначення механічних властивостей металів .....	5
Практична робота №2 Ручне електродугове зварювання.....	15
Практична робота №3 Вольт-амперна характеристика (ВАХ) дуги при ручному дуговому зварюванні.....	29
Практична робота №4 Автоматичне зварювання під флюсом	33
Практична робота №5 Газове зварювання.....	38
Практична робота №6 Газокисневе різання металу.....	54
Практична робота №7 Визначення впливу параметрів режиму точкового контактного зварювання на міцність точки.....	61
Використана література .....	72

## Передмова

Високу точність виготовлення деталей машин та механізмів забезпечує лише обробка різанням. Вона дозволяє із заготовки, яка відрізняється за формою і розмірами від деталі, отримувати деталь потрібної точності. Розширення масштабів виробництва дозволяє одночасно займатись практичними і теоретичними питаннями обробки різанням. Російський механік А.К.Нартов створив прототип токарного верстата з самохідним супортом. Я.Батищев, Л.Собакин і П.Захава сконструювали багатошпindelні свердлильні і хонінгувальні верстати. Великий вклад у розвиток теоретичних питань обробки різанням внесли вчені І.Л.Тіме, К.А.Зворикін і Я.Г.Ісачов, які запропонували модель стружкоутворення, обґрунтували її розрахунками і визначили сили різання. А.В.Годолін теоретично обґрунтував принцип використання геометричного ряду частот обертання в ступінчатих приводах головного руху верстатів.

Зварювання є одним з основних технологічних процесів в машинобудуванні, що дало змогу внести докорінні зміни в технологію виробництва, створити принципово нові конструкції машин. Російський вчений В.В.Петров у 1802 р. вперше виготовив “вольтів стовп”. Ця батарея була найпотужнішим джерелом електричного струму на той час. Практично застосував електричну дугу М.М.Бенардос у 1881р. між вугільним електродом і металом для зварювання. Майже одночасно з М.М.Бенардосом працював видатний винахідник М.Г.Слав’янов, який розробив спосіб дугового зварювання металевим електродом із захистом зварювальної зони шаром порошкоподібної речовини (флюсу). На сучасному етапі розвитку зварювального виробництва виріс діапазон зварювальних товщин, матеріалів, видів зварювання. Нині зварюють матеріали завтовшки від кількох мікрометрів (у мікроелектроніці) до кількох метрів (у важкому машинобудуванні). Поряд з традиційними конструкційними сталями зварюють спеціальні сталі та сплави на основі титану, цирконію, молібдену, ніобію та інших матеріалів, а також різномірні матеріали. Зварювання виконують в умовах високих температур, радіації, під водою, в глибокому вакуумі, в умовах невагомості. Розвиваються нові види зварювання—лазерне, електронно—променеве, іонне, світлове, дифузійне, ультразвукове, електромагнітне, вибухове.

## ПРАКТИЧНА РОБОТА №1.

## ***Методи визначення механічних властивостей металів***

Мета роботи: вивчити механічні властивості металів і сплавів та методи їх визначення, визначити основні параметри механічних властивостей металів за результатами статичних випробувань на розтяг і кручення.

### ***Загальні відомості***

Механічні властивості металів характеризують їх поведінку під дією зовнішніх навантажень. Вони визначаються експериментально з використанням стандартних методик і, у більшості випадків, стандартних зразків. В залежності від умов навантаження механічні властивості можуть визначатися при:

- **статичному навантажуванні**, коли навантаження збільшується повільно та плавно;
- **динамічному навантажуванні**, коли навантаження збільшується з великою швидкістю має ударний характер;
- **повторно-змінному чи циклічному навантажуванні**, коли навантаження в процесі випробування багаторазово змінюється за величиною та напрямком.

До основних властивостей металів належать міцність, пластичність, твердість, в'язкість і витривалість.

**Міцність** - це властивість матеріалу протистояти пластичній деформації та руйнуванню під дією навантажень. Однією з ключових характеристик міцності є границя міцності, яку визначають шляхом руйнування зразків під час статичних випробувань на спеціальних розривних машинах. Найпоширенішим є випробування на розтяг, рідше застосовують випробування на стиск, згин або закручування. Тестування на розтяг (відповідно до ДСТУ ISO 6892-1:2019) виконують на стандартних зразках з круглим або прямокутним перерізом. При розтязі зразок деформується під дією навантаження, яке плавно зростає до моменту його розривання. Під час випробування зразка знімають діаграму розтягу (рис. 1.1 а), яка

фіксує залежність між силою  $P$ , що діє на зразок, і викликаною нею деформацією  $\Delta l$  ( $\Delta l$  - абсолютне видовження).

Прямолінійна ділянка діаграми відповідає пружній деформації зразка, яка зникає під час зняття сили  $P$ . Зростання сили до  $P_T$  спричиняє появу пластичних деформацій. Це виразно проявляється на горизонтальній ділянці діаграми, в межах якої деформація істотно збільшується без помітного зростання сили розтягу. За числовим значенням сили  $P_T$ , що відповідає горизонтальній ділянці діаграми, розраховують фізичну границю текучості матеріалу  $\sigma_m$ , як відношення сили  $P_T$ , при якій зразок деформується без помітного зростання сили, до початкової площі поперечного перетину  $F_0$  зразка:

$$\sigma_m = \frac{P_m}{F_0}, \quad (1.1)$$

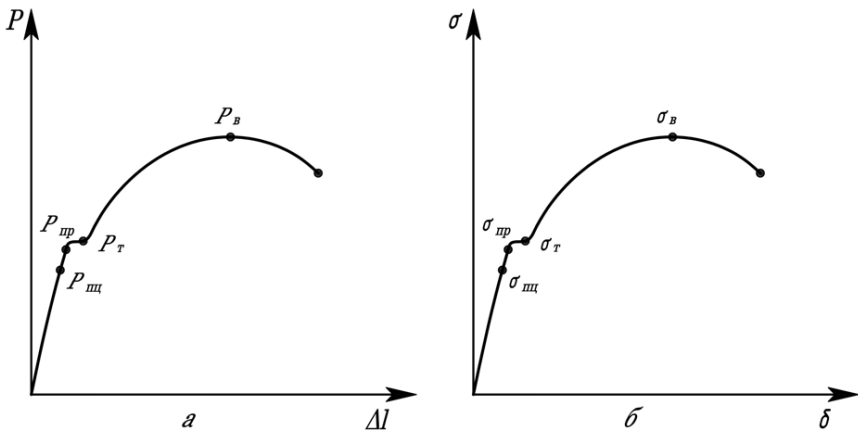


Рис. 1.1 Діаграма розтягу низьковуглецевої сталі (а) і залежність між напруженням і відносним видовженням (б)

на прямолінійній ділянці виділяють:

$\sigma_{\text{пц}}$  – границю пропорційності, МН/м<sup>2</sup> (кг/мм<sup>2</sup>):

$$\sigma_{\text{пц}} = \frac{P_{\text{пц}}}{F_0}, \quad (1.2)$$

де  $P_{\text{пц}}$  – навантаження, що відповідає границі пропорційності;

$\sigma_{\text{пр}}$  – границю пружності, МН/м<sup>2</sup> (кг/мм<sup>2</sup>):

$$\sigma_{\text{пр}} = \frac{P_{\text{пр}}}{F_0}, \quad (1.3)$$

де  $P_{\text{пр}}$  – навантаження, що відповідає границі пружності (при  $\sigma_{\text{пр}}$  залишкова деформація відповідає 0,05-0,005% початкової довжини);

Подальше збільшення сили  $P$  призводить до росту пластичної деформації рівномірної по робочій довжині зразка. В точці  $P_B$ , що відповідає силі  $P_{\text{max}}$  починається локалізація пластичної деформації в найслабшому місці зразка. Це призводить до утворення шийки і подальшому руйнуванню зразка.  $\sigma_B$  – границю міцності, МН/м<sup>2</sup> (кг/мм<sup>2</sup>):

$$\sigma_B = \frac{P_B}{F_0}, \quad (1.4)$$

де  $P_B$  – найбільше навантаження;  $F_0$  – початкова площа перерізу зразка;

**Пластичність** – здатність твердих тіл необернено деформуватися під дією зовнішніх сил. Пластичність характеризується величинами відносного видовження і відносного звуження.

Відносне видовження після розриву  $\delta$  – це відношення залишкового видовження зразка після руйнування  $\Delta l_{\text{зал}} = l_1 - l_0$

$$\delta = \frac{l_1 - l_0}{l_0} \cdot 100\% \quad (1.5)$$

де  $l_0$  – довжина зразка до розривання, м;  $l_1$  – довжина зразка після розривання м;

Відносне звуження зразка після розриву  $\Psi$  називають відношення зменшення площі поперечношо перерізу  $F_0 - F_1$  зразка після руйнування до початкової площі поперечного перерізу зразка  $F_0$ , виражене у відсотках

$$\Psi = \frac{F_0 - F_1}{F_0}, \quad (1.6)$$

де  $F_0$  – площа перерізу до розривання,  $\text{м}^2$ ;  $F_1$  – площа перерізу після розривання,  $\text{м}^2$ .

Відносне звуження точніше відбиває пластичні властивості металу, ніж відносне видовження.

**Твердість** — це здатність металу протистояти проникненню в нього іншого, більш твердого матеріалу. Випробування на твердість здійснюються за простою методикою, яка не потребує спеціальних зразків. Зазвичай під час тестування в матеріал вдавлюється індентор, виготовлений із твердих матеріалів, таких як загартована сталь, алмаз або твердий сплав. Величину твердості визначають за глибиною проникнення індентора (методи Роквелла: HRC, HRB, HRA) або за площею відбитка, що залишається після вдавлювання (методи Брінелля – HB, Віккерса – HV, або мікротвердість – H). У всіх цих методах вдавлювання індентора викликає пластичну деформацію матеріалу. Чим вищий опір матеріалу до пластичної деформації, тим менше заглиблення створює індентор, і тим вища твердість.

**Пружність** - це властивість матеріалу відновлювати попередню форму і розміри після припинення дії сили, яка викликала деформацію.

до пружних параметрів відносяться:

*модуль пружності* при розтягуванні (стисканні), або модуль Юнга I роду

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon} = \frac{P \cdot l_0}{\Delta l \cdot F_0}, \text{ Па} \quad (1.7)$$



коефіцієнт Пуассона  $\mu$

$$\mu = \left| \frac{\varepsilon'}{\varepsilon} \right|, \quad 0 < \mu < 0,5 \quad (1.8)$$

де  $\varepsilon'$  - поперечна відносна деформація

модуль зсуву, або модуль Юнга II роду, який визначається при випробуваннях зразків на кручення

$$G = \frac{M \cdot l_0}{\varphi \cdot I_p}, \text{ Па} \quad (1.9)$$

де  $M$  – величина крутного моменту, Н·м,  $\varphi$  – кут повороту перерізу під дією моменту  $M$ ,

$I_p$  - полярний момент інерції поперечного перерізу зразка.

$$I_p = \frac{\pi \cdot d^4}{32} \approx 0.1d^4, \text{ м}^4 \quad (1.10)$$

**В'язкість** - це властивість металу накопичувати енергію зовнішніх сил шляхом пластичної деформації. Для визначення в'язкості проводять випробування при динамічному навантаженні. Основним методом є випробування на згин спеціальних зразків із надрізом, яке здійснюється на маятникових копрах. Цей метод дозволяє визначити кількість роботи, витраченої на руйнування зразка (рис. 1.2). За довжиною маятника  $l$ , куту підйому маятника  $\alpha$ , куту відхилення маятника після руйнування зразка  $\beta$  та масою маятника  $m$  можна визначити роботу  $A$ , яку витрачають на руйнування зразка :

$$A = mgl(\cos \beta - \cos \alpha), \quad (1.11)$$

де  $g$  – прискорення земного тяжіння, м/с<sup>2</sup>.

Під ударною в'язкістю розуміють роботу удару, що витрачається на руйнування зразка, віднесена до початкової площі поперечного перерізу зразка в місці, де є концентратор напружень:

$$KC = A/S \quad (1.12)$$

де  $KC$  – ударна в'язкість, Дж/м<sup>2</sup>;  $A$  – робота, що витрачається на руйнування зразка, Дж;  $S$  – площа поперечного перерізу зразка в місці, де створений концентратор напружень, м<sup>2</sup>.

Згідно ДСТУ ISO 148-1:2022 зразки для випробовування на ударну в'язкість можуть мати концентратори трьох видів: U - подібну з радіусом  $R = 1 \pm 0,07$  мм, V-подібну з  $R = 0,25 \pm 0,025$  мм і кутом 45°, Т – подібну – втомна тріщина ( $R \rightarrow 0$ ). У залежності від цього ударна в'язкість позначається, відповідно, літерами  $KCU$ ,  $KCV$  і  $KCT$ .

Випробування на ударну в'язкість проводять на маятниковому копрі, а схема такого випробування наведена на рис.1.2.

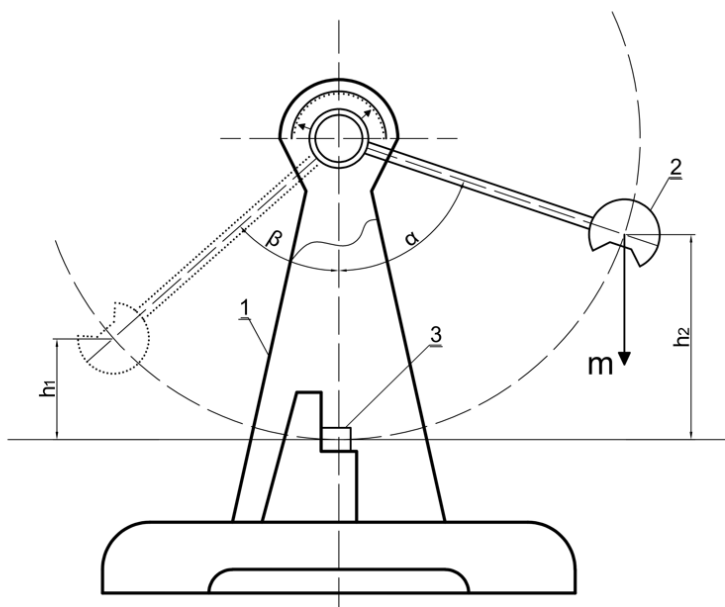


Рис.1.2 Схема динамічного випробування на маятниковому копрі

Ударна в'язкість  $KCU$  і  $KCV$  – це інтегральні характеристики, тому що робота, яка витрачається на руйнування зразка складається з роботи, що витрачається на пластичну деформацію на зародження

тріщини  $A_3$  і роботи, що витрачається на розповсюдження тріщини  $A_p$ , тобто

$$A = A_p + A_3. \quad (1.13)$$

При використанні зразків з концентратором типу  $T$  вся енергія витрачається на розповсюдження тріщини, тому  $KCT$  є більш точною характеристикою, яка визначає надійність матеріалу і яка залежить від його схильності до крихкого руйнування. Чим більше  $A_p$  тим менша ймовірність раптового крихкого руйнування деталі.

**Витривалістю** – це здатність металу протистояти руйнуванню, спричиненому втомою. Втома матеріалу характеризується його руйнуванням під дією знакоперемінних або повторно-змінних (циклічних) навантажень, коли рівень напруг є меншим за границю міцності.

При циклічному навантаженні в матеріалі деталі виникають напруження, які змінюються протягом кожного циклу від найбільшого  $\sigma_{max}$  до найменшого  $\sigma_{min}$  значень. Цикл навантаження характеризується коефіцієнтом асиметрії  $R_\sigma = \sigma_{min} / \sigma_{max}$ . Якщо  $\sigma_{max}$  і  $\sigma_{min}$  мають однакові за величиною і протилежні за знаком значення, то цикл навантаження називається симетричним і коефіцієнт асиметрії циклу дорівнює  $-1$ . Якщо  $\sigma_{max}$  і  $\sigma_{min}$  не однакові за величиною, то цикл називається асиметричним.

Втомне руйнування виникає через тривалу дію циклічних напружень, які спричиняють накопичення мікропошкоджень на поверхні деталі. З часом ці мікропошкодження перетворюються на мікротріщини, які поступово збільшуються в процесі експлуатації. У певний момент тріщина досягає критичних розмірів, і деталь раптово руйнується, навіть без збільшення навантаження, що на неї діє.

Границя витривалості позначається символом  $\sigma_R$  ( $R$  - коефіцієнт асиметрії циклу), а при симетричному циклі -  $\sigma_{-1}$ . На втому випробовують серію гладких або з надрізом циліндричних (не менше десяти) зразків. Кожен зразок випробовують при заданому

найбільшому напруженні циклу  $\sigma_{max}$  і визначають експериментально кількість циклів  $N$ , що витримує зразок до його руйнування.

*Границею витривалості* ( $\sigma_R$ ) називають таке максимальне за абсолютним значенням напруження циклу, при дії якого матеріал не руйнується при заданій або як завгодно великій кількості циклів навантаження. На практиці границю витривалості визначають на базі нормованої кількості циклів навантаження: для сталі  $N = 10^7$ , для кольорових металів і сплавів  $N = 10^8$ .

### ***Порядок виконання роботи***

Згідно з даними таблиці 1.1 додатку 1:

1. визначити параметри пружних властивостей металів -  $E, \mu, G$ ;
2. визначити параметри пластичних властивостей металів -  $\delta, \Psi$ ;
3. згідно діаграми рис.1.1 додатку 1 визначити  $\sigma_{пц}, \sigma_v, \sigma_m$  (або  $\sigma_{0,2}$ ) – параметри міцнісних властивостей матеріалів (для діаграми з вираженою площадкою текучості знайти  $\sigma_m$ , якщо площадка текучості відсутня – визначити величину  $\sigma_{0,2}$ );
4. визначити  $G$ , виходячи з даних, отриманих в експерименті на кручення зразка.

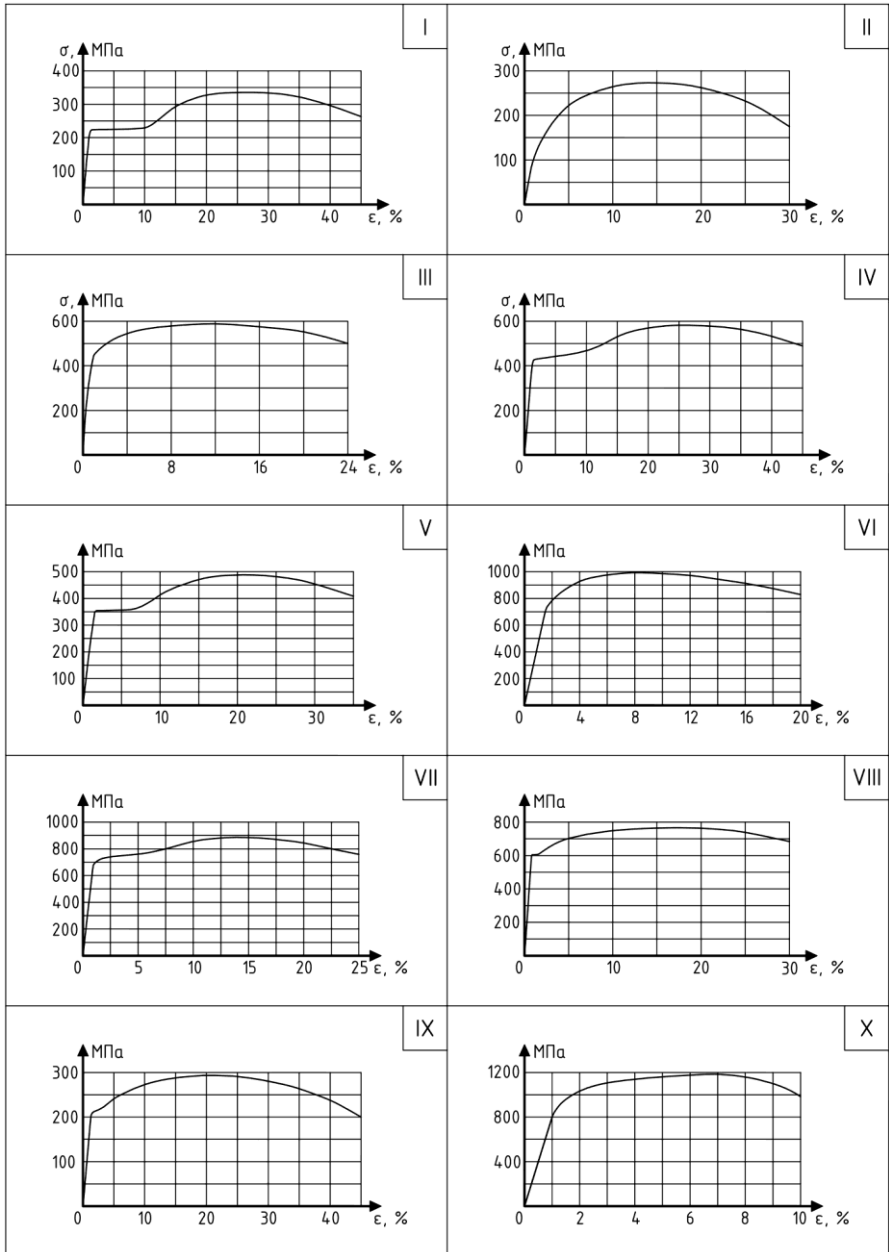
### ***Контрольні запитання***

1. Як визначають механічні властивості металів?
2. Що розуміють під міцністю?
3. Яка методика випробування металевих зразків на розтяг?
4. Що розуміють під в'язкістю?
5. Що розуміють під твердістю, в яких одиницях вона вимірюється?
6. Яка методика випробування зразків на ударну в'язкість?
7. Що розуміють під витривалістю?
8. Які причини виникнення втомленісного руйнування?

Додаток 1  
Таблиця 1.1

***Вихідні дані до практичної роботи №1***

№ з/п	$l_0$ , мм	$F_0 A_0$ , мм <sup>2</sup>	P F, Н	$\Delta l \cdot 10^3$	$F_1 A_k$ , мм <sup>2</sup>	$L_k$ , мм	$\varepsilon'$ , %	$\varepsilon$ , %	M, Нм	$\varphi$ , град	d, мм	№ диаграмми
1	125	490	3090	2,7	392	150	-0,05	0,3	100	0,004	25	X
2	100	320	1680	2,5	272	130	0,06	-0,25	90	0,005	24	I
3	80	180	810	2,0	135	104	-0,02	0,25	80	0,003	22	II
4	75	80	530	2,6	57	84	0,08	-0,35	60	0,014	15	III
5	50	50	360	1,7	35	56	-0,15	0,38	50	0,03	18	IV
6	40	30	190	1,6	24	50	0,05	-0,40	30	0,02	16	V
7	30	20	160	1,2	18	39	-0,13	0,32	20	0,009	20	VI
8	25	12	82	1,0	10	35	-0,09	0,37	10	0,01	10	VII
9	20	10	72	0,6	7,5	24	0,14	-0,33	8	0,008	155	VIII
10	15	8	24	0,5	6,2	18	-0,13	0,31	6	0,008	13	IX
11	115	470	3010	3,4	382	140	-0,04	0,35	105	0,005	23	X
12	90	310	1580	2,3	268	135	0,05	-0,22	95	0,004	24	I
13	84	160	820	2,1	128	108	-0,03	0,22	85	0,003	21	II
14	65	70	515	2,4	54	88	0,07	-0,25	65	0,017	16	III
15	55	53	373	1,5	33	54	-0,13	0,34	55	0,033	17	IV
16	45	32	180	1,4	22	51	0,04	-0,42	35	0,023	16	V
17	35	23	165	1,3	19	37	-0,15	0,35	25	0,009	22	VI
18	23	14	85	1,2	11	33	-0,08	0,33	15	0,005	14	VII
19	17	11	76	0,7	7,5	22	0,12	-0,35	8	0,003	23	VIII
20	14	7	24	0,4	6,1	16	-0,12	0,37	7	0,004	11	IX
21	112	480	3030	3,5	397	155	-0,05	0,3	105	0,003	26	X
22	95	335	1610	2,7	262	135	0,06	-0,23	92	0,004	25	I
23	82	185	790	2,2	125	107	-0,01	0,25	82	0,003	21	II
24	72	85	535	2,4	59	88	0,05	-0,33	62	0,012	17	III
25	53	55	365	1,9	35	52	-0,16	0,36	52	0,032	19	IV
26	42	35	195	1,8	26	54	0,03	-0,41	32	0,025	16	V
27	32	25	165	1,2	18	37	-0,13	0,31	22	0,007	22	VI
28	22	12	82	1,1	13	33	-0,08	0,34	12	0,015	14	VII
29	20	11	76	0,4	6,5	22	0,14	-0,32	8	0,008	22	VIII
30	16	7	23	0,4	6,2	14	-0,13	0,35	7	0,007	16	IX



*Рис. 1.1 Діаграми розтягу сталей*

## ПРАКТИЧНА РОБОТА № 2

### *Ручне електродугове зварювання*

Мета роботи: вивчити суть способу, обладнання, прилади та інструменти ручного електродугового зварювання.

Забезпечення роботи: обладнання, прилади і інструменти поста ручного електродугового зварювання.

### *Загальні відомості*

Зварюванням називається технологічний процес отримання нероз'ємних з'єднань деталей за рахунок встановлення міжатомних зв'язків між з'єднувальними частинами при їх нагріванні або пластичній деформації.

Існуючі способи зварювання поділяються на три класи: термічний, термомеханічний і механічний. До термічного відносять зварювання з використанням теплової енергії (дугова, електрошлакова, плазмова, газова і інші, які виконуються плавленням кромки); термомеханічного – теплової енергії і тиску (контактна, дифузійна, газопресова і др.); механічного – механічної енергії і тиску (холодна, вибухом, тертям і др.).

По виду захисту зварювальної ванни, зони дуги і зварювального металу розрізняють зварювання в захисних газах і їх сумішах, під флюсом, в вакуумі і ін.

По степені механізації зварювання буває ручне, механізоване і автоматичне. Ручне дугове зварювання виконується електродами, переміщення яких і підтримання постійної довжини дуги виконується вручну; механізоване – при механічній подачі електродного дроту з катушок і ручному переміщенні дуги; автоматичне – при механічній подачі електродного дроту і переміщення дуги.

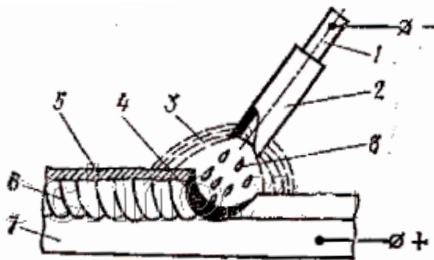
По виду використовуваних електродів розрізняють зварювання плавкими і неплавкими електродами. За умовами спостереження за процесом горіння дуги розрізняють зварювання відкритою і закритою дугою. В першому випадку за дугою спостерігають через спеціальні захисні світлофільтри (темне скло). Відкритою дугою ведеться ручне дугове зварювання покритими електродами, дротом суцільного перерізу в захисному газі, порошковим дротом. В

другому випадку зварювання виконують під флюсом.

За видом струму зварювання здійснюється постійним і змінним струмом. Зварювання постійним струмом виконується при прямій (мінус на електроді) чи оберненій (плюс на електроді) полярності.

### ***Ручне дугове зварювання металевими електродами з покриттям***

Найпоширенішим серед інших видів зварювання є ручне дугове зварювання – зварювання плавкими штучними електродами, при якому подача електрода та переміщення дуги вздовж зварювальних кромek виконується вручну. Схема процесу приведена на рис.24.



*Рис. 24. Ручне дугове зварювання металевим електродом з покриттям*

Дуга горить між стержнем 1 електрода та основним металом 7. Під дією теплоти дуги електрод і основний метал плавляться, утворюючи металеву зварювальну ванну 4. Краплі 8 рідкого металу з електродного стержня, що розплавляється, переносяться в ванну через дуговий проміжок. Одночасно із стержнем плавиться покриття 2 електрода, утворюючи газовий захист 3 навколо дуги та рідку шлакову ванну на поверхні розплавленого металу. Металева та шлакова ванни разом утворюють зварювальну ванну. По мірі руху дуги метал зварювальної ванни кристалізується і утворюється зварний шов 6. Рідкий шлак після охолодження утворює на поверхні шва тверду шлакову кірку 5, яка видаляється після охолодження шва.

### ***Зварювальні з'єднання та шви***

З'єднання виконані зваркою плавленням, складається із чотирьох зон: метал шва, зона сплавлення, зона термічного впливу і основний метал (рис. 25).



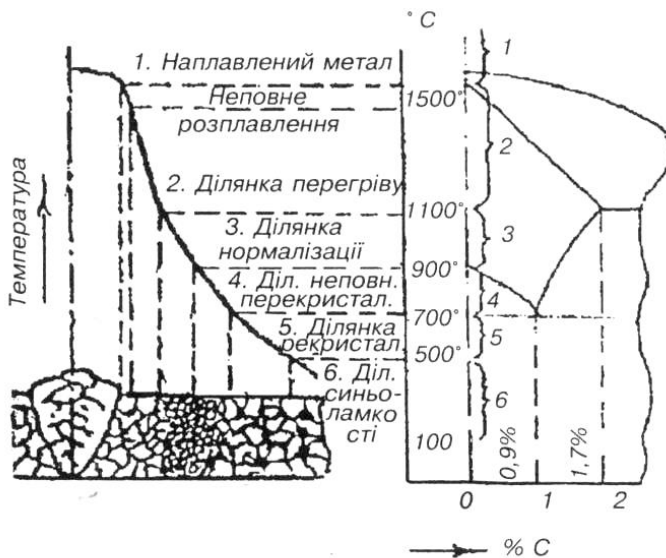


Рис. 25. Будова зони термічного впливу зварного з'єднання

У зоні шва метал перебуває у розплавленому стані, застигаючи, утворює структуру із стовпчастих кристалів.

1. Зона сплавлення або ділянка неповного розплавлення – перехідна від наплавеного металу до основного. На цій ділянці утворюється з'єднання і проходить межа сплавлення, це дуже обмежена зона (0.1...0.4 мм) основного металу, нагрітого до часткового оплавлення зерен. Тут спостерігається значне зростання зерен, накопичення домішок, тому ця ділянка, звичайно, найслабкіше місце зварного з'єднання з пониженою міцністю та пластичністю. Ділянка неповного розплавлення знаходиться в твердо-рідкому стані і визначає якість зварного з'єднання.

2. Ділянка перегріву — це область основного, сильно нагрітого (1100-1500°C) металу з крупнозернистою структурою і зниженими механічними властивостями. Ці властивості тим нижчі, чим крупніше зерно і ширша зона перегріву. В цій зоні можливе утворення гартованих структур.

3. Ділянка нормалізації — область основного металу (930-1100°C), набирає дрібнозернистої структури з найвищими механічними властивостями.

4. Ділянка неповної перекристалізації — область основного металу (720~930°C), в якій навколо крупних зерен розташовуються дрібні, утворені в результаті перекристалізації. Метал цієї ділянки має нижчі механічні властивості, ніж метал попередньої ділянки.

5. Ділянка рекристалізації — частина основного металу (450-720°C), для якої є характерним відновлювання форми і розмірів зруйнованих зерен металу, який раніше піддавався обробці тиском.

6. Ділянка синьоламкості — видимих структурних змін не має (200-450°C), але характеризується зниженням пластичних властивостей і є зоною переходу від зони термічного впливу до основного металу. В цій зоні можуть проходити процеси старіння в зв'язку з випаданням карбідів заліза та нітридів, внаслідок чого механічні властивості металу цієї зони знижуються. Якщо метал перед зварюванням було відпалено, то істотних змін на ділянках 5 та 6 не відбувається.

Ширина зони термічного впливу залежить від товщини металу, виду та режимів зварювання. При ручному дуговому зварюванні вона становить звичайно 5...6 мм, при зварюванні під флюсом середніх товщин — близько 10 мм, при газовому зварюванні — до 25 мм.

В залежності від марки електрода ручне дугове зварювання може виконуватися в нижньому або будь-яких інших просторових положеннях — вертикальному, горизонтальному, стельовому чи проміжних між ними (рис.26).

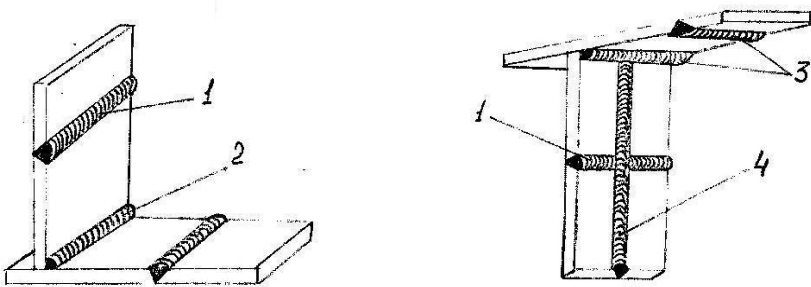


Рис. 26. Розміщення зварних швів в просторі:  
1 – горизонтальне; 2 – нижнє; 3 – стельове; 4 – вертикальне

В залежності від взаємного розміщення заготовок (їх частин) зварювальні з'єднання можна різділити на слідуючі види (рис. 27).

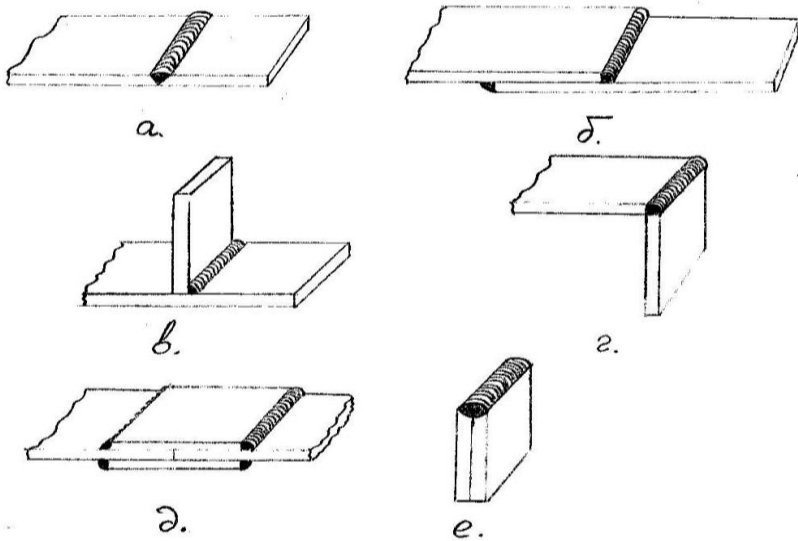


Рис. 27. Основні види з'єднання:

а – стикове; б – напусткове; в – таврове; г – кутове; д – стикове з накладними деталями; е – торцове

### **Зварювальний пост для ручного дугового зварювання**

Зварювальний пост для ручного дугового зварювання (рис. 28) оснащують джерелом живлення 1, струмовідводом 2, електродотримачем 3, щитом з приладами контролю та регулювання параметрів зварювання, зварюючим столом 4.

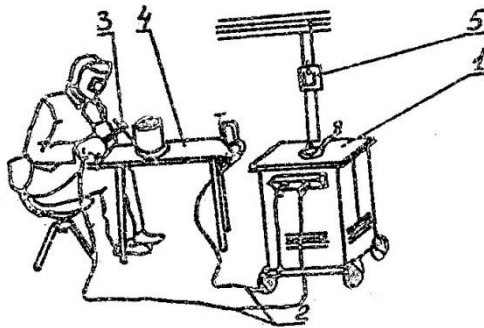


Рис. 28. Зварювальний пост для ручного дугового зварювання

Джерело живлення підключається до електромережі через магнітний пускач або перемикач 5. Зварювальник повинен мати спецодяг: куртку, штани, чоботи або черевики та рукавиці. Обличчя повинно бути закрито щитком або маскою з захисним склом.

### ***Зварювальний, наплавочний дріт і електроди***

Для дугового зварювання та наплавлення застосовується спеціальний зварювальний та наплавочний дріт. Передбачено 77 марок сталевого зварювального дроту різного хімічного складу: 6 марок з низьковуглецевої сталі (Св-08, Св-08А, Св-08АА, Св-08ГА, Св-10Га, Св-10Г2); 30 марок з легованої сталі: (Св-08ГС, Св-08Г2С, Св-18ХГС та ін.); 41 марку з високолегованої сталі: Св-12Х11НМФ, Св-10Х17Г, Св-06Х19Н9Г. В легованій сталі легуючих елементів міститься від 2,5 до 10 %, в високолегованій – більше як 10%.

Букви та цифри в приведених марках дроту означають: Св - зварювальний, цифра після Св – вміст вуглецю в сотих долях відсотка (наприклад, 08 означає 0,08 % вуглецю); А – знижений, АА – ще більш знижений вміст сірки та фосфору; букви – умовні позначення легуючих елементів; цифри після буквенних позначень – середній вміст легуючих елементів у відсотках.

Хімічні елементи в сталях умовно позначаються так:

Алюміній	Al	Ю	Мідь	Cu	Д
Азот	N	А	Нікель	Ni	Н
Бор	B	Р	Ніобій	Nb	Б
Ванадій	V	Ф	Селен	Se	Е
Вольфрам	W	В	Хром	Cr	Х
Кобальт	Co	К	Титан	Ti	Т
Кремній	Si	С	Фосфор	P	П
Молібден	Mo	М	Цирконій	Zr	Ц
Марганець	Mn	Г			

Стальний зварювальний дріт випускається діаметрів: 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; 8,0; 10,0 та 12,0 мм. Дріт поставляється скрученим у мотки з внутрішнім діаметром від 0,3 до 8,0 мм: з вуглецевої сталі – 9 марок (Нп – 25, Нп – 40 та ін.) , з легованої сталі – 11 марок (Нп - 40Г, Нп – 50Г, Нп – 30ХГСА та ін.), з високолегованої сталі – 11 марок (Нп – 20Х14, Нп – 30Х13, Нп – 3Х13, Нп – 13Х10Н0Т та ін.). Дріт використовується для плавлення під флюсом, у захисних газах, електрошлакового плавлення та

виготовлення покритих електродів для ручного наплавлення. Марку дроту вибирають залежно від призначення та потрібної твердості наплавленого металу.

### ***Електроди для ручного дугового зварювання***

Плавкі електроди для ручного дугового зварювання – це стержні завдовжки до 450 мм із зварювального дроту, на які нанесено шар покриття – суміш речовин для підсилення іонізації, захисту від шкідливої дії повітря та металургійної обробки зварювальної ванни. У покриття входять такі компоненти: газоутворюючі – неорганічні речовини (мармур  $\text{CaCO}_3$ , магнезит  $\text{MgCO}_3$  та ін.) та органічні речовини (крохмаль, харчове борошно та ін.); шлакоутворюючі, що складають основу покриття – звичайно це руди (марганцева, титанова), мінерали (ільменитовий та рутиловий концентрати, польовий шпат, кремнезем, граніт, крейда, плавиковий шпат та ін.);

легуючі елементи та елементи-розкислювачі – Si, Vn, Ti та ін., що використовуються у вигляді сплавів цих елементів із залізом, так званих феросплавів; Al вводиться в покриття у вигляді порошку-пудри;

зв'язуючі компоненти – водні розчини силікатів натрію та калію, які називаються натрієвим і калієвим рідким склом, а також формові добавки – речовини, що надають покриттю кращі пластичні властивості (бетоніт, каолін, декстрин, слюда та ін.).

Стальні покриті електроди для ручного дугового зварювання та наплавлення поділяються за призначенням:

для зварювання вуглецевих і низьколегованих конструкційних сталей з тимчасовим опором розриву до 600 МПа (Э38, Э42А, Э46, Э46А, Э 50, Э50А, Э55, Э60), що позначаються спільним індексом У;

для зварювання легованих теплостійких сталей – з тимчасовим опором розриву вище 600 МПа (Э70, Э85, Э100, Э125, Э150), індекс Л;

для зварювання високолегованих сталей – індекс В;

для наплавлення поверхневих шарів – індекс Н. Цифри у позначеннях типів електродів для зварювання конструкційних сталей вказують гарантовану межу міцності металу шва.

За видом покриття електроди класифікуються: з кислим покриттям А; основним Б; целюлозним Ц; рутиловим Р; змішаного виду – відповідне подвійне позначення, іншими видами покриттів П.

Якщо покриття містить залізний порошок у кількості більше ніж 20 %, до позначення виду покриття додають букву Ж.

Кислі покриття А (електроди АНО-2, СМ-5 та ін.) складаються в основному з оксидів заліза та марганцю (звичайно у вигляді руди), кремнезему, феромарганцю. Електроди з кислим покриттям технологічні, проте оксиди марганцю роблять їх токсичними.

Рутилові покриття Р (електроди АНО-3, АНО-4, ОЗС-3, ОЗС-4, ОЗС-6, МР-3, МР-4 та ін.) мають у своєму складі переважку кількості рутилу  $TiO_2$ . Рутилові покриття технологічні, менш шкідливі для дихальних органів зварювальника, ніж інші.

Целюлозні покриття Ц (електроди ВСЦ-1, ВСЦ-2, ОЗЦ-1 та ін.) складаються з целюлози, органічної смоли, феросплавів, тальку та ін. Ці покриття зручні для зварювання у будь-якому просторовому положенні, але дають наплавлений метал зниженої пластичності.

Основні покриття Б (електроди УОНИ-13/45, УП-1/45, ОЗС-2, ДСК-50 та ін.) не містять оксидів заліза, марганцю. Наприклад, покриття марки УОНИ-13/45 складається з мармуру, плавикового шпату, кварцевого піску, феросиліцію, феромарганцю, феротитану, рідкого скла. Метал шва, виконаний електродом з основним покриттям, має більшу пластичність. Цими електродами зварюють відповідні конструкції. За товщиною покриття, залежно від співвідношення діаметра електрода (Д) до діаметра сталюого стержня (d), розрізняють електроди: з тонким покриттям ( $D/d \leq 1,2$ ) – М,

із середнім покриттям ( $1,20 < D/d \leq 1,45$ ) – С,

з товстим покриттям ( $1,45 < D/d \leq 1,85$ ) – Д,

з особливо товстим покриттям ( $D/d \leq 1,88$ ) – Г.

За якістю, тобто точністю виготовлення, станом поверхні покриття, суцільності виконаного даними електродами металу шва, за вмістом сірки та фосфору в наплавленому металі, електроди поділяють на групи 1, 2 і 3. Чим вищий номер, тим краща якість.

За допустимими просторовими положеннями зварювання та наплавлення електроди поділяються на такі групи: 1 – для всіх положень; 2 – для всіх положень, крім вертикального зверху до низу; 3 – для нижнього, горизонтального на вертикальній площині та вертикального знизу вгору; 4 – для нижнього та нижчого «в човник».

## Джерела живлення для дугового зварювання

Джерелами живлення для дугового зварювання є зварювальні трансформатори, зварювальні випрямлячі і зварювальні генератори.

Зварювальні трансформатори. Це спеціальні понижувальні трансформатори, зовнішня характеристика яких забезпечує живлення зварювальної дуги та регулювання зварювального струму.

Трансформатор складається з осердя (рис.29) – магнітопроводу з трансформатної сталі, на якому розміщуються дві обмотки – первинна (1) і вторинна (3). Змінний струм з мережі проходить через первинну обмотку трансформатора, намагнічує осердя, створюючи в ньому змінний магнітний потік, який, перетинаючи витки вторинної обмотки, індукує в ній змінний струм. Напряга індукованого струму залежить від числа витків вторинної обмотки: чим менше витків, тим напряга індукованого струму буде меншою і, навпаки, чим більше витків, тим напряга вища. Регулювання величини зварювального струму і створення зовнішньої характеристики забезпечується зміною потоку магнітного розсіяння або вмиканням у зварювальний ланцюг додаткового індуктивного опору (4).

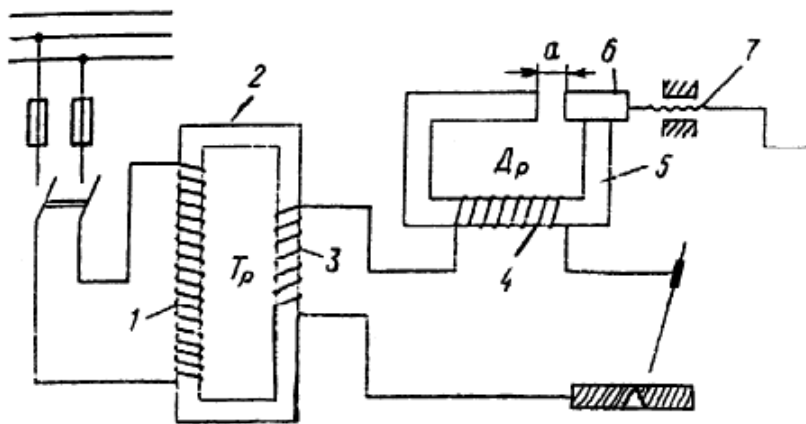


Рис. 29. Зварювальний апарат з окремим дроселем:

1 – первинна обмотка; 2 – магнітопровід (сердечник); 3 – вторинна обмотка; 4 – обмотка дроселя; 5 – нерухома частина дроселя; 6 – рухома частина дроселя; 7 – гвинтова пара

Відповідно до цього, зварювальні трансформатори поділяють на дві основні групи. До першої групи належать трансформатори з підвищеним магнітним розсіюванням (рис. 30). Трансформатори цієї групи можна поділити на три основних види: трансформатори з магнітними шунтами, рухомими котушками та витковим (ступінчастим) регулюванням (ТС, ТД, СТШ, ТСК, ТСП).

До другої групи належать трансформатори з нормальним магнітним розсіюванням і додатковою котушкою – дроселем 2 (СНТ, ТСД) (рис. 30). Розглянемо будову трансформатора ТСК-500 (рис. 30) з підвищеним магнітним розсіюванням, з рухомою котушкою, при переміщенні якої регулюється зварювальний струм. У нижній частині осердя 1 знаходиться первинна обмотка 3, що складається з двох катушок, розміщених на двох стержнях магнітопроводу. Катушки первинної обмотки закріплені нерухомо. Вторинна обмотка 2, що також складається з двох катушок, розміщена на значній відстані від первинної. Катушки як первинної, так і вторинної обмоток з'єднанні паралельно. Вторинна обмотка рухома і може переміщатись по осердю за допомогою гвинта, з яким вона зв'язана, і рукоятка, що знаходиться на кришці кожуха трансформатора.

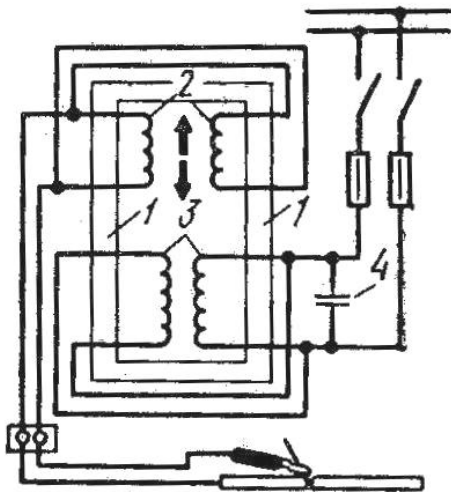


Рис. 30. Зварювальний трансформатор з підвищеним магнітним розсіюванням

Зварювальний струм регулюють зміною відстані між первинною та вторинною обмотками. При обертанні рукоятки за годинниковою



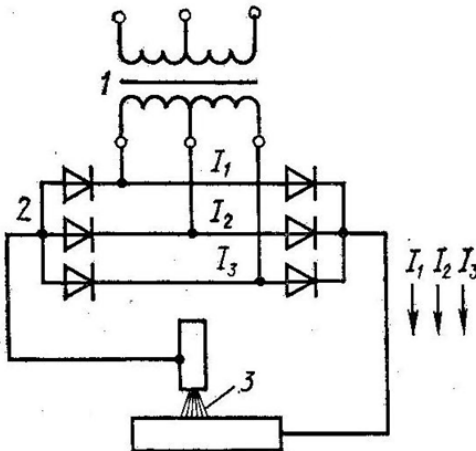
стрілкою, вторинна обмотка наближається до первинної, магнітний потік розсіювання та індуктивний опір зменшуються, зварювальний струм зростає. При обертанні рукоятки проти годинникової стрілки, вторинна обмотка віддаляється від первинної, індуктивний опір і магнітний потік розсіювання зростають і зварювальний струм зменшується. Межі регулювання зварювального струму 165...650А.

Послідовне з'єднання катушок первинної та вторинної обмоток дозволяє діставати незначні зварювальні струми з межами регулювання 40...165А. Для наближеного встановлення сили зварювального струму на кришці кожуха розміщена шкала з поділками. Точніше, струм встановлюють за амперметром.

Для підвищення коефіцієнта потужності зварювальний трансформатор ТСК-500 має у первинному ланцюгу конденсатор 4 великої потужності.

### *Зварювальні випрямлячі*

Це джерела постійного зварювального струму, що складаються із зварювального трансформатора з регулюючим пристроєм і блока напівпровідникових випрямлячів (рис. 31).



*Рис. 31. Схема трифазного випрямляча:  
1 – знижувальний трансформатор; 2 – блок селенових або кремнієвих випрямлячів; 3 – зварювальна дуга*

Іноді в комплект зварювального випрямляча входить дросель,

який вмикається в ланцюг постійного струму.

Дія зварювальних випрямлячів ґрунтується на тому, що напівпровідникові елементи проводять лише в одному напрямі. Найпоширеніші в зварювальних випрямлячах селенові та кремнієві напівпровідники. Зварювальні випрямлячі виконують переважно за трифазною схемою, переваги якої полягають у великій кількості пульсацій напруги та рівномірному завантаженні трифазної мережі.

Зварювальні випрямлячі мають ряд переваг перед зварювальними генераторами. В них кращі енергетичні, динамічні та масові показники, вищий ККД, прості в обслуговуванні, надійніші, через відсутність обертових частин, безшумні.

Зварювальні випрямлячі залежно від зовнішніх характеристик можна поділити на три типи: з крутопадаючими (ВСС-300-3, ВСС-120-4, ВКС-500 та ін.), жорсткими (або пологопадаючими) характеристиками (ВС-200, ВС-300, ВС-600, ВС-1000, ИПП-120, ИПП-300, ИПП-500, ИПП-1000) та універсальні (ВСУ-300, ВСУ-500). Універсальні випрямлячі забезпечують можливість отримання як жорстких, так і падаючих зовнішніх характеристик, тому їх можна застосовувати для різних видів дугового зварювання. Цифра в марці випрямляча означає силу номінального струму.

### ***Зварювальні генератори***

Це спеціальні генератори постійного струму, зовнішня характеристика яких дозволяє одержати стійке горіння дуги, що досягається зміною магнітного потоку генератора залежно від зварювального струму. Зварювальний генератор постійного струму складається із статора з магнітними полюсами та якоря з обмоткою та колекторами. Під час роботи генератора якор обертається в магнітному полі, що створюється полюсами статора. Обмотка якоря перетинає магнітні лінії полюсів генератора, і тому в витках обмотки виникає зовнішній струм, який за допомогою колектора перетворюється в постійний. Обертання якоря зварювального генератора забезпечується в зварювальних перетворювачах електродвигуном, а в зварювальних агрегатах двигуном внутрішнього згорання. До колектора притиснуті вугільні щітки, через які постійний струм підводиться до затискачів. До цих затискачів приєднують зварювальні проводи, що йдуть до електродотримачів і виробу.

Зварювальні генератори виконують за різними електричними схемами. Вони можуть бути з парною характеристикою (генератори ГСО у перетворювачах ПСО-300, ПСО-500 та ін.), з жорсткою та пологопадаючою характеристикою ГСГ у перетворювачах ПСГ-500 та універсальні (перетворювачі ПСУ-300, ПСУ-500).

Найпоширеніші зварювальні генератори працюють за такими схемами: з незалежним збудженням і розмагнічуючою послідовною обмоткою; із самозбудженням і розмагнічуючою послідовною обмоткою.

Схема генератора з незалежним збудженням і розмагнічуючою послідовною обмоткою наведена на рис.32, а.

Генератор має обмотку незалежного збудження НО, що живиться від окремого джерела постійного струму, та послідовну розмагнічуючу обмотку РО, яка ввімкнута у зварювальне коло послідовно з обмоткою якоря. Сила струму в колі незалежного збудження регулюється реостатом Р. Магнітний потік  $\Phi_n$  створюється розмагнічуючою обмоткою РО. Результуючий потік – це різниця потоків  $\Phi_{рез} = \Phi_n - \Phi_p$ .

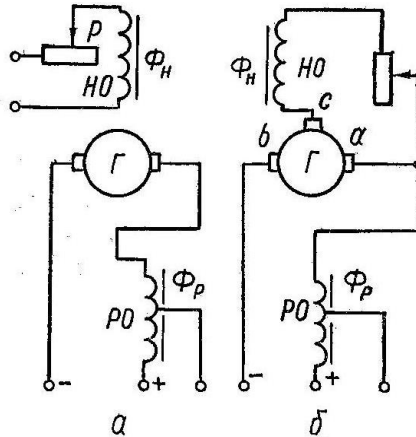


Рис. 32. Принципова схема зварювального генератора:

а – з незалежним збудженням і розмагнічуючою послідовною обмоткою; б – із самозбудженням і розмагнічуючою послідовною обмоткою; Г – генератор; Р – реостат; НО – намагнічуюча обмотка; РО – розмагнічуючи обмотка; а, в, с – щітки

Із збільшенням струму в зварювальному колі збільшуватиметься,

$\Phi_p$ , а  $\Phi_n$  залишається незмінним, результуючий потік  $\Phi_{рез}$ , ЕРС та напруга на затискачах генератора падатимуть, створюючи падаючу зовнішню характеристику генератора. Зварювальний струм у генераторах цієї системи регулюється реостатом Р і секціонуванням послідовної обмотки, тобто зміною числа ампер - витків. У генераторах із самозбудженням і размагнічуючою послідовною обмоткою збудження (рис.32,б) використовується принцип самозбудження. Напруга на намагнічуючу обмотку збудження Н знімається із щіток та з самого генератора, ця напруга майже стала за величиною, а тому магнітний потік практично не змінюється.

### ***Контрольні запитання***

1. Якими способами збуджують зварювальну дугу?
2. За допомогою яких засобів збільшують стійкість горіння зварювальної дуги?
3. Чи можливо збуджувати зварювальну дугу, не торкаючись електродом зварюваного виробу?
4. Із яких основних областей складається дуговий проміжок зварювальної дуги?
5. Що називається довжиною дуги і який вплив вона створює на якість зварювального шва при ручному дуговому зварюванні?
6. Які використовують засоби захисту розплавленого металу від шкідливих елементів?
7. В яких випадках використовують з'єднання зварювального ланцюга з прямою полярністю і в яких випадках з оберненою полярністю?
8. Від чого залежить і як змінюється зона термічного впливу при зварюванні?
9. Якими показниками характеризується зварювальна дуга?
10. Як зв'язані між собою зварювальний струм і діаметр електрода при ручному дуговому зварюванні?
11. Як впливає розміщення зварювального шва в просторі на необхідний для зварювання зварочний струм?
12. Із якої сталі виготовляють сталевий зварювальний дріт при зварюванні?
13. Із якої сталі виготовляють низьковуглецевий зварювальний дріт?
14. Як розшифровуються умовні позначення деяких зварювальних дротів?

15. Які наплавочні дроти найбільш поширені?
16. Що являє собою зварювальний дріт (порошковий)?
17. Як поділяються електроди за товщиною шару покриття?
18. Які матеріали входять в склад покриття електроду і яке їх значення?
19. За рахунок яких елементів обмазки утворюють шлак ?
20. Як розшифрувати умовні позначення електродів Э42А УОНИ – 13/45 – 4,0?
21. Якими електродами рекомендується зварювати сталь з чавуном і ремонтувати дефекти лиття в чавунних виливках?

### ПРАКТИЧНА РОБОТА № 3

#### *Вольт-амперна характеристика (ВАХ) дуги при ручному дуговому зварюванні*

Мета роботи: вивчити вольт - амперну характеристику дуги; отримати графічні залежності напруги і струму при різних видах зварювання і різання металу.

Забезпечення роботи: зварювальний випрямляч ВД - 306УЗ; вольтметр; прилади та інструменти поста ручного електродугового зварювання; електроди різного діаметра; металеві заготовки різної товщини.

#### *Загальні відомості*

Для забезпечення стійкості горіння дуги джерела живлення для дугового зварювання повинні мати напругу холостого ходу, тобто напругу на затискачах джерела струму при розімкненому зварювальному ланцюгу, достатню для легкого збудження дуги та стійкого її горіння, яка не перевищує норм безпеки праці, тобто не більше 80...90 В. Всі джерела живлення мають спеціальну зварювальну зовнішню характеристику, під якою розуміють залежність між напругою на вихідних клеммах джерела і струмом у зварювальному колі.

Зовнішні характеристики (рис. 33) можуть бути таких основних видів: круто падаюча 1, пологопадаюча 2, жорстка 3, зростаюча 4. Вимоги до виду зовнішніх характеристик визначаються типом електроду (плавкий, неплавкий); середовищем, в якому виконується зварювання (відкрита дуга, під флюсом, в захисних газах); ступенем механізації процесу. Джерело живлення і його зовнішню характеристику вибирають в залежності від статичної характеристики дуги.

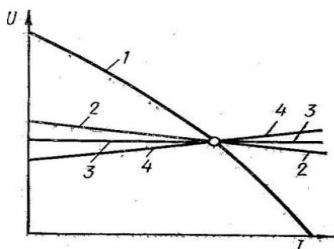


Рис. 33. Основні типи зовнішніх характеристик джерела живлення для дугового зварювання

Вольт – амперна (ВАХ) характеристика дуги визначається зв'язком між напругою на дузі і силою зварювального струму (рис. 34). При малих значеннях сили зварювального струму, який протікає в зварювальному ланцюгу і електроді (обл. I) характеристика падаюча. При середніх значеннях сили струму, напруга на дузі залишається постійною (обл. II – жорстка характеристика). Великі сили струму характеризуються зростаючою характеристикою (обл. III).

Криві I і II характеристики дуги відносяться до режимів, які використовуються при рухомому дуговому зварюванні покритими електродами, а також неплавкими електродами в захисних газах. Автоматичне зварювання під флюсом відповідає області II і частково області III.

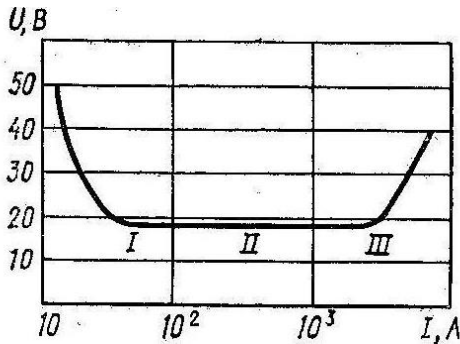


Рис. 34. Вольт - амперна (ВАХ) характеристика дуги

Зварювання в захисних газах, а також зварювання самозахисним порошковим дротом відноситься до області III.

Вольт-амперну характеристику дуги також називають статичною характеристикою дуги.

Три зони ВАХ пов'язані з тим, що в дуговому розряді опір не є сталою величиною, так як кількість заряджених частинок в ньому залежить від інтенсивності іонізації, головним чином від струму, тому електрична дуга в газах не підпорядковується закону Ома і ВАХ є, звичайно, нелінійна. При малих струмах до 100 А (I зона) із збільшенням струму інтенсивно зростає число заряджених частинок (головним чином у результаті розігрівання та зростання емісії катода), опір стовпа дуги зменшується, тому що падає потрібна для підтримання розряду напруга і характеристика дуги буде падаючою. При подальшому зростанні струму (II зона) стовп дуги починає стискатися, об'єм газу, що бере участь у перенесенні заряду, зменшується, що в результаті призводить до меншої швидкості зростання числа заряджених частинок. Тому напруга дуги стає малозалежною від струму, а характеристика стає пологою та жорсткою. Подальше збільшення струму характеризується сильним стисканням стовпа дуги (III зона) і вольт - амперна крива стає зростаючою, що вказує на збільшення енергії, яка витрачається всередині дуги.

### **Порядок виконання роботи**

1. Ознайомитись і законспектувати поняття про зовнішню характеристику і ВАХ дуги.
2. Підібрати діаметр електродів в залежності від товщини

зварювальних заготовок.

3. Призначити елементи режиму зварювання і занести в таблицю 14.
4. Виконати зварювання заготовок і занести дані  $U_{\delta}$ ,  $I_{\delta}$  в табл. 14.
5. Побудувати графічно ВАХ для зварювання (два графіки, для різних діаметрів електродів).
6. Призначити елементи режиму різання і занести в таблицю 14.
7. Виконати розрізання заготовок і занести дані  $U_{\delta}$ ;  $I_{\delta}$  в таблицю 14.
8. Побудувати графічно ВАХ для різання (три графіки, для різних діаметрів електродів).
9. Призначити елементи режиму зварювання (різні способи зварювання – лівий або правий) і дані занести в таблицю 15.
10. Виконати зварювання заготовок і занести дані  $U_{\delta}$ ;  $I_p$  в табл. 15.
11. Побудувати графічно ВАХ для зварювання (два графіки в залежності від способу зварювання).
12. Призначити елементи режиму зварювання (різні просторові способи зварювання) і дані занести в таблицю 16.
13. Виконати зварювання заготовок і дані  $U_{\delta}$ ;  $I_p$  занести в табл. 16.
14. Побудувати графічно ВАХ для зварювання (три графіки в залежності від просторового розміщення).
15. Виміряти твердість зварного шва і дані занести в табл. 14, 15, 16.

Таблиця 14

Елементи режимів зварювання

№ з/п	d, діаметр електрода, мм	Вид роботи (зварювання або різання)	Товщина заготовки, мм	$V_{x,x}$ , В	$V_p$ , В	$I_p$ , А	Твердість HR
1							
2							
3							
4							
5							
6							

Таблиця 15



### Елементи режимів зварювання

№ з/п	d, діаметр електрод а,мм	№ з/п	Товщина заготовки, мм	$V_{x,x}$ , В	$V_p$ , В	$I_p$ , А	Твердість HR
1							
2							

Таблиця 16

### Елементи режимів зварювання

№ з/п	d, діаметр електрод а, мм	Просторовий вид зварювання (стельовий, вертикальний горизонтальний)	Товщина заготовки, мм	$V_{x,x}$ , В	$V_p$ , В	$I_p$ , А	Твердість HR
1							
2							
3							

### *Контрольні запитання*

1. Якими параметрами характеризується режим ручного дугового зварювання?
2. Яка напруга холостого ходу при дуговому зварюванні?
3. Як зв'язані між собою сила струму і напруга дуги?
4. Що таке зовнішня характеристика джерела живлення?
5. Які бувають види зовнішньої характеристики і яким видам зварювання вони притаманні?
6. Поясніть фізичну суть взаємної зміни напруги і струму статичної характеристики дуги.

## ПРАКТИЧНА РОБОТА № 4

### *Автоматичне зварювання під флюсом*

Мета роботи: визначити суть способу, обладнання, прилади та інструменти автоматичного зварювання під флюсом; отримати графічні залежності напруги і струму при холостому і робочому

режимах роботи.

Забезпечення роботи: перетворювач ПСО-500; прилади та інструменти поста автоматичного зварювання під флюсом; зварювальний дріт; металеві заготовки різної товщини.

### Загальні відомості

Зварювання під флюсом – це дугове зварювання, при якому дуга горить під шаром зварювального флюсу, який забезпечує захист зварювальної ванни від повітря, стабілізує дугу, забезпечує розкислення, легування та рафінування розплавленого металу зварювальної ванни.

Схема процесу автоматичного зварювання під флюсом приведена на рис. 35.

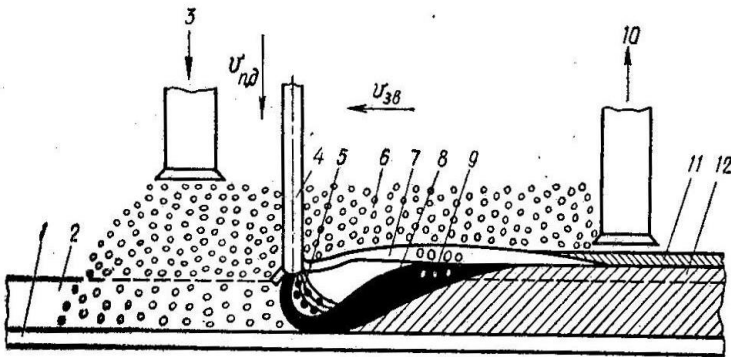


Рис. 35. Схема процесу автоматичного зварювання під флюсом

Електродний дріт автоматично подається в зону зварювання. Дуга горить між кінцем електрода 4 та виробом 2 під шаром зварювального флюсу 6, який подається на виріб із бункера 3. Під дією теплоти, що виділяється зварювальною дугою, плавляться електродний дріт, основний метал, а також частина флюсу, що перебуває в зоні дуги. В зоні горіння дуги утворюється порожнина, обмежена у верхній частині оболонкою розплавленого флюсу 7. Ця порожнина заповнена паром металу, флюсу і газами, їх тиск підтримує флюсове склепіння, що утворюється над зварювальною ванною. Дуга 5 горить безпосередньо близько від переднього краю ванни, трохи відхиляючись від вертикального положення в бік, зворотний напрямку зварювання. Під впливом тиску дуги рідкий

метал також відтискується в бік, протилежний напрямку зварювання, утворюючи зварювальну ванну 8. Під електродом створюється кратер з тонким шаром розплавленого металу, а основна маса розплавленого металу займає простір від кратера до поверхні шва 12. Розплавлений флюс 7 внаслідок значно меншої густини спливає на поверхню розплавленого металу і покриває його щільним шаром. Розплавлений флюс, маючи низьку теплопровідність, уповільнює процес охолодження шва, що полегшує шлаковим включенням і розчиненим у металі газам 9 піднятися на поверхню ванни, сприяючи очищенню металу шва від забруднення. Нерозплавлений в процесі зварювання надлишковий флюс пневматичним пристроєм 10 відсмоктують із шва і використовують потім при наступному зварюванні. Розплавлена та затверділа частина флюсу утворює на шві товсту шлакову кірку 11. Після припинення зварювання та охолодження металу шлакова кірка легко відокремлюється від металу шва 12. Зварювання проводиться на підкладці 1 чи флюсовій подушці.

Флюси за способом виготовлення поділяються на плавкі та неплавкі. Плавкий флюс отримують сплавленням його складових. Сплавлену масу після охолодження подрібнюють на зерна потрібного розміру. Неплавкі флюси - це механічна суміш порошкоподібних і зернистих матеріалів. До них належать і керамічні флюси для дугового зварювання, які дістають перемішуванням порошкоподібних матеріалів із зв'язуючою речовиною.

Плавкі флюси розрізняють за вмістом в них оксидів різних елементів. За вмістом оксиду кремнію  $SiO_2$  флюси поділяються на висококременисті (до 40...45 %)  $SiO_2$ , низькокременисті (до 0,5 %  $SiO_2$ ) і безкременисті. За вмістом оксиду марганцю  $MnO$  - на високо марганцеві (містять  $MnO$  в межах 15...30%) та низькомарганцеві.

Низькокременисті флюси застосовують для зварювання легованих сталей. Для зварювання низьковуглецевої сталі застосовують переважно низьковуглецевий зварювальний дріт у поєднанні з висококременистим флюсом.

Прикладом сучасних висококременистих марганцевих флюсів можуть бути флюси ОСЦ - 45 та АН - 348А, шихта яких складається

з марганцевої руди ( $MnO$ ), кварцевого піску ( $SiO_2$ ) та плавикового шпату (фтористого кальцію  $CaF_2$ ).

За призначенням розрізняють флюси для зварювання низько вуглецевих, легованих, спеціальних сталей та кольорових металів.

Оскільки хімічний склад металу шва тісно пов'язаний з хімічною активністю флюсу та складом зварювального дроту, флюс для зварювання різних марок вуглецевої та низьколегованої сталі вибирають одночасно, тобто вибирають систему флюс – дріт, виходячи з того, що метал шва містить не менш 0,2...0,4% Si. Для запобігання утворення пор використовують три основні системи:

1. Низьковуглецевий дріт (СВ - 08, СВ - 08А) та ін. та високомарганцевистий (35...45%  $MnO$ ), висококременистий (40...45%  $SiO_2$ ) флюс. Легування шва кремнієм і марганцем відбувається за рахунок флюсу;
2. Низьковуглецевий дріт легований до 2% Mn (типу СВ - 10Г2) та високо кременистий (40...45%  $SiO_2$ ) флюс, який містить не більш як 15% MnO. В цьому разі легування шва марганцем відбувається за рахунок дроту, а кремнієм – за рахунок флюсу;
3. Середньомарганцевистий електродний дріт (1% Mn) та середньомарганцевистий (30% Mn) кременистий флюс. Легування шва марганцем відбувається за рахунок дроту і флюсу, кремнієм – за рахунок флюсу.

Перевагами зварювання під флюсом є:

висока продуктивність завдяки застосуванню великих струмів, великої глибини проплавлення, а також майже повної відсутності втрат металу на вигорання і розбризкування;

механізація процесу зварювання;

висока якість зварних швів за рахунок захисту флюсом зварювальної ванни від повітря;

поліпшення умов праці зварювальників.

Недоліком зварювання під флюсом є можливість зварювання лише в нижньому положенні (нахил до 15°).

### ***Порядок виконання роботи***

1. Ознайомитись і законспектувати загальні поняття про

- зварювання під флюсом.
2. Підібрати зварювальний дріт і тип флюсу в залежності від виду зварювального матеріалу.
  3. Призначити елементи режиму зварювання і занести в табл. 17.
  4. Виконати зварювання заготовок і занести дані  $U_{\delta}$ ;  $I_{\delta}$  в табл. 17.
  5. Побудувати графічні залежності напруги і струму при холостому і робочому режимах роботи.
  6. Порівняти силу струму в електроді при ручному дуговому зварюванні та зварюванні під флюсом.
  7. Виміряти твердість зварного шва і дані занести в табл. 17.

Таблиця 17

## Елементи режимів зварювання

№ з/п	d, діаметр зварювального дроту, мм	Товщина заготовок, мм	$U_{x.x}$ В	$U_p$ В	$I_p$ А	Твердість, HR
1						
2						
3						

**Контрольні запитання.**

1. При яких умовах досягається стійке горіння зварювальної дуги?
2. Які відбуваються явища при порушенні рівності швидкості подачі і плавлення електродного дроту?
3. Які фактори впливають на порушення рівності швидкостей подачі і плавлення електродного дроту?
4. Як змінюється напруга дуги і зварювальний струм при зварюванні під флюсом?
5. Що таке система флюс - дріт, від чого залежить її вибір?
6. Яку роль відіграє флюс в формуванні хімічного складу металу шва при зварюванні?
7. Як розділяються флюси для зварювання?
8. Які флюси застосовуються для зварювання вуглецевих, легованих і кольорових металів?
9. Які флюси найбільш поширені і які властивості вони мають?
10. Як поділяють флюси по вмісту кремнію і марганцю?

11. Якими двома способами виготовляють флюси?
12. Які флюси називають керамічними?
13. Які переваги мають керамічні флюси?
14. Від чого залежить витрати флюсу при зварюванні?

## ПРАКТИЧНА РОБОТА № 5

### *Газове зварювання*

Мета роботи: вивчити суть способу, обладнання, прилади та інструменти газового зварювання.

Забезпечення роботи: обладнання, прилади та інструменти поста газового зварювання; листова сталь товщиною 2,5...3 мм і 6...10 мм; листовий алюміній товщиною 3..5 мм, чавунні пластинки товщиною 6...10мм, мідні пластини товщиною 5...8 мм, листова латунь товщиною 1...2 мм; зварювальний дріт діаметром 2...3 мм; алюмінієвий дріт діаметром 2...4 мм; чавунний пруток діаметром 6...12мм; карбід кальцію, бура і флюс для зварювання алюмінію.

### *Загальні відомості*

При газовому зварюванні нагрів основного і присадаючого металу до розплавлення виконується теплом газового полум'я, яке отримується при згорянні різних горючих газів (табл. 18) в суміші з чистим киснем. Технічний кисень для зварювання отримують глибоким охолодженням повітря. Цей спосіб базується на використанні різниці температури кипіння (випаровування) рідкого кисню і азоту.

Газоподібне очищене повітря охолоджується до температури – 192<sup>0</sup> С при нормальному тиску. В результаті чого воно перетворюється в рідину. При зниженні температури до – 196<sup>0</sup> С із рідкого повітря випаровується азот, а кисень, який залишається, переходить в газоподібний стан при температурі 183<sup>0</sup> С. Газоподібний кисень транспортується і зберігається в кисневих балонах ємкістю 40 л. при максимальному тиску 15 мПа. Балони зафарбовані в голубий колір і чорною фарбою написано кисень.

Таблиця 18

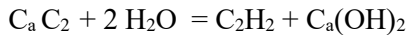
Основні властивості горючих газів і рідин для зварювання та різання металів

Газ	Температура полум'я в суміші з киснем, °С	Кількість кисню на 1 м <sup>3</sup> газу	Застосування	Транспортування та зберігання
1	2	3	4	5
Ацетилен	3100...3200	1,0...1,3	Усі види газо-полуменевої обробки	Розчинений в ацетоні у балонах під тиском до 1,9 МПа
Водень	2400...2600	0,3...0,4	Для зварювання сталей товщин. до 2мм, чавуну, алюмінію, латуні	Газоподібний у балонах під тиском 15 МПа
Коксовий	2100...2300	0,6...0,8	Зварювання легкоплавких металів, паяння, кисневе різання	По газопроводу
Міський	2000...2300	1,5...1,6	Те саме	По газопроводу під тиском до 0,3МПа і в балонах під тиском 15 МПа
Нафтовий	2000...2400	1,5...1,6	-''-	По газопроводу
Бензин	2400	2,6	Газове різання сталі, зварювання та паяння легкоплавких металів	У рідкому вигляді в цистернах або бочках

1	2	3	4	5
Пропан	2600...2750	3,4...3,8	Газове різання і паяння кольорових металів, зварювання сталі завтовшки до бмм, металізація, виправлення, гнуття, вогневе зачищення.	У рідкому вигляді в балонах під тиском 1,6 МПа
Бутан	2400...2500	3,2...3,4	Те саме	Те саме
Пропан - бутан	2500...2700	3,5	-''-	-''-
Гас	2300	2,55	Те саме	Те саме

### *Ацетиленові генератори*

Найбільш поширеним горючим газом при зварюванні і різанні є ацетилен. Технічний ацетилен без кольору, має неприємний запах за рахунок вмісту в ньому сірководню, в 1.1 рази легший від повітря, розчиняється в рідинах. В 1 л ацетона розчиняється 23 л ацетилену при нормальному тиску і температурі. Ацетилен отримують в основному на місці зварювальних робіт з карбіду кальцію в апаратах, які називаються ацетиленовими генераторами. При розкладанні карбіду кальцію водою виділяється ацетилен і утворюється гашене вапно за рівнянням:



В залежності від принципу взаємодії карбіду кальцію з водою ацетиленові генератори поділяють на три системи: «вода на карбід», «карбід у воду», «витіснення».

За величиною тиску генератори поділяють на генератори низького тиску ( до 10 кПа) та середнього ( від 70 до 150 кПа).

За способом застосування генератори є пересувні з продуктивністю 0,5...3 м<sup>3</sup>/год та стаціонарні – 5...160м<sup>3</sup>/год.

Залежно від взаємодії карбіду кальцію з водою – генератори системи КВ (карбід у воду), в яких розкладення карбіду кальцію здійснюється при подачі певної кількості карбіду кальцію у воду, що



знаходиться в реакційному просторі, генератори системи ВК (вода на карбід), в яких розкладення карбіду кальцію відбувається при подачі певної кількості води в реакційній простір, де знаходиться карбід кальцію; генератори системи ВВ (витиснення води) в яких розкладення карбіду кальцію здійснюється при контакті його з водою залежно від зміни рівня води, що знаходиться в реакційному просторі і витісняється газом, що утворюється ; комбіновані генератори.

Усі ацетиленові генератори, незалежно від системи, мають такі основні частини: газоутворювач, газозбірник, запобіжний затвор, автоматичне регулювання вироблюваного ацетилену залежно від його витрат. Схеми найбільш поширених ацетиленових генераторів наведені на рис. 36.

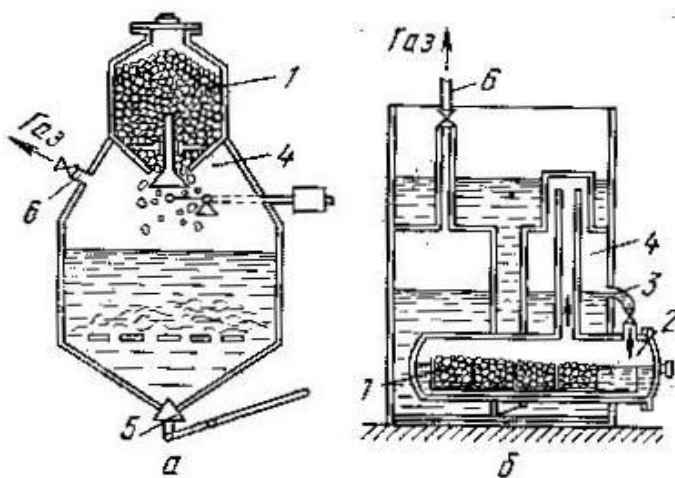


Рис. 36. Схеми найбільш поширених ацетиленових генераторів:

*а* – (карбід у воду); *б* – (вода на карбід); 1 – бункер або барабан з карбідом кальцію; 2 – реторта; 3 – система подачі води; 4 – газозбірник; 5 – випуск мулу; 6 – відбирання газу

Запобіжні затвори – пристрої, що захищають ацетиленові генератори та газопроводи від попадання в них вибухової хвилі при зворотніх ударах полум'я із зварювального пальника чи різачка.

Зворотнім ударом називається займання горючої суміші в каналах пальника чи різачка і розповсюдження полум'я по шлангу горючого

газу. Горюча суміш газів при зворотньому ударі спрямовується по ацетиленовому каналу пальника чи різака в шланг і при відсутності запобіжного затвора – в ацетиленовий генератор, що може призвести до вибуху ацетиленового генератора. Зворотній удар може відбутися тоді, коли швидкість витіснення горючої суміші стане меншою від швидкості її згоряння, і від перегріву та засмічення каналу мундштука пальника.

Запобіжні затвори бувають рідинні та сухі. Рідинні затвори заливаються водою, сухі – заповнюються дрібнозернистою металокерамічною масою. Затвори класифікують за пропускною здатністю – 0,8; 1,25; 2,0; 3,2 м<sup>3</sup>/год; за граничним тиском – низького тиску, в яких граничний тиск ацетилену не перевищує 10 кПа, середнього тиску – 70 кПа і високого тиску – 150 кПа. Запобіжні затвори встановлюються між ацетиленовим генератором або ацетиленопроводом (при багатопостовому живленні) і пальником чи різакком.

Принцип дії водяного затвору показано на рис.37.

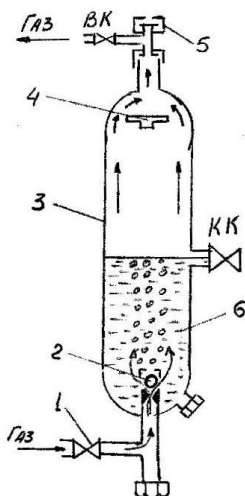


Рис. 37. Схема водяного затвору

Корпус 3 затвору заповнений водою до рівня контрольного крана КК. Ацетилен підводиться по трубці 1, проходить через зворотній клапан 2, розташований у нижній частині корпусу. У верхню частину корпусу газ проходить крізь відбивач 4. Ацетилен відводиться до

місяця споживання через видатковий кран ВК. У верхній частині корпусу є трубка, закрита мембраною з алюмінієвої фольги. При зворотньому ударі мембрана розривається і вибухова суміш виходить назовні. Тиск вибуху через воду передається газу від генератора. Після видалення вибухової суміші мембрану замінюють.

### ***Балони для стиснутих газів***

При газовому зварюванні та різанні найчастіших використовують балони місткістю 40 дм<sup>3</sup>. Балони - це сталіні циліндричні посудини, в горловині яких є конусний отвір з внутрішньою різьбою, куди вкручується запорний вентиль різної конструкції для горючих газів і кисню. Кожному горючому газу відповідає умовний колір балона та колір газу, наприклад, ацетиленові балони фарбують у білий колір, напис роблять червоною фарбою, водневий - у темнозелений і червоною фарбою, пропан – у червоний і білою фарбою.

Живлення постів газового зварювання та різання від ацетиленових генераторів пов'язане з рядом незручностей, тому значного поширення набуло живлення ацетиленом від ацетиленових балонів. Ацетиленові балони наповнюють пористою масою (деревне вугілля, пемза, інфузорна земля), що утворює мікропорожнини, які потрібні для безпечного зберігання ацетилену. Масу в балоні просочують ацетоном (225...300 г на 1 дм<sup>3</sup> місткості балону), в якому добре розчиняється ацетилен. За нормальних умов в одному об'ємі ацетону розчиняється 23 об'єми ацетилену. Тиск розчиненого ацетилену в наповненому балоні не повинен перевищувати 1.9 МПа при 20°C.

Балони мають вентиля - запірні пристрої, які дозволяють зберігати в балоні стиснутий або зріджений газ. Кожний вентиль має шпindel, який переміщується при обертанні маховика, відкриваючи або закриваючи клапан.

### ***Кисневий редуктор***

Для нормальної роботи пальника чи різачка необхідно понизити високий тиск кисню до робочого тиску і підтримувати його під час роботи.

Прилади, в яких виконується зниження тиску кисню, називаються кисневими редукторами. На рис.38 представлена схема кисневого редуктора, який знижує тиск кисню до 0,1...1,5 МПа.

Принцип роботи кисневого редуктора оснований на

підтримуванні в процесі роботи рухомої рівнодії між силою стиснення головної пружини 8, яка хоче відкрити клапан 2, і силою стиснення зворотньої пружини і тиску кисню, який діє на мембрану 6, і хоче закрити її. Величина робочого тиску в камері низького тиску 4 залежить від положення установочного гвинта 9, який міняє силу стиснення затискної пружини 8..

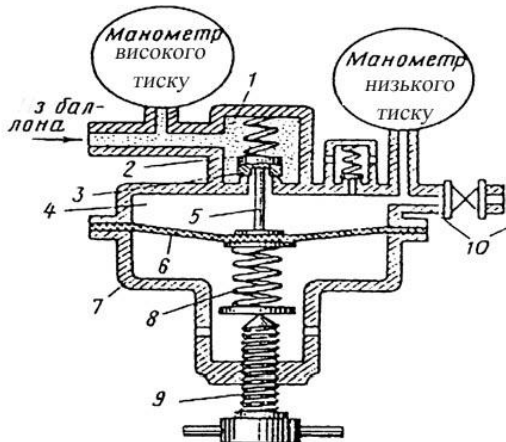


Рис. 38. Однокамерний кисневий редуктор:

1 – камера високого тиску; 2 – клапан; 3 – сідло клапана; 4 – камера низького тиску; 5 – передатний штифт; 6 – мембрана; 7 – кришка корпусу; 8 – затискна пружина; 9 – регулювальний гвинт; 10 – корпус

### **Зварювальні пальники**

Зварювальний пальник – це пристрій, який служить для змішування горючого газу чи пари горючої рідини з киснем і утворення зварювального полум'я. Кожний пальник дозволяє регулювати потужність, склад і форму зварювального полум'я. Зварювальні пальники класифікуються: за способом подачі горючого газу та кисню в змішувальну камеру – інжекторні та без інжекторні; за родом застосовуваного газу; за призначенням – універсальні та спеціалізовані; за числом полум'я - однополуменеві та багатополуменеві; за потужністю – малої потужності (витрата ацетилену 25...400 дм<sup>3</sup>/год), середньої потужності (400...2800 дм<sup>3</sup>/год).

Найширше застосування мають інжекторні пальники, що працюють на суміші ацетилену з киснем. В інжекторних пальниках

горючий газ всмоктується у змішувальну камеру струменем кисню, що подається в пальник з більшим тиском, ніж горючий газ. Схема інжекторного пальника показана на рис 39.

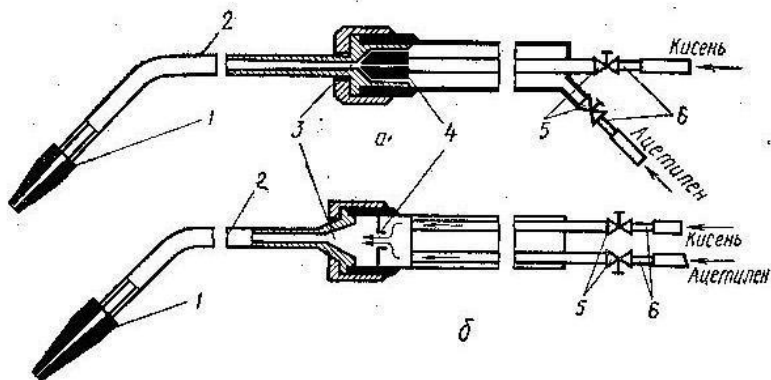


Рис. 39. Схеми ацетиленових пальників:  
а – інжекторні; б – безінжекторні

Кисень під тиском надходить до пальника і крізь приєднувальний штуцер 6 та регульовальний вентиль 5 подається до інжектора 4. Виходячи з великою швидкістю з вузького каналу інжекторного конуса, кисень створює значне розрідження в камері 3 і засмоктує горючий газ, який надходить крізь ацетиленові канали пальника до камери 3 змішувача, де й утворюється горюча суміш. Потім горюча суміш надходить по наконечнику 2 до мундштука 1, на виході з якого, при згорянні утворює зварювальне полум'я.

Пальники цього типу мають змінні наконечники з різними діаметрами вихідних отворів інжектора та мундштука, що дозволяє регулювати потужність ацетиленово-кисневого полум'я.

В безінжекторних пальниках горючий газ і кисень подають приблизно під однаковим тиском до 100 кПа. В них інжектор замінено простим соплом, яке вгвинчується в трубку наконечника пальника.

### **Газове полум'я**

Ацетиленове полум'я складається з трьох зон (рис 40): ядра полум'я, середньої відновлювальної зони, факела полум'я – окислювальної зони. Ядро являє собою газову суміш сильно

нагрітого кисню та дисоційованого (розкладеного) ацетилену -  $2C + H_2 + O_2$ . Ядро виділяється різким обрисом і яскравим свічінням. Горіння починається в відновлювальній зоні. В ній відбувається перша стадія згоряння ацетилену за рахунок кисню, що надходить із балона, за реакцією  $2C + H_2 + O_2 = 2CO + H_2$ . Вуглець згоряє повністю, а водень, як такий, що має меншу спорідненість до кисню порівняно з вуглецем, у цій зоні не окислюється (не згоряє). Зона відновлення, яка має найвищу температуру і відновлювальні властивості, називається зварювальною або робочою зоною.

В окислювальній зоні (факелі) відбувається друга стадія горіння ацетилену за рахунок атмосферного кисню за реакцією:  $2CO + H_2 + 3/2O_2 = 2CO_2 + H_2O$ . Вуглекислий газ та пара води при високих температурах окислюють залізо, тому цю зону називають окислювальною.

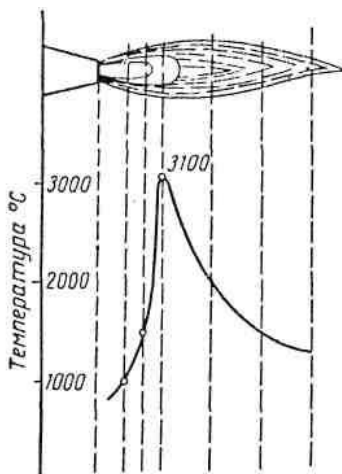


Рис. 40. Схема нормального ацетилено-кисневого полум'я та розподілу температур

Для повного згоряння одного об'єму ацетилену потрібно два з половиною об'єми кисню, один об'єм надходить з кисневого балона і півтора об'єму – з повітря. Для повного згоряння однакового об'єму різних газів потрібна різна кількість кисню (табл.19). Також в цій таблиці приведено вибір номера наконечника в залежності від товщини зварювального металу.

Газове полум'я нагріває метал внаслідок процесів теплообміну –

змушеної конвекції та випромінювання. Теплові характеристики газового полум'я ( температура, ефективна теплова потужність, розподіл теплового потоку полум'я по плямі нагріву) залежать від теплотворної здатності горючого газу, частоти кисню та їх співвідношення у суміші.

Таблиця 19

Витрата газів при зварюванні сталі пальниками  
типу РС-53 та ГСМ - 53

Номер наконечника	Товщина металу, мм.	Робочий тиск, кПа	Витрати газів, л/год	
			кисню	ацетилену
1	2	3	4	5
0	0,2...0,7	50...400	22...70	20...65
1	0,5...1,5	100...400	55...135	50...125
2	1...2,5	150...400	130...260	110...210
3	2,5...4	200...400	260...440	230...400
4	4...7	100...400	430...750	400...700
5	7...11	200...400	740...1200	670...1100
6	10...18	200...400	1150...1950	1050...1750
7	17...30	200...400	1900...3100	1700...2800

Сама висока температура в другій зоні на відстані 2..4 мм від кінця ядра. Вона сягає тут 3150...3200° С. Цією частиною полум'я виконується нагрів і розплавлення металу в процесі зварювання.

При рівних пропорціях кисню і ацетилену, які поступають із пальника, друга зона складається із окису вуглецю і водню, і має відновлювальний характер. Таке полум'я називається нормальним. ( $B = V_{O_2}/V_{C_2H_2} = 1.1...1.3$ )

При надлишку кисню утворюється окислювальне полум'я (більше 1,3), а при надлишку ацетилену – науглецьовувальне полум'я. Всі три види полум'я показані на рис.41.

### *Технологія газового зварювання*

Газове зварювання - це зварювання плавленням, при якому метал у зоні з'єднання нагрівається до розплавлення газовим полум'ям (рис. 42).

При нагріванні газовим полум'ям 4 зварювальні заготовки

розплавляються разом із присаджувальним металом 2, який може додатково вводиться в полум'я пальника. Після затвердіння рідкого металу утворюється зварний шов 5.

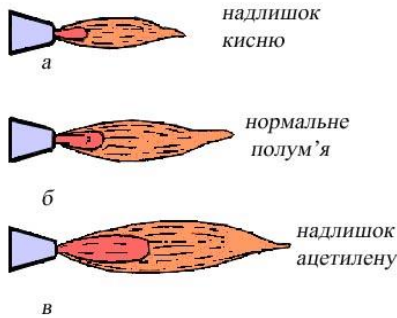


Рис. 41. Види ацетилено-кисневого полум'я: а – нормальне; б – кисле; в – науглецьовувальне

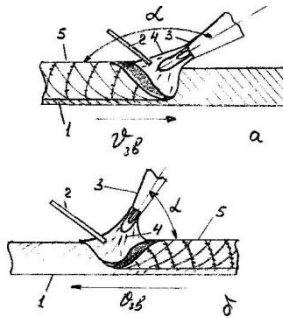


Рис. 42. Схеми газового зварювання: а – правим; б – лівим способом

До переваг газового зварювання належить простота способу, простота обладнання, відсутність джерела електричної енергії. Обладнання поста для газового зварювання показано на рис. 43.

До недоліків газового зварювання належать: менша продуктивність, складність механізації, більша зона нагрівання та нижчі механічні властивості зварних з'єднань, ніж при дуговому зварюванні.

Газове зварювання використовують при виготовленні та ремонті виробів з тонколистової сталі завтовшки 1..3 мм, зварюванні чавуну,



алюмінію, міді, латуні, наплавлення твердих сплавів, виправлення лиття на ін.

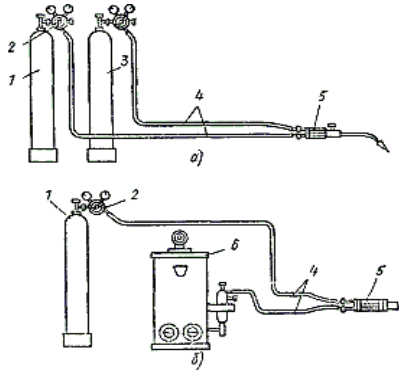


Рис. 43. Схема газоживлення пересувного зварювального поста:  
а – від балонів, б – від ацетиленового генератора; 1 – балон з киснем, 2 – кисневий і ацетиленовий редуктори, 3 – балон з ацетиленом, 4 – рукави, 5 – пальник, 6 – пересувний ацетиленовий генератор

### **Вибір режиму і техніка газового зварювання**

Діаметр присаджувального металу визначають за залежностями:  
 $d = S/2 + 1$  – для лівого способу зварювання;  $d = S/2$  – для правого способу, де  $S$  – товщина металу в мм. При товщині металу більше 15 мм діаметр дроту беруть рівним 6..8 мм.

Для того, щоб в процесі зварювання встановлений зазор і положення деталей не мінялись, перед зварюванням роблять попередню “прихватку” – зварювальні деталі зєднують одну з другою в декількох місцях короткими швами. Довжину прихватки і відстань між ними вибирають в залежності від товщини зварювального металу і довжини шва. При зварюванні тонких листів і коротких швів довжина прихваток складає не більше 5 мм, а відстань між ними 80...100 мм. При зварюванні сталі товщиною 3...4 мм і значній довжині шва довжину прихваток збільшують до 20..30 мм, а відстань між ними – до 300...500мм.

Стикові з'єднання товщиною 2...3 мм можуть виконуватись і без присаджувального металу. При зварюванні деталей товщиною до 5..6 мм в нижньому положенні пальник переміщують по шву прямолінійно, без поперечних рухів. Кут нахилу пальника і присаджувального металу при цій товщині складає близько 30...40°.

При великих товщинах кінцю зварювального дроту надають

зигзагоподібний рух, протилежний руху пальника.

При товщині металу 2..3 мм кінці присаджувального металу періодично занурюють в зварювальну ванну і виймають з неї. При великих товщинах він весь час залишається занурений в зварювальну ванну.

Теплову потужність зварювального полум'я визначають витратою ацетилену, що проходить за одну годину через пальник. Вона регулюється змінними наконечниками пальника (номером наконечника). Потужність визначають за емпіричною формулою  $Q_a = A \cdot S$ , де:  $Q_a$  - витрата ацетилену,  $S$  - товщина металу, мм;  $A$  - коефіцієнт, що визначається дослідом,  $\text{дм}^3 / \text{год} \cdot \text{мм}^2$ , для вуглецевих сталей  $A=100..130$ ; для міді -150, для алюмінію 75. Знаючи потрібну потужність полум'я, за табл. 19 вибирають потрібний номер наконечників.

Нормальним полум'ям зварюють більшість сталей. Окислювальним полум'ям, яке має блакитний відтінок і загострену форму ядра користуються при зварюванні латуні. Навуглецювальне полум'я, яке стає кіптявим, подовжується і має червонуватий відтінок, використовують в основному при зварюванні чавуну для компенсації вуглецю, що вигоряє.

### ***Зварювання чавуну***

Для зварювання чавуну вибирається наконечник пальника із розрахунку 100 - 120 л/год ацетилену на 1 мм товщини металу. Полум'я встановлюється нормальним з невеликим надлишком ацетилену. Присадочним матеріалом є чавуновий пруток діаметром від 6 до 12 мм. Для виділення утворених окислів заліза, марганцю і кремнію застосовується флюс – прожарена бура ( $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$ ) або суміш: 56% бури, 22% вуглекислого натрію і 22% вуглекислого калію. Бура при розкладанні в зоні зварювання виділяє  $\text{Na}_2\text{O}$  та  $\text{B}_2\text{O}_3$ , які взаємодіють з окислами, перетворюючи їх у шлак.

### ***Зварювання алюмінію і його сплавів***

Зварювання алюмінію і його сплавів утруднюються утворенням на поверхні зварювальної ванни тугоплавких окислів алюмінію, які мають температуру плавлення  $2050^\circ \text{C}$ , більшу температури плавлення алюмінію ( $680^\circ \text{C}$ ).

Зварювальні кромки і присаджувальний метал при зварюванні алюмінію необхідно перед зварюванням очистити і обезжирити 10%

розчином їдкого натрію на протязі 1 хв. Після обезжирення детально промивають в проточній воді і підсушують. Потужність пальника береться із розрахунку 100..120 л/год на 1мм товщини металу. Полум'я повинно бути строго нормальне.

При зварюванні застосовується флюс марки АФ – 4а, що містить 50% хлористого калію, 14% хлористого літію, 8% фтористого натрію, 28% хлористого натрію. Флюс розводять дистильованою водою і наносять на зварювальні кромки та присаджувальний пруток у вигляді пасти.

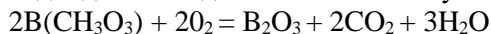
Таблиця 20

Діаметри присаджувального металу при зварюванні алюмінію

Товщина металу, мм.	Діаметр дроту, мм.
До 1,5	1,5
1,5...3	2...3
3...5	3...4
5...7	4...4,5
7...10	4,5...5,5

### ***Зварювання міді та її сплавів***

При зварюванні міді та її сплавів поряд з порошкоподібними флюсами на основі бури високу якість отримують при застосуванні флюсу БМ - 1, що складається з 25% метилового спирту та 75% метилборату, або флюсу БМ - 2, що складається лише з метилборату  $B(CH_3O_3)$ . Ці флюси вводяться в зварювальну ванну у вигляді пари разом з ацетиленом за допомогою спеціального флюсоживильника, крізь який пропускається ацетилен перед надходженням до пальника. У полум'ї флюс згоряє за реакцією:



Борний ангідрид  $B_2O_3$  - флюсоуюча речовина.

### ***Паяння твердими припоями***

При паянні металів з'єднання деталей в нагрітому стані виконується за допомогою присаджувального металу, який має температуру плавлення меншу температури плавлення з'єднувальних металів.

Паяння металів поділяється на паяння твердими і м'якими припоями. Тверді припої мають температуру плавлення вище  $500^\circ C$ , м'які - нижче  $400^\circ C$ . Крім цього, паяння твердими припоями

забезпечує міцність при розриві 500 МПа. при паянні м'якими припоями межа міцності не перебільшує 50...70 МПа.

Паяння твердими припоями за допомогою зварювального пальника широко застосовують, замінивши ним інколи зварювання, лиття і ковку.

В якості твердих припоїв для паяння чорних і деяких кольорових металів і сплавів застосовують латуні марок Л62, Л68, ЛОК 62 - 0,6 – 0,4 і ЛОК 59 – 1 – 0,3, склад яких наведений в табл. 21.

Таблиця 21

Склад твердих припоїв

Марка припою	Склад в %			
	Мідь	Цинк	Кремій	Олово
Латунь Л62	60,5...63,5	решта	-	-
Латунь Л68	67...70	решта	-	-
Латунь ЛОК 62-0,6-0,4	60...63	решта	0,3...0,4	0,4...0,6
Латунь ЛОК 59-1-0,3	58...60	решта	0,2...0,4	0,7...1,1

Ці припої мають температуру плавлення 905...938<sup>0</sup>, а межа міцності, яку вони забезпечується, знаходяться в межах 300...350 МПа. Для запобігання окислення металу в процесі нагріву, а також для видалення окислів, які утворюють при паянні, обов'язково застосовують флюс, який наноситься на поверхню металу. При паянні сталі і мідних сплавів мідно-цинковими та іншими припоями, найбільш часто застосовують буру і борну кислоту. Для запобігання при паянні кипіння бури, її використовують в прокатному виді.

### ***Порядок виконання роботи***

1. Ознайомитись і законспектувати властивості газів, які використовують при газовому зварюванні.
2. Ознайомитися з будовою і замалювати схеми обладнання, яке використовується при газовому зварюванні.

3. Вивчити і замалювати будову газового полум'я.
4. Підібрати горючий газ, номер наконечника, розрахувати режими і техніку газового зварювання для листової сталі товщиною 2,5...3 мм і 6...10мм, листового алюмінію товщиною 3...5 мм, чавунних пластинок товщиною 6...10 мм, мідних пластинок товщиною 5...8 мм, листової латуні товщиною 1...2 мм, дані занести в таблицю 22.
5. Виконати зварювання заготовки.

Таблиця 22

Таблиця результатів вимірювання

№ з / п	Зварювальний матеріал	Товщина, мм.	Горючий газ	Номер мундштука	Вид полум'я	Флос	Спосіб зварювання /лівий, правий/	Потужність пальника дМЗ/год. мм	Вид припою, його марка	Робочий тиск, кПа	Діаметр присаджувального матеріалу, мм	Марка присаджувального матеріалу
1	Сталь	2.5-3										
2	Сталь	6..10										
3	Алюміній	3..5										
4	Чавун	6..10										
5	Мідь	5..8										
6	Латунь	1..2										

### *Контрольні запитання*

1. Поясніть будову та властивості газового полум'я.
2. Які гази використовуються для газополуменевої обробки ?
3. Назвіть основні параметри режиму газового зварювання.
4. У чому полягають лівий та правий способи зварювання?
5. Яка будова газового пальника?
6. Яка будова газового редуктора?
7. Як класифікують способи добування ацетилену?
8. Поясніть будову ацетиленового генератора.
9. Поясніть будову водяного затвору.

10. Які флюси використовуються при зварюванні чавуну?
11. Які флюси використовуються при зварюванні алюмінію?
12. Які флюси використовуються при зварюванні міді?
13. Пояснити суть паяння твердими припоями.
14. Назвіть марки припою і поясніть їх склад.

## ПРАКТИЧНА РОБОТА № 6

### *Газокисневе різання металу*

Мета роботи: вивчити суть способу, обладнання, прилади та інструменти газокисневого різання.

Забезпечення роботи: обладнання, прилади та інструменти поста газокисневого різання; листова сталь товщиною 2,5...3 мм і 6...10 мм; чавунні пластинки товщиною 6...10 мм; мідні пластинки товщиною 5...8 мм; листова латунь товщиною 1...2 мм; порошкоподібний флюс для різання чавуну і кольорових металів.

### *Загальні відомості*

Кисневим різанням називається спосіб відокремлення металу, що ґрунтується на використанні для його нагрівання до температури займання теплоти газового полум'я та екзотермічної (з виділенням теплоти) реакції окислення металу, а для видалення оксидів – кінетичної енергії різального кисню.

За характером і спрямованістю кисневого струменя розрізняють три основних види різання: роздільне, при якому утворюються наскрізним розрізи; поверхнєве, при якому знімається поверхневий шар металу; кисневим списом, що полягає в пропалюванні в метали глибоких отворів.

На рис. 44 показана схема роздільного різання. Метал 3 нагрівається в початковій точці розрізу до температури займання (у кисні для сталі до 1000...1200°C) підігрівальним ацетилено-кисневим полум'ям 2, потім спрямовується струмінь різального кисню 1 і нагрітий метал починає горіти з виділенням значної кількості теплоти за реакцією:  $3\text{Fe} + 2\text{O}_2 = \text{Fe}_3\text{O}_4 + Q$

Теплота  $Q$  від горіння заліза разом з підігрівальним полум'ям розігріває шари, що лежать нижче і розповсюджується на всю товщину металу. Чим менша товщина розрізуваного металу, тим більша роль підігрівального полум'я (при товщині 5 мм - до 80% загальної кількості теплоти, що виділяється при різанні, при товщині

більше як 50 мм - лише 10%). Оксиди 5, що утворюються, а також частково розплавлений метал видаляються із зони – розрізу 4 під дією кінетичної енергії струменя кисню. Безперервне підвищення теплоти та різального кисню забезпечують неперервність процесу.

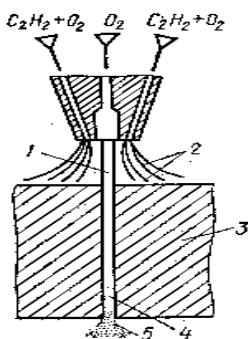


Рис. 44. Схема роздільного різання

### Умови різання

Для забезпечення нормального процесу різання мають бути виконані наступні умови:

1. Джерело теплоти має бути потрібної потужності, щоб забезпечити нагрівання металу до необхідної температури реакції зварювання металу, а кількість теплоти, що виділяється при зварюванні металу в кисневому струмені має бути достатньою для підтримання безперервного процесу різання.

2. Температура плавлення металу має бути вищою за температуру його окислення (горіння) в кисні, інакше метал при нагріванні плавиться і примусово видалятиметься з розрізу без характерного для процесу різання окислення, що є головним джерелом теплоти.

3. Температура плавлення металу має бути вищою за температуру плавлення оксидів, що утворюються в процесі різання, інакше тугоплавкі оксиди ізолюють метал від контакту з киснем і утруднюють процес різання.

4. Оксиди та шлаки, що утворюються, мають бути рідкотекучими й легко видуватися струменем різального кисню, інакше контакт кисню з рідким металом буде уповільненим або зовсім неможливим.

Усім переліченим умовам задовольняє вуглецева сталь, тому її можна різати киснем.

Першу умову при газовому різанні не задовольняє мідь у зв'язку з її високою теплопровідністю, що сильно утруднює початок процесу різання, і високим тепловиділенням при окисленні.

Другу та четверту умови не задовольняє чавун. В міру підвищення вмісту вуглецю в залізі процес різання значно погіршується внаслідок зниження температури плавлення та підвищення температури займання. Чавун, що містить більше як 1,7% вуглецю, кисневим різанням не обробляється. Крім того, в'язкість шлаку значно зростає при збільшенні вмісту кремнію, який обов'язково міститься в чавуні, що також є однією з причин неможливості вести кисневе різання чавуну.

Третя умова не задовільняється при різанні алюмінію, магнію та їх сплавів, а також сталей з великим вмістом хрому та нікелю. При нагріванні цих сплавів у процесі різання на їх поверхні утворюється плівка тугоплавкого оксиду, що перешкоджає надходженню кисню до неокисленого металу.

Основні параметри кисневого роздільного різання: характеристика підігрівального полум'я - потужність, горючий газ, співвідношення суміші горючого газу та кисню; характеристика струменя різального кисню – тиск, витрати, форма, чистота, швидкість різання.

### ***Киснево-флюсове різання***

Для різання хромистих, хромо-нікелевих, нержавіючих сталей, чавуну та кольорових металів, які не задовільняють умовам кисневого різання, застосовують спосіб киснево-флюсового різання, суть якого полягає в тому, що в зону розрізу разом з різальним киснем вводиться спеціальний порошкоподібний флюс, при згорянні якого виділяється додаткова теплота і підвищується температура в зоні розрізу. Крім того, продукти згоряння флюсу, взаємодіючи з тугоплавкими оксидами, легко видаляються із зони розрізу, не перешкоджаючи нормальному перебігу процесу.

Основними компонентами порошкоподібних флюсів, застосовуваних при різанні металів, є залізний порошок, який, згоряючи, виділяє велику кількість теплоти (близько 180 ккал/кг). Для поверхневого та роздільного різання нержавіючих сталей використовують як флюс суміш алюмінієво – магнієвого порошку з феросиліцієм або силікокальцієм. Алюмінієвий порошок, який



входить до складу флюсової суміші, згоряючи в струмені кисню, підвищує температуру полум'я, а феросиліцій або силікокальцій діють на оксиди хрому як флюсоуюча суміш.

Основне завдання флюсу при різанні чавуну полягає в розчиненні флюсу залізом на ділянці розрізу, знижені в сплаві вмісту вуглецю, а також розрідження шлаку, в якому міститься багато кисню. До складу флюсів для різання чавуну входить залізний та алюмінієвий порошки, кварцовий пісок і ферофосфор.

Кольорові метали і сплави піддають киснево–флюсовому різанню лише із застосуванням флюсів. Склад флюсів для киснево–флюсового різання наведено в табл. 23.

Таблиця 23

Склад флюсів для киснево – флюсового різання

Метал	Склад флюсу, %, за масою						
	Залізний порошок	Алюмінієвий порошок	Алюмінієво-магнієвий порошок	Ферофосфор	Феросиліцій	Силікокальцій	Кварцевий пісок
Чавун	65...75	-	-	35..25	-	-	-
	65...75	10...5	-	-	-	-	25..20
Нержавіюча сталь	100	-	-	-	-	-	-
	80...90	10...10	-	-	-	-	-
	-	-	60...80	-	40...20	-	-
	-	-	25...30	-	40...20	75..70	-
Мідь	70...80	30...20	-	-	-	-	-
Латунь	70...80	10...5	-	-	-	-	20..15
Бронза	65...75	10...15	-	15..10	-	-	-

Установки для киснево – флюсового різання складаються з двох основних частин: різачка (ручного чи машинного) та флюсоживильника, що забезпечує подачу та регулювання витрат флюсу.

### *Різаки для газового різання*

Різаки служать для змішування горючого газу з киснем для утворення підігрівального полум'я та подачі до розрізаного металу струменя різального кисню. Технічні дані різаків наведені в табл. 24.

Ручні різаки для газового різання класифікують за такими ознаками:

- родом горючого газу, на якому працюють – для ацетилену, газів
- заміників, рідкого пального;
- принципом змішування горючого газу та кисню – на інжекторні та безінжекторні;
- призначеннями – універсальні та спеціальні;
- видом різання – для роздільного, поверхневого, киснево-флюсового, списового.

Таблиця 24

Технічні дані різаків РР-33; “Полум'я”

№ з/п	Товщи на розрізуемого металу	Номер мундштука		Тиск кисню в МПа	Витрата в м <sup>3</sup> /год		Приблизна ширина різа, мм.	Середня швидкість різання, мм/хв..
		Внутрішнього	Зовнішнього		O <sub>2</sub>	C <sub>2</sub> H <sub>2</sub>		
1	5	1	1	0,3	2,6	0,8	2...2,5	550
2	25	2	1	0,4	5,2	0,9	2,5...3,5	370
3	50	3	1	0,6	8,5	1,0	3,5...4,5	260
4	100	4	2	0,8	18,5	1,0	4,5...7	165
5	200	5	2	1,1	33,5	1,1	7...10	105
6	300	5	2	1,2	42,0	1,2	8...11	80

Широкого застосування набули інжекторні різаки, що дозволяють різати сталь завтовшки від 3 до 300 мм. Схема різака наведена на рис. 45. У різаку конструктивно об'єднані підігрівальна та різальна частини. Підігрівальна частина аналогічна за будовою до зварювального пальника. Різальна частина складається з додаткової труби 5 для подачі різального кисню та вентиля 4 для регулювання подачі. У мундштуку 3 є два концентрично розташованих отвори для

виходу підігрівального полум'я 1 та різального струменя 2. Гази в мундштук подають і регулюють за допомогою відповідних вентилів.

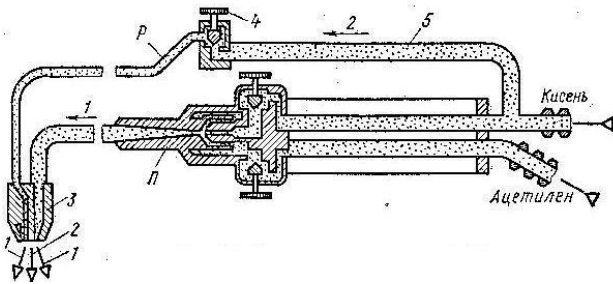


Рис. 45. Схема різачка

### **Поверхнево-кисневе різання металу**

Поверхнево-кисневим різанням називається процес зняття кисневим струменем шару металу. В цьому разі струмінь кисню спрямований по його поверхні обробки під гострим кутом ( $15 - 40^\circ$ ), але на відміну від роздільного різання напрям струменя збігається з напрямом різання, і метал, розміщений попереду різачка, нагрівається нагрітим шлаком (рис.46), що переміщується.

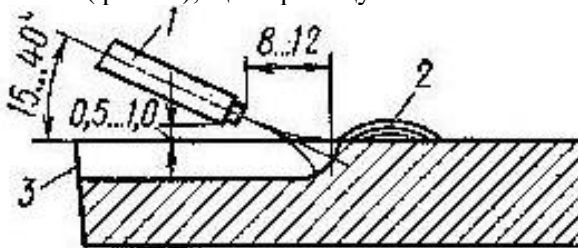


Рис. 46. Схема поверхнево - кисневого різання:  
1 – мундштук; 2 – шлак; 3 – канавка

### **Різання кисневим списом**

Різання кисневим списом (рис, 47) виконують тонкостінною сталлюю трубою (списом) із зовнішнім діаметром 20..35 мм. Трубку приєднують до рукоятки з вентилям для кисню і по ній подають кисень до місця розрізу.

До початку різання кінець трубки нагрівають газовим пальником чи електричною дугою до температури займання. Кисневий спис

гарячим кінцем притискають з досить великим зусиллям до виробу (метал, бетон, залізобетон) і пропалюють таким чином отвір.

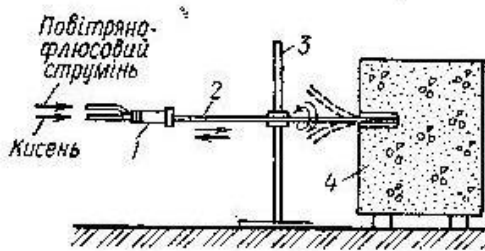


Рис. 47. Схема пропалювання отвору в бетоні кисневим списом:  
1 – тримач списа; 2 – спис; 3 – захисний екран; 4 – бетонний виріб

Утворювані в процесі пропалювання отвору шлаки тиском кисню та газів виносяться назовні з зазору між списом і стінкою пропалюваного отвору. Цьому процесу сприяють зворотньо-поступальні та обертальні рухи списом.

### **Порядок виконання роботи**

1. Ознайомитися і законспектувати суть процесу різання металу.
2. Ознайомитися з будовою і замалювати схеми обладнання, яке використовується при газовому різанні.
3. Ознайомитися і законспектувати основні поняття киснево-флюсового різання.
4. Ознайомитися і замалювати схеми видів кисневого різання.
5. Підібрати горючий газ, номер мундштука, розрахувати режими і техніку газового різання для листової сталі товщиною 2,5...3 мм і 6...10 мм, чавунних пластинок 6...10мм, мідних пластинок товщиною 5...8 мм, листової латуні товщиною 1...2 мм, дані занести в таблицю 25.
6. Виконати різання заготовок.

### **Контрольні запитання**

1. Поясніть суть процесу кисневого різання.
2. Назвіть і поясніть основні умови виконання кисневого різання.
3. Які з умов не задовільняють процес різання чавуну, алюмінію, магнію та сплавів.
4. Поясніть суть процесу киснево - флюсового різання.

Таблиця 25

Таблиця результатів вимірювання

№ з/п	Матеріал для розрізування	Товщина, мм	Горючий газ		Номер мунштука	Вид полум'я	Флюс	Потужність дм <sup>3</sup> /год. мм	Тиск кисню МПа	Приблизна швидкість Різання.мм/хв	Витрата газів, м <sup>3</sup> /год		Час нагрівання металу до температури закипання, С	Ширина різку, мм
			Зовнішній	Внутрішній							Кисню	Горючих газів		
1	сталь													
2	сталь													
3	чавун													
4	мідь													
5	латунь													

5. Назвіть основні компоненти порошкоподібних флюсів для різання різних металів.
6. Будова і принцип роботи газового різачка.
9. Приведіть класифікацію ручних різаків.
10. Суть поверхневого різання.
11. Суть різання кисневим списом.

## ПРАКТИЧНА РОБОТА № 7

### *Визначення впливу параметрів режиму точкового контактного зварювання на міцність точки*

Мета роботи: вивчити суть способу, обладнання точкового контактного зварювання. Вивчити вплив зусиль стиснення, густини зварюваного струму і часу включення і шунтування на міцність зварювальної точки.

Забезпечення роботи: машина точкового контактного зварювання; прилад для вимірювання зусиль стиснення зварювального струму; секундомір; штангенциркуль; комплект змінних електродів; набір пластин із низьковуглецевої сталі.

### Загальні відомості

Точкове контактне зварювання – контактне зварювання, при якому з'єднання елементів відбувається на ділянках, обмежених площею нагріву електродів, які проводять струм і передають зусилля стиску (рис.48).

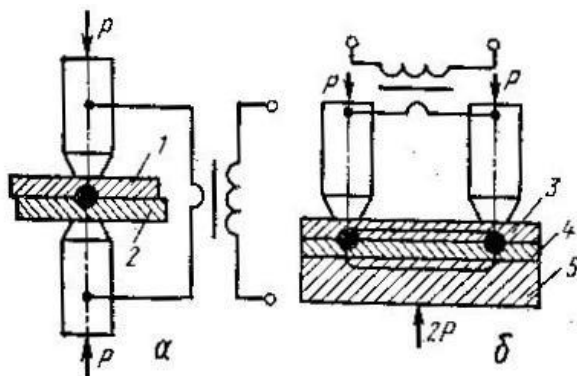


Рис. 48. Схема точкового контактного зварювання:  
а) двохстороннього; б) одностороннього

Точковим контактним зварюванням звичайно з'єднують листові конструкції з однорідних або різнорідних чорних та кольорових металів однакової та різної товщини або листи з катаними, пресованими, кованими чи обробленими різанням деталями.

За кількістю одночасно зварюваних точок, точкове зварювання може бути одно - , дво - , та багатоточковим. При точковому зварюванні деталі складають внапуск, затискають між електродами, з'єднаними із зварювальним трансформатором, при вмиканні якого деталі нагріваються короткочасним (0,01...0,5с) імпульсом струму до появи розплавленної зони в місці контакту деталей або ядра точки. Зусилля після виникнення струму зберігається деякий час для того, щоб кристалізація розплавленого металу точки відбувалася під тиском, що запобігає появі усадочних дефектів – тріщин і дірчастості. Точкове з'єднання залежно від розташування електродів

відносно зварюваних деталей може бути двостороннім і одностороннім. При двосторонньому зварюванні (рис. 48,а) дві чи більшу кількість заготовок 1 і 2 стискають між електродами точкової машини. При односторонньому зварюванні (рис. 48,б) струм розподіляється між верхнім і нижнім листами 3 і 4, при чому нагрів здійснюється струмом, що проходить через нижній лист. Для збільшення цього струму передбачається струмопровідна мідна підкладка 5. Одностороннім зварюванням можна з'єднувати деталі одночасно двома точками.

Параметрами режиму точкового зварювання є: зусилля стиску, густина струму та час проходження струму. Одна з циклограм точкового зварювання показана на рис 49.

Весь цикл зварювання складається з таких стадій: стискання зварювальних деталей між електродами; вмикання струму та розігрівання місця контакту до температури плавлення з утворенням литого ядра точки; вмикання струму та збільшення зусилля стиску для поліпшення структури зварювальної точки; знімання зусилля з електродів.

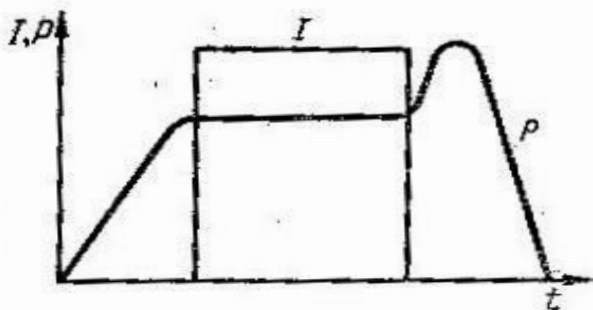


Рис. 49. Циклограма точкового зварювання:  
 $I$  – зварювальний струм;  $P$  – зусилля стиску;  $t$  – час

Режим точкового зварювання визначається наступними основними параметрами:

зусилля стискання –  $P$ , Н;

діаметр контактної поверхні електрода –  $d_e$ ;

зварювальний струм і його густина  $I, A$ ;  $I/F, A/m^2$ ;

тривалість включення –  $t$ , с.

Режим точкового зварювання може бути: м'яким – невеликий

струм і тиск, але тривале включення зварювального струму; жорстким – великий струм, тиск і короткочасне включення зварювального струму.

М'які режими застосовують на машинах з педальним приводом механізму стиснення. Жорсткі - на машинах з електромеханічним і пневматичним приводами.

В процесі зварювання між деталями утворюється лите ядро (рис. 50), розміри якого в основному визначають міцність точки.

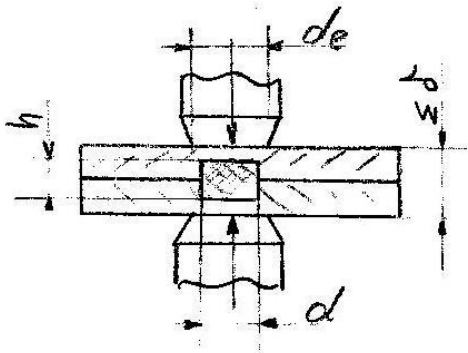


Рис. 50. Схема зварювальної точки:

$d$  – діаметр ядра;  $h$  – товщина ядра;  $d_e$  – діаметр контактної поверхні електрода;  $\Sigma\delta$  – сумарна товщина зварювальних деталей

### Зусилля стиснення

Зусилля стиснення суттєво впливає на електричний опір зварювального контакту (на міцність зварювальної точки). З збільшенням зусиль стиснення, при незмінних останніх параметрах, зменшується опір зварювального контакту, виділення тепла в ньому, і розміри зварювальної точки. Це приводить до зниження міцності. При недостатньому зусиллі стиснення можлива відсутність контакту і виникнення електричної дуги. Температура дуги набагато вища температури контактної точки і виникає ймовірність згоряння з'єднаних листів і контактів. Питомий тиск рівний:

$$\rho = P/F; \text{ н/м}^2, \quad (1)$$

де  $P$  – зусилля стиснення, н;  $F$  – площа контакту, м<sup>2</sup>.

При зварюванні низьковуглецевої сталі величина питомого тиску складає 40...120 МПа. Більші значення використовуються при зварюванні листів більшої товщини на більш жорстких режимах.

Зусилля стиснення вимірюється пристроєм, наведеним на рис. 51.



Контрольну пластину 2 і оправку 4 з кулькою 3 діаметром 10 мм стискають між електродами 1. Після цього, за допомогою мікроскопу Брінелля вимірюють діаметр відбитка і порівнюють його з еталоном. Діаметр контактної поверхні електроду вимірюють штангенциркулем чи спеціальним шаблоном.

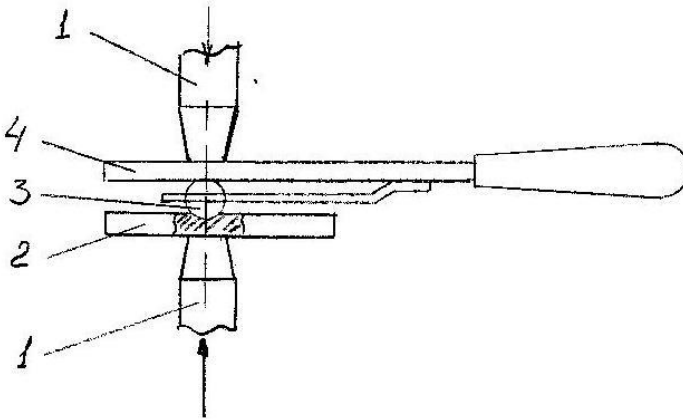


Рис 51. Пристосування для визначення зусилля стиснення по відбитку

Діаметр контактної поверхні електродів залежить від товщини зварювального металу і приблизно визначається за формулою:

$$d_c \approx 5.5\sqrt{\delta}, \text{ м} \quad (2)$$

де  $\delta$  – товщина найбільш тонкого місця, м.

Зварювальний струм і його густина впливають на кількість тепла, яке виділяється на нагрів металу. Необхідний струм визначають як залежність товщини зварювальних листів і тиску. Найбільш характерним параметром точкового зварювання є густина струму в зварювальному контакті. При зварюванні низьковуглецевої сталі на м'яких режимах густина струму складає 80...160 А/мм<sup>2</sup>, а на жорстких – 160...400 А/мм<sup>2</sup>. Величину зварювального струму можна вибрати по таблиці 26 і виміряти за допомогою амперметра. При зварюванні сталі товщиною 0,001...0,003 м зварювальний струм можна визначити із співвідношенням:  $I \approx 6500\delta$ , А.

### **Тривалість включення струму**

Одним із основних параметрів режиму зварювання є тривалість включення струму. Вона залежить від товщини металу і суттєво

впливає на розміри ядра зварювальної точки і її міцність. Недостатня тривалість включення не дає можливості сформуватись нормальному ядру. Значне збільшення тривалості струму може викликати перегрів металу.

Таблиця 26

Режим точкового зварювання низьковуглецевої сталі

№ з/п	Товщи на пластини $\Sigma\delta$ , мм	Діаметр контактної поверхні електрода $d_e$ , мм	Тривалість включення струму $t$ , С	Зусилля стиснення $P$ , н	Зварювальний струм $I$ , А
<b>М'який режим</b>					
1.	0,5+0,5	5	0,8	300...400	3000...4000
2.	1,0+1,0	5	1,0	800...1200	4500...5000
3.	1,5+1,5	6	1,0	1000...1400	5000...6000
4.	2,5+2,5	8	2,0	1800...2400	7500...9000
5.	2,0+2,0	7	2,0	1600...2000	6200...7000
6.	3,0+3,0	10	2,0	2000...3000	9000...10000
7.	4,0+4,0	12	2,0	3000...4000	10000...11800
8.	5,0+5,0	12	2,0	4000...5000	13000...14000
9.	6,0+6,0	14	2,0	5000...6000	15000...16000
<b>Жорсткий режим</b>					
1.	0,5+0,5	5	0,2...0,3	300...400	4000...5000
2.	1,0+1,0	5	0,2...0,35	800...1200	6000...7000
3.	1,5+1,5	6	0,25...0,35	1200...1600	7000...8000
4.	2,0+2,0	7	0,25...0,35	1600...2000	8000...9000
5.	2,5+2,5	8	0,40...0,60	2000...2500	11000...12000
6.	3,0+3,0	10	0,60...1,00	5000...6000	12000...16000
7.	4,0+4,0	12	0,80...1,10	6000...8000	14000...18000
8.	5,0+5,0	12	0,90...1,20	8000...9000	17000...27000
9.	6,0+6,0	14	1,0...2,50	9000...12000	20000...25000

При зварюванні низьковуглецевих сталей на жорстких режимах тривалість включення струму можна визначити за залежністю:

$$t = (0,2...0,4) \Sigma\delta, c \quad (3)$$

де  $\Sigma \delta$  – сумарна товщина зварювальних листів, мм

Для визначення тривалості включення струму застосовують секундомір. Орієнтовні м'які і жорсткі режими точкового зварювання низьковуглецевої сталі наведені в табл. 26.

### Опір зони зварювання

Великий вплив на характер нагріву деталей (на якість зварювання) має загальний опір зони зварювання  $R_0$  (рис.52).

$$R_0 = R_K + 2R_D + 2R_{e}, \text{ ом} \quad (4)$$

де  $R_K$  – опір контакту між деталями;  $R_D$  – опір металу деталей;  $R_e$  – опір контакту між електродом і деталлю.

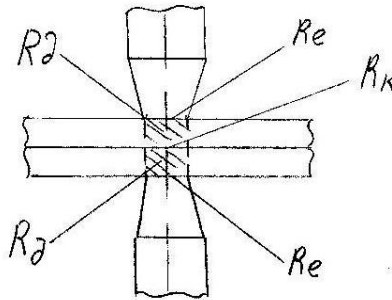


Рис. 52. Опір зони зварювання

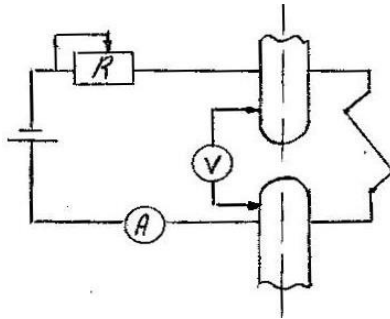


Рис. 53. Вимірювання контактної опору

Опори  $R_K$  і  $R_e$  збільшуються з зменшенням тиску, погіршенням чистоти підготовки деталей і самих електродів. Контактний опір вимірюють методом амперметра-вольтметра (рис.53). При

вимірюванні контактному опору деталі затискаються між електродами з певним зусиллям, незмінним в процесі вимірювання. При цьому, один електрод повинен бути ізольованим від вторинного контуру машини.

### ***Вплив шунтування струму на розміри і міцність зварювальної точки***

При шунтуванні частина зварювального струму проходить через суміжні, раніше зваренні точки (рис.54). При цьому струму  $I_2$  проходить по електроді, розгалуджується і зварювальний  $I_{зв}$  зменшується. Чим менша відстань між точками, тим більша частина струму відгалудження і тим більше тепла безцільно затрачується на нагрів деталей поза зварюванням. Струм в шунті може досягати значних величин:

$$I_{ш} = (0.3 \dots 0.4)I \quad (5)$$

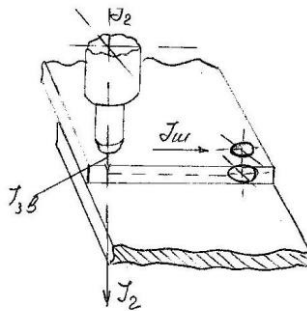


Рис. 54. Вплив шунтування струму на розміри і міцність зварювальної точки

### ***Оцінка якості точкового зварювання***

Якість зварювальної точки оцінюється по зовнішньому виду і контрольними іспитами зразків. Зразки досліджують на зріз (рис.55 а), на відрив (рис.55 б), а також на скручування (рис.55 в). Відрізають і маркують зразки згідно схеми (рис.55 г). Такий порядок вирізання дає можливість одночасно визначати вплив шунтування струму на міцність зварювальної точки. Для технологічних досліджень зварних точок в лещатах застосовується зубило з вирізом (рис.55 д).

### ***Порядок виконання роботи***

Визначення впливу зусилля стиснення і чистоти поверхні деталей на загальний опір зони зварювання.

1. Зібрати схему досліді (рис. 53).

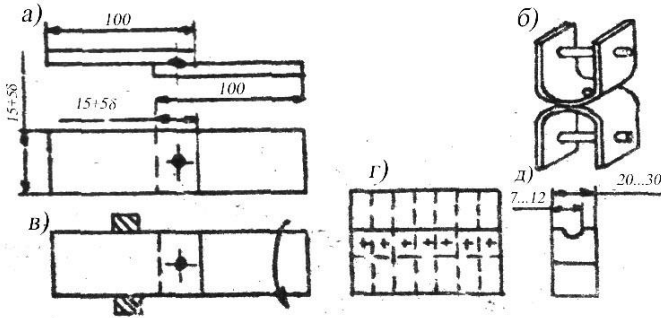


Рис. 55. Зразки для дослідження точкового зварювання:

а) зразки на зріз; б) зразки на відрив; в) зразки на скручування; г) маркування зразків; д) зубило з вирізом

2. Затиснути між електродами під невеликим тиском дві незачищені пластини із низьковуглецевої сталі, ізолювавши один із електродів за допомогою фібрової прокладки від корпусу машини, і виміряти загальний опір зони зварювання.
3. Поступово збільшити тиск до максимального, повторити заміри опору 5...8 раз.
4. Зачистити пластини і контактні поверхні електродів до металевого блиску і виміряти опір при тому ж тиску.
5. Всі дані занести в таблицю 27 і побудувати графік залежності опору зони зварювання від зусиль стиснення.

Визначення впливу окремих параметрів режиму точкового зварювання на міцність точки

1. Підібрати для даної товщини пластини за табл.26 режим зварювання і встановити його на машині .
2. Визначити діаметр контактної поверхні електродів.
3. Провести зварювання 3-х пар пластин.
4. Визначити якість зварювальних точок за зовнішнім виглядом і результатами досліджень їх на зріз, відрив і скручення, і дані занести в таблицю 28.

Виявлення впливу шунтування струму на розміри і міцність зварювальної точки

1. Для даної товщини металу підібрати по таблицях режим зварювання і встановити його на машині.
2. Зачистити поверхні обох пластин, розмітити їх для зварювання 3..5 точками з кроком 6..10 мм (рис.55 г) і зварити їх.
3. Розрізати зварені пластини на полоски, дослідити кожну із них на відрив і виміряти діаметри, дані занести в таблицю 29.

Таблиця 27

Визначення впливу зусилля і чистоти поверхні пластин на загальний опір зони зварювання

Метал	Товщина $\delta$ , м	Стан поверхні	Зусилля стиснення	Загальний опір зони зварювання				Примітка
				1-й замір	2-й замір	3-й замір	Середнє значення	
		брудна чиста						

Таблиця 28

Залежність окремих параметрів режиму точкового зварювання на міцність точки

Товщина $\delta$ , мм	Режим	Ступінь потужності	Діаметр контактн. поверхні електр. $d_e$ , мм	Зварювальн. струм I, А	Густина струму $A/m^2$	Зусилля стиснення P, Н	Питомий тиск $p$ , Н/мм <sup>2</sup>	Тривалість включення струму t, С	Результати дослідження
	Нормальний								
	Із зменшенням одного параметру								
	Із збільшенням одного параметру								

Таблиця 29

Вплив шунтування струму на розміри і міцність зварювальної точки

Товщина, м	Номер точки	Режим зварювання				Діаметр ядра після відриву, м				Примітка
		Зварювальн. струм I, А	Тривалість включ. струму t, С	Зусилля стиснення Р, Н	Крок точок, м	1-й замір	2-й замір	3-й замір	Середнє значення	
	1									
	2									
	3									

### Контрольні запитання

1. Що входить в основні параметри режиму точкового зварювання?
2. Дайте характеристику м'якого і жорсткого режимів точкового зварювання.
3. Як впливають на міцність і якість зварювальної точки зусилля стиснення, зварювальний струм, тривалість включення, чистота зварюваних поверхонь, шунтування струму.
4. Поясніть будову приладу для визначення зусилля стиснення.
5. Що входить в загальний опір зони зварювання і як він визначається?
6. Назвіть види точкового зварювання.

## *Використана література*

1. Пахаренко В. Л. Лабораторний практикум з обробки металів різанням (свердління, стругання, шліфування і протягування). Рівне : РДТУ, 1999. 96 с.
2. Пахаренко В. Л. Лабораторний практикум з обробки металів різанням (точіння, фрезерування). Рівне : РДТУ, 1997. 140 с.
3. Пахаренко В. Л. Матеріалознавство та технологія конструкційних матеріалів (обробка металів різанням). Рівне : РДТУ, 2001. 160 с.
4. Технологія металів та інших конструкційних матеріалів / Г.О. Прейс, М. А. Горпенюк, П. П. Єднерал та ін. К. : Вища школа, 1975. 372 с.
5. Пахаренко В. Л., Марчук М. М., Ігнатюк Р. М. Технологія обробки матеріалів (сучасні методи обробки металів тиском). Рівне, 2024. 120 с.
6. Пахаренко В. Л., Марчук М. М. Матеріалознавство та технологія конструкційних матеріалів (металургія, ливарне виробництво). Рівне, 2009. 179 с.
7. Пахаренко В. Л., Марчук М. М., Івасбк П. І. Матеріалознавство та технологія конструкційних матеріалів (обробка металів різанням, тиском та зварювання). Рівне, 2013. 126 с.