

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ**  
**ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**  
**МІСЬКОГО ГОСПОДАРСТВА імені О. М. БЕКЕТОВА**

**МЕТОДИЧНІ РЕКОМЕНДАЦІЇ**  
до організації та проведення розрахунково-графічної роботи  
із навчальної дисципліни

**«КОНСТРУКЦІЙНІ МАТЕРІАЛИ»**

*(для студентів усіх форм навчання першого (бакалаврського) рівня  
вищої освіти за спеціальністю 141 – Електроенергетика, електротехніка та  
електромеханіка, освітня програма «Електромеханіка»)*

**Харків**  
**ХНУМГ ім. О. М. Бекетова**  
**2021**

Методичні рекомендації до організації та проведення розрахунково-графічної роботи з навчальної дисципліни «Конструкційні матеріали» (для студентів усіх форм навчання першого (бакалаврського) рівня вищої освіти за спеціальністю 141 – Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка, освітня програма «Електромеханіка») / Харків. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова ; уклад. : В. І. Скуріхін, І. В. Агарков – Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2021. – 35 с.

Укладачі: канд. техн. наук В. І. Скуріхін,  
І. В. Агарков

Рецензент

**Д. Ю. Зубенко**, кандидат технічних наук, доцент Харківського національного університету міського господарства імені О. М. Бекетова

*Рекомендовано кафедрою електричного транспорту, протокол № 1 від 27 серпня 2020 р.*

## Зміст

Вступ.....	4
1 Електродугове зварювання.....	4
1.1 Основні теоретичні відомості.....	4
1.2 Зварювальні джерела живлення та їх зовнішні вольт-амперні характеристики .....	6
1.3 Конструкція зварювального трансформатора.....	10
1.4 Режими роботи зварювального трансформатора .....	11
1.5 Сталі та їх зварюваність.....	14
1.6 Електроди для ручного дугового зварювання .....	15
2 Розробка технологічного процесу зварювання резервуару .....	18
2.1 Зварювальні з'єднання .....	18
2.2 Площі поперечного перерізу зварних швів і з'єднання.....	18
2.3 Порядок, послідовність та напрям накладання швів.....	20
2.4 Режим зварювання та вибір обладнання.....	21
3 Послідовність виконання роботи .....	27
4 Приклад оформлення звіту .....	27
5 Контрольні запитання .....	32
6 Варіанти завдань .....	33
Список рекомендованої літератури .....	34

## ВСТУП

Зварна техніка та технології займають одне з провідних місць у сучасному виробництві. Більшість конструкцій сучасних машин та споруд, наприклад автомобілів, поїздів, нафто- та газопроводів, неможливо виготовити без використання зварки.

Розвиток техніки тягне за собою підвищення продуктивності праці, що призводить до збільшення рівня механізації та автоматизації виробництва. Пред'являються нові вимоги, зокрема до технологій зварювання, без яких сьогодні неможливо уявити серійне виробництво багатьох видів транспортних засобів, тощо.

Багаторазово розширилися й умови виконання зварювальних робіт. Сьогодні зварювальні роботи виконуються в умовах радіації, високих температур, у вакуумі, під водою. Використовуються нові види зварювального устаткування, яке використовує лазерне, світлове, вибухове, іонне, ультразвукове, електромагнітне види взаємодій.

Все це висуває підвищені вимоги до кваліфікації фахівців у галузі зварювання, так як саме вони безпосередньо освоюють нові способи і прийоми зварювання, нові зварювальні машини.

Під час проектування нових машин і механізмів фахівець повинен розуміти фізичну сутність основних процесів, що відбуваються при зварюванні, знати особливості зварювання різних конструкційних матеріалів, а також зміст і технологічні можливості інших, як традиційних, так і нових, перспективних способів зварювання.

Мета роботи – вивчити конструкцію і принцип дії зварювальних апаратів для ручного дугового зварювання. Освоїти навички вибору зварювального устаткування, електродів і параметрів режиму зварювання.

## 1 ЕЛЕКТРОДУГОВЕ ЗВАРЮВАННЯ

### 1.1 Основні теоретичні відомості

Електродуговим зварюванням називається зварювання плавленням, при якому нагрів зварювальних кромek здійснюється теплотою електричної дуги. Ручне електродугове (дугове) зварювання широко застосовують в будівництві при з'єднанні заготовок завдяки його універсальності і можливості виконувати процес у всіх просторових положеннях зварювального шва.

Ручне дугове зварювання проводиться двома способами: електродом, що не плавиться і плавиться з покриттям. Другий спосіб є основним при ручному дуговому зварюванні в будівництві (рис. 1).

До електроду 1 і основного металу 3 підводиться постійний або змінний струм від спеціального зварювального джерела живлення 10 і виникає електрична зварювальна дуга 6. Тепло дуги розплавляє стрижень електрода і основний метал, утворюється металева ванна 8. Разом зі стрижнем плавиться покрит-

тя електрода 2, утворюючи захисну газову атмосферу 7 навколо дуги і рідку шлакову ванну 9 на поверхні розплавленого металу. Металева і шлакова ванни разом створюють зварювальну ванну, яка, охолоджуючись, утворює зварний шов 4. Рідкий шлак, остигаючи, створює на поверхні зварного шва тверду шлакову кірку 5.

Дугою називають потужний стійкий електричний розряд в іонізуючому газовому середовищі між електродом і виробом. Залежно від того, в якому середовищі відбувається горіння електричної дуги, розрізняють:

- відкриту дугу, палаючу на повітрі (склад газового середовища в зоні дуги: повітря з домішкою парів металу, що зварюється, матеріалу електродів і електродних покриттів);
- закриту дугу, палаючу під шаром флюсу (склад газового середовища в зоні дуги: пари основного металу, дроту і захисного флюсу);
- електричну дугу, палаючу в середовищі захисних газів (склад газового середовища в зоні дуги: атмосфера захисного газу, пари основного металу і зварювального дроту).

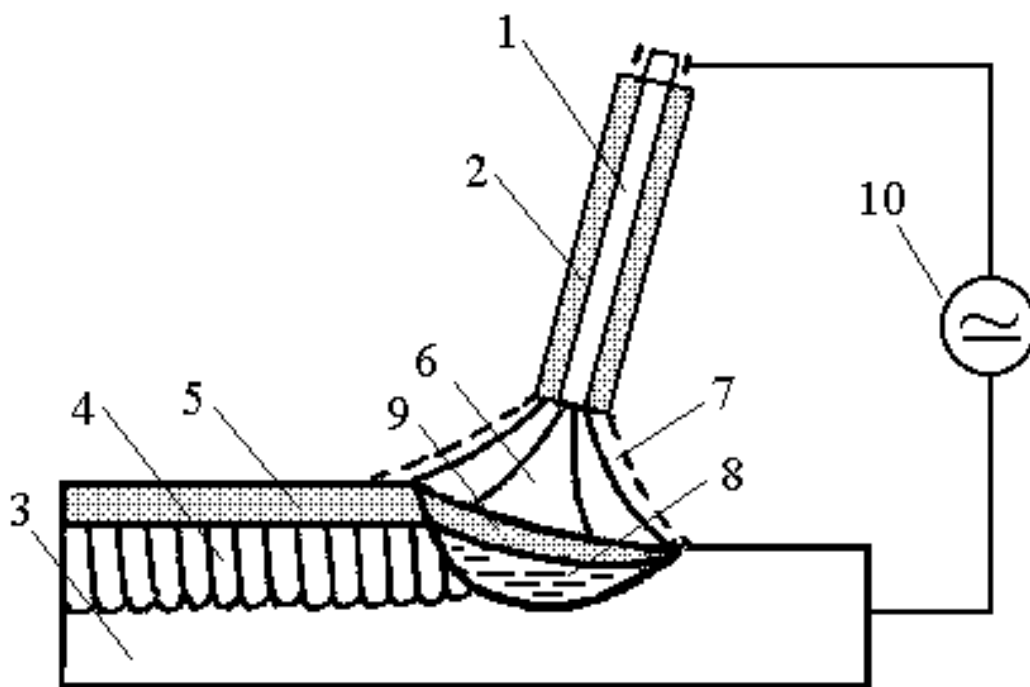


Рисунок 1– Схема ручного дугового зварювання електродом, що плавиться з покриттям:

- 1 – стрижень електрода; 2 – покриття електрода; 3 – основний метал; 4 – зварні шви; 5 – тверда шлакова кірка; 6 – електрична дуга; 7 – газова захисна атмосфера; 8 – рідка чавунна ванна; 9 – рідка шлакова ванна; 10 – зварювальне джерело живлення.

При електричному дуговому зварюванні електрична енергія перетворюється в теплову, яка концентровано вводиться в деталі, що зварюються.

Повна теплова енергія, що виділяється при горінні зварювальної дуги:

$$Q_n = I \cdot U \cdot \tau, \quad (1)$$

де  $I$  – сила зварювального струму, А;

$U$  – напруга зварювальної дуги, В;

$\tau$  – час зварювання, с.

Однак не вся теплова енергія, що виділяється при горінні зварювальної дуги, витрачається на нагрів і розплавлення основного металу і електрода. Частина теплової енергії витрачається на плавлення окремих компонентів покриття й утворення газів, а частина - розсіюється в навколишньому середовищі.

Ефективною тепловою енергією називають корисно використовувану при зварюванні теплоту:

$$Q_{эфф} = \eta \cdot I \cdot U \cdot \tau, \quad (2)$$

де  $\eta$  – коефіцієнт корисного використання теплової енергії зварювальної дуги.

Коефіцієнт корисного використання теплової енергії зварювальної дуги залежить від конкретних умов зварювання. Так, при ручному дуговому зварюванні величина цього коефіцієнта може коливатися в межах  $\eta = 0,6 \dots 0,82$ .

У процесі зварювання електрод, що плавиться, нагрівається двома джерелами:

– тепловою енергією зварювальної дуги  $Q_{эфф}$ ;

– теплотою, що виділяється при протіканні електричного струму на вильоті електрода (довжина електрода від електротримача до кінця електрода)  $Q$ .

Тепло, що виділяється на вильоті електрода  $Q$ , розраховується за законом Джоуля – Ленца:

$$Q = I^2 \cdot R \cdot \tau \text{ Дж}, \quad (3)$$

де  $R$  – опір вильоту електрода, ом. Опір вильоту електрода  $R = \frac{\rho \cdot l}{S} \cdot 10$ , Ом,

де  $\rho$  – питомий опір, Ом·см;  $l$  – довжина вильоту електрода, мм;  $S$  – площа поперечного перерізу електрода, мм<sup>2</sup>.

## 1.2 Зварювальні джерела живлення та їх зовнішні вольт-амперні характеристики

Дугове зварювання плавленням виконують постійним або змінним струмом (рис. 2 – 4).

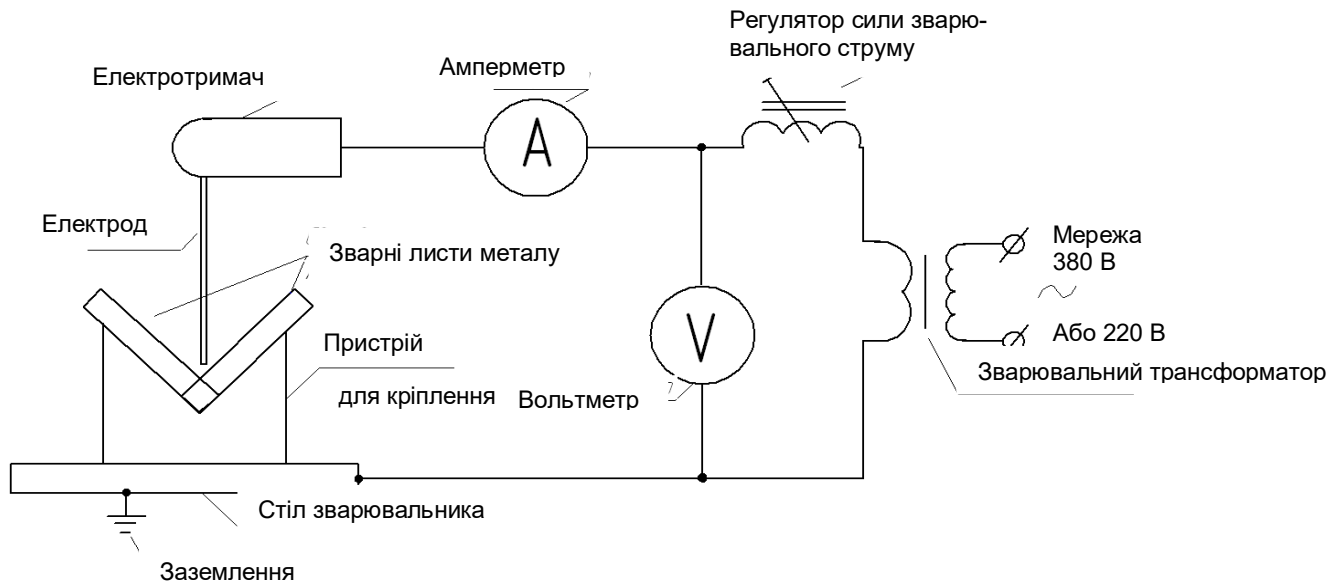


Рисунок 2 – Принципова схема зварювання змінним струмом

Для зварювання змінним струмом (рис. 2) застосовують зварювальні трансформатори. Трансформатор знижує напругу мережі з 380 В або 220 В до 70 – 80 В і менше, одночасно збільшуючи силу струму до потрібного значення. Для регулювання сили струму використовують регулятори. Вони або виконані окремо від трансформатора (рис. 2), або поєднані з трансформатором (рис. 6, 7). Амперметр і вольтметр показують величину сили струму і напруги при зварюванні.

Для зварювання постійним струмом застосовують зварювальні перетворювачі (рис. 3), зварювальні агрегати або зварювальні випрямлячі (рис. 4).

Зварювальні перетворювачі мають електричний привод – електродвигун змінного струму. Вал електродвигуна з'єднаний з валом генератора, який перетворює механічну енергію в постійний електричний струм. У зварювальних агрегатах вал генератора обертається двигуном внутрішнього згоряння.

Там, де є мережева електроенергія, використовують зварювальний перетворювач (електродвигун + генератор). У польових умовах, де немає мережевої електроенергії, використовують зварювальний агрегат (двигун внутрішнього згоряння + генератор).

В даний час на багатьох підприємствах зварювальні перетворювачі заміняють випрямлячами, оскільки у них більше коефіцієнт корисної дії. У випрямних установках змінний струм з виходу понижуючого трансформатора подають на випрямляч.

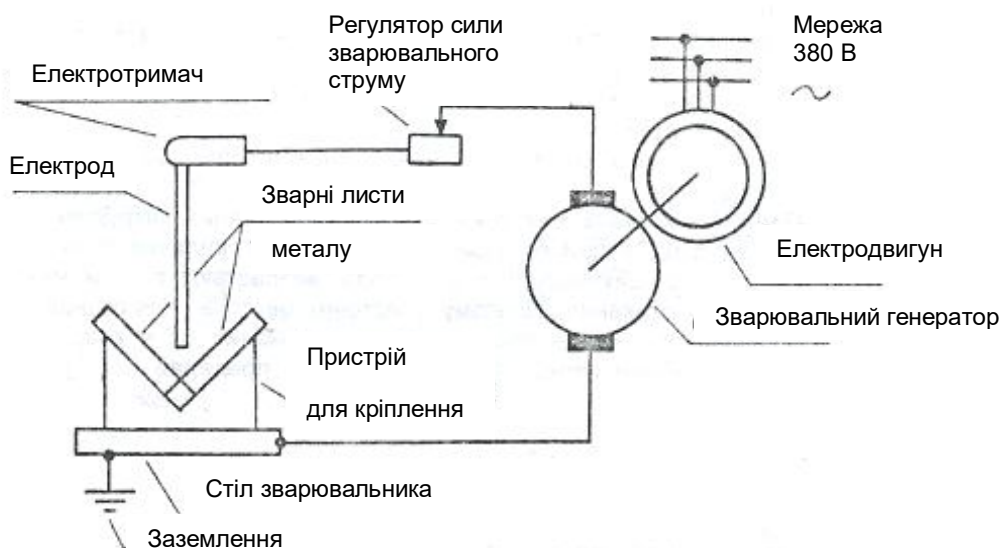


Рисунок 3 – Принципова схема зварювання постійним струмом

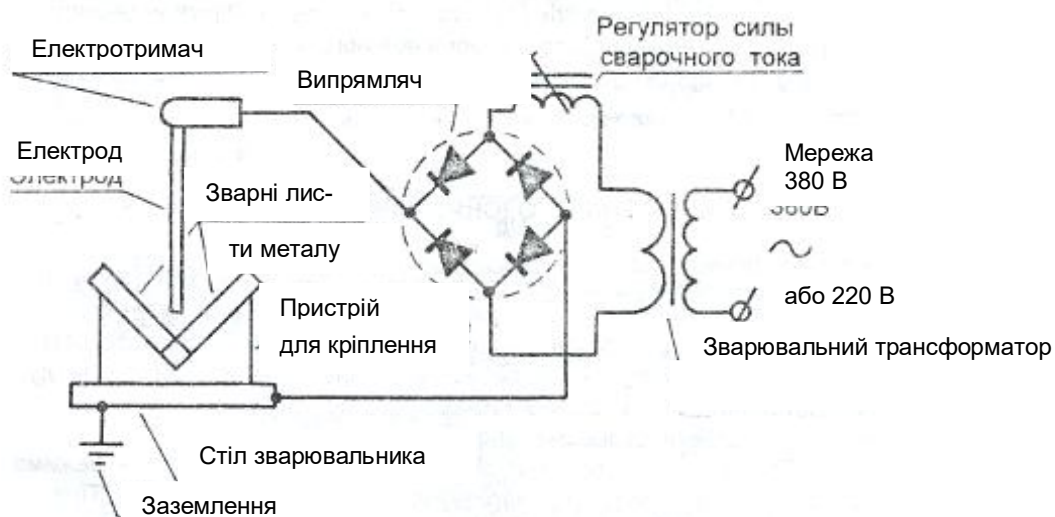


Рисунок 4 – Принципова схема зварювання випрямленим струмом

При зварюванні постійним струмом забезпечується висока стабільність горіння зварювальної дуги і, як наслідок, якість зварного з'єднання. Тому високолеговані сталі, з яких виготовляють відповідальні конструкції, зварюють з використанням постійного струму.

До джерел струму для ручного дугового зварювання пред'являють наступні вимоги:

- напруга холостого ходу має забезпечувати надійне запалювання зварювальної дуги, а також відповідати правилам техніки безпеки (не повинно перевищувати  $U_{xx} = 80 \text{ В}$ );

- струм короткого замикання повинен бути обмежений;

- зовнішня вольтамперна характеристика джерела струму повинна бути крутопадаючою (рис. 5), для обмеження струмів короткого замикання і підвищення стабільності горіння зварювальної дуги (зовнішньої вольтамперної характеристикою називають залежність напруги на клеммах джерела від струму на-



вантаження).

При малих значеннях струму короткого замикання ускладнюється запалювання дуги, а при великих його значеннях збільшується перегрів струмоведучих частин і електрода, зростають втрати металу на розбризкування. Тому у джерел струму для ручного дугового зварювання відношення струму короткого замикання  $I_{кз}$  і зварювального струму  $I_{зв}$  повинно змінюватися в наступних межах:

$$1,25 < \frac{I_{кз}}{I_{зв}} < 2,0. \quad (4)$$

Довжину дуги зварник підтримують самостійно. Тому в процесі зварювання можлива зміна її довжини через мимовільні рухи руки. Джерело зварювального струму повинне забезпечити стійке горіння зварювальної дуги при зміні її довжини.

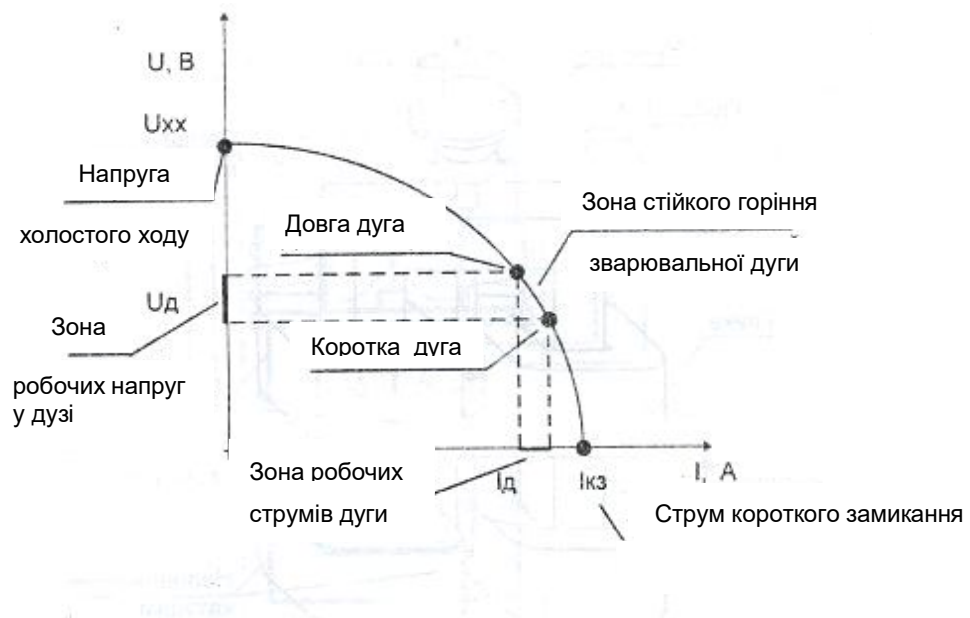


Рисунок 5 – Зовнішня вольт-амперна характеристика джерела струму

Дуга змінного струму запалюється і гасне 100 раз в секунду. Тому для інтенсивного початкового і повторного запалювання дуги при проектуванні джерел зварювального струму забезпечують умову:

$$\frac{U_{xx}}{U_{\phi}} = 1,8 \div 2,5. \quad (5)$$

Напруга холостого ходу у різних зварювальних апаратів  $U_{xx} = 40 \dots 80$  В. У зварювальних апаратів постійного струму напруга холостого ходу і робоча напруга нижче, ніж у трансформаторів завдяки більш високій стійкості горіння зварювальної дуги постійного струму.

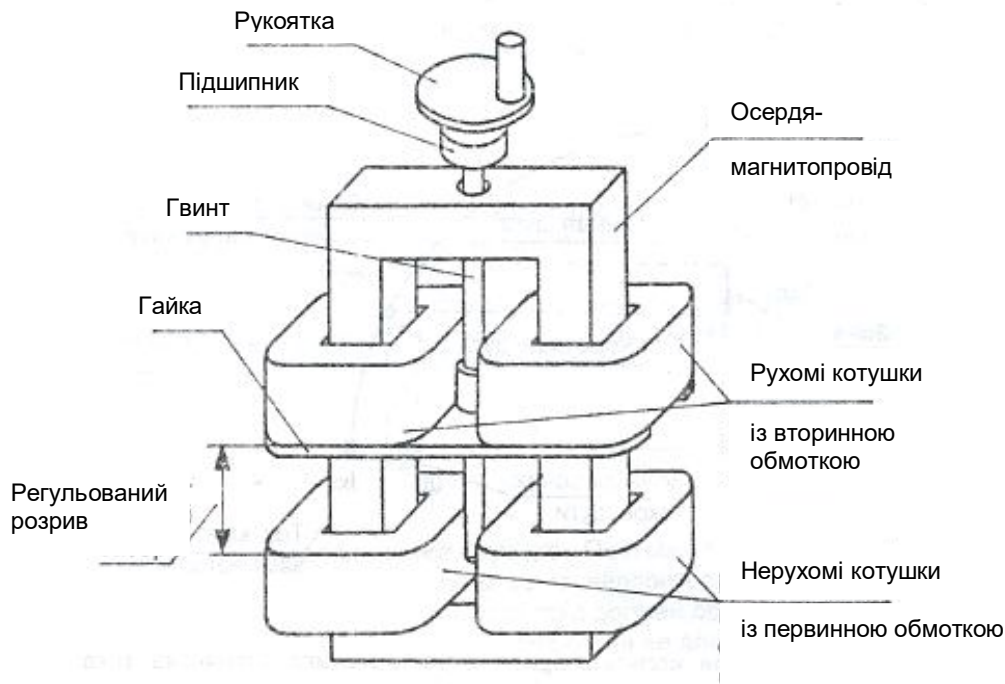


Рисунок 6 – Конструктивна схема зварювального трансформатора з рухомими котушками вторинної обмотки

Більш низька напруга зменшує ймовірність ураження зварника електричним струмом.

### 1.3 Конструкція зварювального трансформатора

Межі регулювання зварювального струму  $I_{зв}$  трансформатора ТД-300 становлять 60 ... 400 А. Напруга холостого ходу – 61 і 79 В. Робоча напруга дорівнює 30 В.

Основними елементами зварювального трансформатора (рис. 6, 7) є:

- сердечник (магнітопровід);
- нерухомі котушки з первинної обмоткою;
- рухомі котушки із вторинною обмоткою.

Величину зварювального струму регулюють зміною відстані між первинними і вторинними котушками завдяки рухомих вторинним котушкам.

При збільшенні відстані між обмотками зменшується магнітний потік, який пронизує вторинну котушку. Чим більше зазор, тим більша частина магнітного потоку втрачається за рахунок розсіювання в просторі. Тому зварювальний струм зменшується. Зменшення відстані між обмотками призводить до збільшення струму.

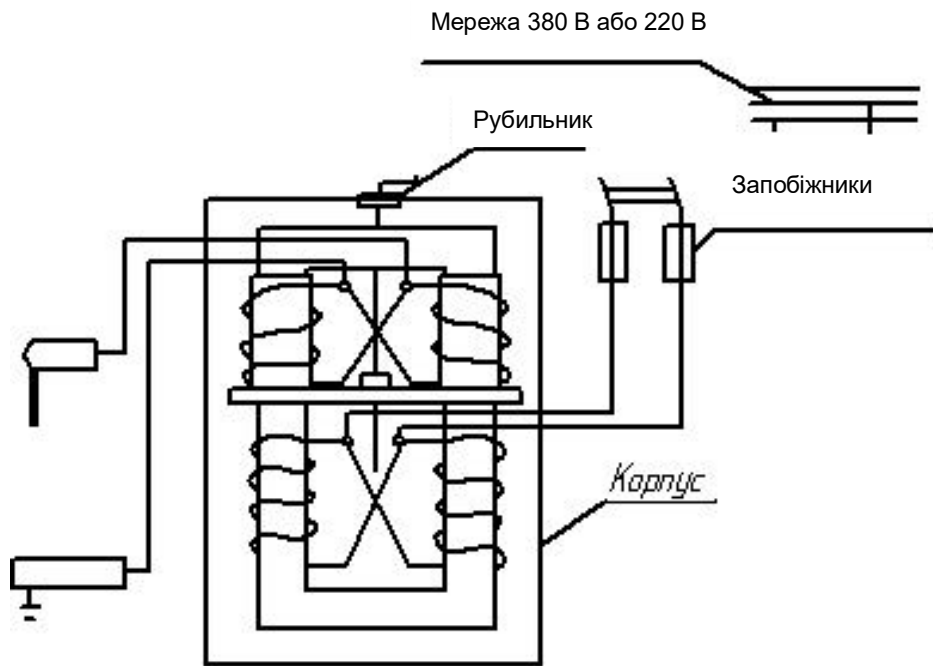


Рисунок 7 – Принципова електрична схема зварювального трансформатора з рухомими котушками вторинної обмотки.

#### 1.4 Режими роботи зварювального трансформатора

Дія зварювального трансформатора засновано на явищі електромагнітної індукції.

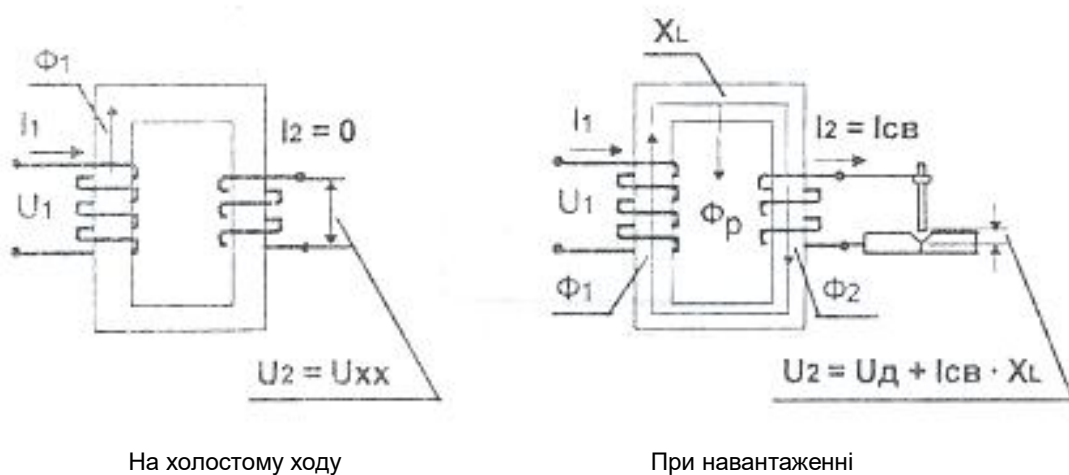


Рисунок 8 – Робота трансформатора

Режим холостого ходу трансформатора (рис. 8) встановлюють при розімкнутій вторинній обмотці в момент підключення первинної обмотки до мережі змінного струму з напругою  $U_1$ . При цьому по первинній обмотці йде струм

$I_1$ , який створює змінний магнітний потік  $\Phi_1$ . Цей потік індукує у вторинній обмотці змінну напругу  $U_2$ . Оскільки ланцюг вторинної обмотки розімкнута, струм в ній не йде  $I_2 = 0$  і ніяких затрат енергії у вторинному ланцюзі немає. Тому вторинна напруга на холостому ходу максимальна і цю величину називають напругою холостого ходу  $U_2 = U_{xx}$ .

Відношення напруг первинної і вторинної обмоток при холостому ходу називають коефіцієнтом трансформації  $K$ . Він також дорівнює відношенню чисел витків первинної обмотки  $w_1$  і вторинної обмотки  $w_2$ :

$$K = \frac{U_1}{U_2} = \frac{w_1}{w_2} \quad (6)$$

У зварювальних трансформаторах мережева напруга 220 В або 380 В перетвориться в більш низьку напругу холостого ходу  $U_2 = U_{xx} = 60 \dots 80$  В.

Режим навантаження (рис. 8) встановлюють завдяки замиканню ланцюга вторинної обмотки в момент запалювання дуги. При цьому під дією на-напруги  $U_2$  у вторинній обмотці і дузі з'являється струм  $I_2 = I_{3\phi}$ . Цей струм в осерді створює змінний магнітний потік, який прагне зменшити величину потоку, створюваного первинною обмоткою  $\Phi_k$ . Протидіючи цьому, сила струму в первинній обмотці збільшується. Збільшення споживання енергії в первинній обмотці має дорівнювати збільшенню віддачі енергії дуги вторинною обмоткою відповідно до закону збереження енергії.

Напруга у вторинній обмотці трансформатора при навантаженні дорівнює:

$$U_2 = U_d + I_{3\phi} \cdot X_L, \quad (7)$$

де  $U_d$  – падіння напруги на дузі;  $X_L$  – індуктивний опір зварювального контуру.

Провідникові зварювального контуру  $R$ , включаючи виліт електрод, значно менше індуктивного опору  $X_L$ . З цієї причини при розрахунку  $U_2$  величиною  $R$  нехтуємо.

Частина магнітного потоку  $\Phi_p$  по шляху від первинної обмотки до вторинної розсіюється в просторі. Магнітний потік розсіювання тим більше, чим більше відстань між обмотками (рис. 7 і 8).

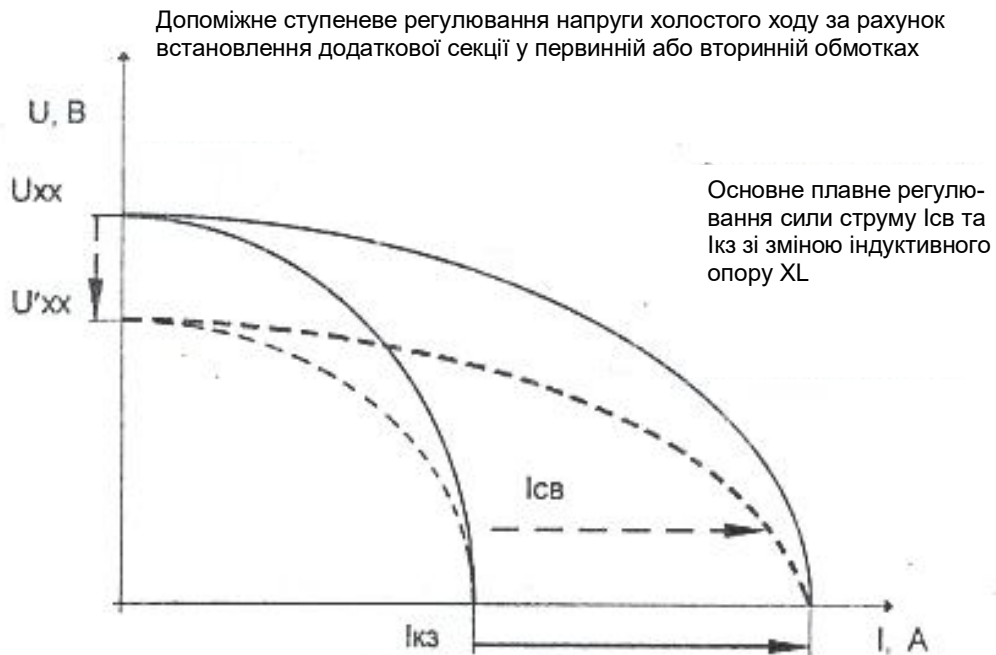


Рисунок 9 – Регулювання сили зварювального струму  $I_{зв}$ , сили струму короткого замикання  $I_{кз}$  і напруги холостого ходу  $U_{хх}$  трансформатора

В результаті вторинну обмотку пронизує магнітний потік  $\Phi_2$ . Падає зовнішня вольт-амперна характеристика зварювального трансформатора виходить завдяки зміні величини розсіювання магнітного потоку  $\Phi_p$ .

При цьому напруга дуги  $U_d$  зменшується  $U_d = U_2 - I_{зв} \times X_L$  при збільшенні сили зварювального струму  $I_{зв}$  і індуктивного опору  $X_L$ .

Як показано на рис. 9, регулювати трансформатор можна:

- змінюючи індуктивний опір зварювального трансформатора  $X_L$ ,
- змінюючи напругу холостого ходу  $U_{хх}$ .

Перший спосіб більш поширений і дозволяє плавно регулювати зварювальний струм. Другий спосіб застосовують як додатковий. Як правило, трансформатор має одну або дві фіксовані величини  $U_{хх}$  і  $U'_{хх}$ .  $U'_{хх}$  отримують, встановлюючи додаткові секції в первинній або вторинній обмотках. При величині напруги холостого ходу  $U'_{хх}$ , як і при  $U_{хх}$ , можна плавно регулювати індуктивний опір  $X_L$ , і, як наслідок, зварювальний струм  $I_{зв}$  і струм короткого замикання  $I_{кз}$ .

Плавне дводіапазонне регулювання струму дозволяє зменшити масу і габарити трансформатора. Для отримання діапазону великих струмів обидві котушки первинної та вторинної обмоток включаються попарно паралельно, як показано на рис. 6. Для отримання діапазону малих струмів котушки первинної і вторинної обмоток включаються послідовно.

Регулювання зварювального струму  $I_{зв}$  (як і  $I_{кз}$ ) при постійній напрузі холостого ходу трансформатора  $U_{хх}$  можливо тільки за рахунок зміни індуктивного опору.

В існуючих конструкціях трансформаторів регулювання індуктивного опору вторинної ланцюга може бути виконано:

- зміною відстані між первинною і вторинною обмотками;
- зміною зазору магнітопроводу дроселя, виконаного від трансформатора.

Перший варіант має просту і надійну конструкцію. Однак якщо зварювати необхідно на відстані 10...40 метрів від трансформатора, то окремий регулятор буде завжди під рукою у зварника. Такий регулятор важить значно менше трансформатора, тому його легше пересполучати.

При короткому замиканні електрод торкається виробу  $K_d = 0$ . Напряга у вторинній обмотці  $U_2 = I_{кз} \times X_L$ . Звідки:

$$I_{кз} = U_2/X_L. \quad (8)$$

Отже, регулювання струму короткого замикання можливе лише за рахунок зміни індуктивного опору  $X_L$ .

## 1.5 Сталі та їх зварюваність

У зварних конструкціях автомобілів, будівельних і дорожніх машин широко використовують конструкційні сталі. Сталі мають відмінності зварюваністю.

Під терміном «зварюваність металів» зазвичай розуміють комплекс властивостей зварюваного металу, що забезпечують хорошу міцність і працездатність зварного з'єднання в умовах експлуатації.

У процесі зварювання деякі сталі схильні до утворення тріщин у шві або в зонах, прилеглих до шва. Поява цих тріщин обумовлюється, головним чином, хімічним складом і внутрішньою мікроструктурою сталі. З основних хімічних елементів, що входять до складу сталей, найбільший вплив на утворення тріщин надає вуглець. Тому в зварних конструкціях використовують сталі з вмістом вуглецю не більше 0,3 %.

Легуючі компоненти, що вводяться в сталь в невеликих кількостях, наприклад молібден – 0,2 ... 0,8 %, ванадій – 0,1 ... 0,3 % та інші, поряд з поліпшенням механічних властивостей сталі підвищують її зварюваність. Шкідливі домішки – сірка і фосфор, а також оксидні включення і розчинені гази (водень, кисень і азот) – погіршують зварюваність сталі.

На утворення тріщин впливає не тільки хімічний склад, але і структура сталі, а також тип конструкції і характер з'єднання її вузлів.

У варіантах завдання (глава 7) передбачено п'ять груп сталей:

- низьковуглецеві конструкційні сталі звичайної якості;
- якісні низьковуглецеві конструкційні сталі;
- низьколеговані конструкційні сталі;
- леговані жароміцні сталі;
- леговані корозійностійкі сталі.

Позначення низьковуглецевої сталі починається зі слова Сталь (Сталь 15, Сталь 20 - якісні сталі) або початкових букв слова Сталь (Ст 1, Ст 2, Ст 3, Ст 4 - сталі звичайної якості).

Чим більше цифра в позначенні конструкційної низьковуглецевої сталі звичайної якості (Ст 1, Ст 2, Ст 3, Ст 4), тим вищий вміст вуглецю.

Цифра в позначенні якісної низьковуглецевої конструкційної сталі показує вміст вуглецю в сотих частках відсотка. Наприклад, Сталь 10 містить 0,10% вуглецю. У таблиці 1 наведені умовні позначення легуючих елементів в марках сталей і марках зварювальних дротів.

В позначенні легованих сталей, наприклад 09Г2Д- цифри 09 показувала вміст вуглецю в сотих частках відсотка: 0,09 % С.

Букви праворуч від цифри позначають легуючий елемент: Г – марганець; Д – мідь. Цифра після букви вказує зміст легуючого елемента в цілих відсотках. Відсутність цифри вказує на зміст елемента менше 1%.

Таблиця 1 – Умовні позначення легуючих елементів в марках сталей і марках зварювальних дротів

Елемент	Позначення		Елемент	Позначення	
Ніобій	Nb	Б	Бор	В	Р
Вольфрам	W	В	Кремній	Si	С
Марганець	Mn	Г	Титан	Ti	Т
Мідь	Cu	Д	Ванадій	V	Ф
Кобальт	Co	К	Хром	Cr	Х
Молібден	Mo	М	Цирконій	Zr	Ц
Нікель	Ni	Н	Алюміній	Al	Ю

Дослідження і досвід застосування зварювання в промисловості дозволяють оцінити з деяким наближенням кожен марку сталі з точки зору зварюваності як досить високу, високу, задовільну і низьку. Ці оцінки наводяться в довідковій літературі.

В індивідуальних завданнях для практичної роботи сталі, з котрих запропоновано виготовити ванну, мають досить високу якість і володіють високою здатністю до зварювання.

## 1.6 Електроди для ручного дугового зварювання

Електрод, що плавиться для ручного дугового зварювання являє собою стрижень з зварювального дроту, на який нанесено електродне покриття (обмазка). Промисловість випускає досить велику кількість марок зварювального дроту діаметром від 1,6 до 12 мм для виготовлення електродів. Довжина електродів становить 150 ... 450 мм. Найбільш часто використовують електроди довжиною 350, 400 і 450 мм і діаметром 3,4 і 5 мм. Метал електрода і елементи електродного покриття беруть участь в формуванні зварного шва.

Електродне покриття:

- забезпечує стійке горіння дуги;
- відновлює окислюється в процесі зварювання метал;
- легуючих зварений шов необхідними елементами;
- захищає зону зварювання від потрапляння кисню, водню і азоту з навколишнього повітря;
- утворює шлак покрив на поверхні зварного шва, зменшуючи тим самим швидкість охолодження і затвердіння металу шва.

Для забезпечення високих експлуатаційних характеристик зварного з'єднання необхідно, щоб хімічний склад зварного шва був близький до хімічного складу зварюваної сталі.

Тому для зварювання сталі певного хімічного складу рекомендується підібрати електроди з необхідним вмістом відповідальних легуючих елементів в зварювальному дроті (табл. 6).

Умовне позначення марки дроту складається з індексу  $C_v$  - зварювальний, наступних за ним цифр, які показують вміст вуглецю в сотих частках відсотка, і літерних позначень елементів, що входять в склад дроту. Буква А в кінці позначення вказує на підвищену чистоту металу за вмістом сірки і фосфору.

Наприклад  $C_v-08XM$  для зварювання конструкційних сталей містить 0,08 % вуглецю і менше 1 % хрому і молібдену.  $C_v-04X19H11M3$  для зварювання жароміцних і корозійностійких сталей містить 0,04 % вуглецю, 19 % хрому, 11 % нікелю і 3 % молібдену.

До складу покриття входять:

- стабілізуючі речовини;
- розкислювачі і легуючі матеріали;
- газоутворюючі матеріали;
- шлакоутворюючі;
- сполучні і цементуючі.

Ці компоненти забезпечують функції покриття при його розплавленні в процесі зварювання.

Стабілізуючі речовини призначені для стійкого горіння дуги. До них відносяться з'єднання лужних і лужноземельних металів: калію, натрію, кальцію і ін.

Розкислювачі (феромарганець, феросиліцій, феротитан) застосовують для відновлення окисленого в процесі зварювання металу. Крім того, ці ж феросплави служать легуючими матеріалами і збільшують вміст марганцю, титану та інших елементів в металі шва.

Газоутворюючі матеріали (мармур, магнезит, крохмаль, оксіцеллюлоза, деревна мука) утворюють газ, що захищає зону зварювання від потрапляння кисню, водню і азоту з навколишнього повітря.

Шлакоутворювальні (польовий шпат, кремнезем, магнезит, мармур) - створюють шлаковий покрив на поверхні розплавленого металу шва. Шлак зменшує швидкість охолодження і затвердіння металу шва, сприяє виходу з нього газових і оксидних включень. Після охолодження зварного з'єднання необхідно сколотити з нього шлакову кірку.



Сполучні і цементуючі (калієве рідке скло  $K_2O \cdot SiO_2$ , натрієве рідке скло  $Na_2O \cdot SiO_2$ ) - пов'язують всі компоненти покриття.

Електродне покриття утворюється з добре розмелених і перемішаних матеріалів, пов'язаних рідким склом. Його наносять на зварювальний дріт, попередньо нарізаний на шматки довжиною від 350 мм до 450 мм. На один з кінців шматка покриття не наносять. Він служить для закріплення електродів при їх сушінні, а при зварюванні - для приміщення в електротримачі.

У довідниках, крім марки зварювального дроту, вказують марку електродного покриття, а також містяться рекомендації з використання електродів.

За призначенням залежно від зварювальних матеріалів:

- У – для зварювання вуглецевих сталей;
- Л – легованих конструкційних сталей;
- Т – легованих теплостійких сталей,
- В – високолегованих сталей з особливими властивостями;
- Н – для наплавлення поверхневих шарів.

За товщиною покриття

- М – тонкі покриття  $D / d < 1,2$ ;
- С – середні покриття  $1,2 < D / d < 1,45$ ;
- Д – товсті покриття  $1,45 < D / d < 1,8$ ;
- Г – особливо товсті покриття  $D / d > 1,8$ ,

де  $D$  - діаметр електрода з покриттям,

$d$  – діаметр зварювальної проволочки.

За видом покриття:

- А – з кислим покриттям;
- Б – з основним покриттям;
- Ц – з целюлозним покриттям;
- Р – з рутиловим покриттям;
- П – з іншими покриттями.

Крім того, електроди класифікуються за технологічними особливостями (зварювання в різних положеннях), у зв'язку зі струмом і полярністю застосованого струму, а також за іншими ознаками. Повна маркування електрода:

Е46А-УОНИ 13 / 45-4,0-УД2

Е432 (5) -Б10,

це розшифровується:

- Е – електроди для зварки;
- 46 – мінімальний гарантований межа міцності (460 МПа);
- УОНИ-13/45 – марка електродного покриття;
- 4,0 – діаметр електрода;
- У – електроди для зварювання вуглецевої і низьколегованої сталі;
- Д2 – електроди з товстим покриттям другої групи точності;
- Е – індекс, що характеризує властивості металу зварного шва;
- 43 – межа міцності на розрив (не менше 460 МПа);
- 2 – відносне подовження не менше 22 %;
- 5 – індекс, що характеризує ударну в'язкість металу - 34,3 Дж / см при

температурі мінус 40 °С;

- Б – основне покриття;
- 1 – зварювання у всіх просторових положеннях;
- 0 – на постійному струмі зворотної полярності.

Повна маркування не містить відомостей про марку зварювальної проволки, що викликає необхідність повторного звернення до стандарту.

Зазвичай виробники електродів використовують скорочене маркування. Наприклад, марка електродного покриття УОНИ-13/45, марка зварювальної проволки – С<sub>в</sub>-08.

## **2 РОЗРОБКА ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ЗВАРЮВАННЯ РЕЗЕРВУАРА**

Розробка технологічного процесу зварювання включає в себе:

- вибір типу зварного з'єднання;
- визначення оптимального режиму зварювання;
- визначення порядку накладення зварних швів;
- вибір зварювального обладнання.

### **2.1 Зварювальні з'єднання**

У промисловості використовують досить багато типів зварних з'єднань:

- стикові;
- кутові;
- таврові,
- нахльостові.

У таблиці 2 наведені деякі типи стикових зварних з'єднань, а в таблиці 3 – кутових.

У даній роботі розглядаються односторонні (У4, У6) і двосторонні (У5, У7) кутові зварні з'єднання без оброблення крайок і з обробленням однієї кромки (табл. 3).

Тип зварного з'єднання наведено в варіанті завдання (див. розділ 6).

### **2.2 Площі поперечного перерізу зварних швів і з'єднання**

Площа поперечного перерізу основного зовнішнього шва визначають за формулою:

$$S_{осн} = \frac{A^2}{2} \cdot K_y, \text{ мм}^2, \quad (9)$$


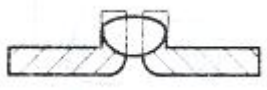
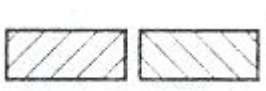

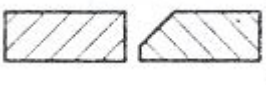
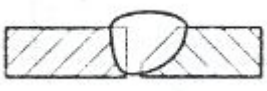
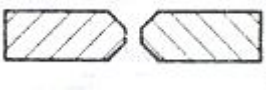
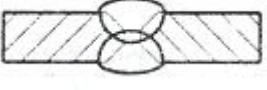
де  $K_y$  – коефіцієнт збільшення.

Коефіцієнт збільшення вибирають з табл. 4 залежно від величини катета  $A$ . Коефіцієнт збільшення враховує наявність зазору між деталями, що зварюються, і опуклість (повноту) шва. Площа поперечного перерізу внутрішнього підварювального шва визначають аналогічно:

$$S_{\text{вн}} = \frac{C^2}{2} \cdot K_y, \text{ мм}^2. \quad (10)$$

$K_y$  обирають з таблиці 4 залежно від величини катета  $C$ .

Таблиця 2 – Стикові зварні з'єднання при ручному дуговому зварюванні


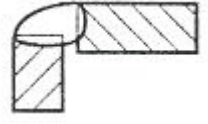
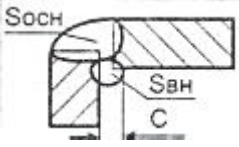
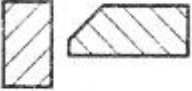
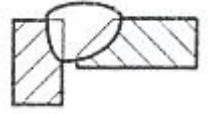
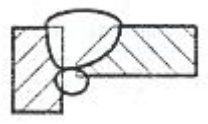
Форма підготовлених кромок	Характер зварного шва	Форма поперечного перерізу		Товщина зварювальних деталей, мм.	Умовне позначення з'єднання
		підготовлених кромок	зварного з'єднання		
З відбортуванням кромок	Однобічний			1...4	C1
Без зкошення кромок					C2
Зі зкошенням однієї кромки				3...60	C8
З двома симетричними зкошеннями кромок	Двобічний			8..120	C25

Загальна площа поперечного перерізу зварного з'єднання

$$S = S_{\text{осн}} + S_{\text{вн}}, \text{ мм}^2. \quad (11)$$

Товщину зварювальних заготовок  $A$  (товщина стінок ванни) і величину катета підварювального шва  $C$  обирають відповідно до варіанта завдання (розділ 6).

Таблиця 3 – Кутові зварні з'єднання при ручному дуговому зварюванні (ГОСТ 5264–80)

Форма підготовлених кромок	Характер зварного шва	Форма поперечного перерізу		Товщина зварювальних деталей, мм.	Умовне позначення з'єднання
		підготовлених кромок	зварного з'єднання		
Без зкошення кромок	Однобічний			1...30	У4
	Двобічний			2...30	У5
Зі зкошенням однієї кромки	Однобічний			3...60	У6
	Двобічний				У7

Таблиця 4 – Коефіцієнт збільшення  $K_y$

Катет шва А чи С, мм	2,5...3	3,5...4	4,5...5,5	5,5...6
Коефіцієнт збільшення, $K_z$	1,5	1,45	1,4	1,35

### 2.3 Порядок, послідовність та напрям накладання швів

Шви довжиною до 250 мм можна варити на прохід (рис. 10). Сварка на прохід від середини до країв рекомендується при довжині шва 250...500 мм. При більшій довжині шва рекомендується зворотноступеневе зварювання. Шов виконують короткими відрізками 1...4.



Рисунок 10 – Послідовність і напрямок накладення швів

Для зменшення викривлення зварюваної ванни необхідні визначений порядок і послідовність накладення зварних швів. На рис. 11 наведений ескіз ванни з розмірами, відповідними прикладу оформлення звіту. Порядок накладення швів аналогічний у всіх варіантах завдання. Послідовність може бути різною. У варіантах з двосторонніми зварними з'єднаннями У5 і У7 листи спочатку прихоплюють короткими внутрішніми підварювальними швами, розташованими на відстані до 250 мм один від одного. Потім проварюють внутрішній підварювальний шов повністю. Підварювальними швами з'єднують всі елементи ванни. Після цього ванну перевертають і виконують основні зовнішні шви. У варіантах з односторонніми зварними з'єднаннями У4 і У6 внутрішні шви не виконують. Листи прихоплюють зовні. Потім повністю проварюють зовнішні шви.

## 2.4 Режим зварювання та вибір обладнання

Режим зварювання - сукупність характеристик зварювального процесу, що забезпечують отримання зварного шва заданого розміру, форми і якості. При зварюванні відкритою дугою такими характеристиками є:

- марка і діаметр електрода;
- напруга дуги;
- сила зварювального струму;
- рід струму і полярність;
- швидкість зварювання.

### 2.4.1 Марка електрода

При виборі марки електрода слід враховувати хімічний склад зварюваної сталі і вимоги, що пред'являються до якості зварного з'єднання. Марку зварювального дроту і марку електродного покриття вибирають по табл. 6 в залежності від марки зварюваної сталі. Для розшифровки марки сталі і зварювального дроту варто вивчити розділи 1.5 і 1.6.

## 2.4.2 Діаметр електрода

Діаметр електрода вибирають залежно від товщини зварюваного металу (табл. 5).

Таблиця 5 – Вибір діаметра електрода

Товщина зварюваних листів, мм	3	4	5	6
Діаметр електрода дел, мм	3	3	4	5

Таблиця 6 – Електроди для зварювання сталей

Марка електрода		Коефіцієнт витрати електродів на 1 кг наплавленого металу	Коефіцієнт наплавлення Кн, г/(А год)	Рід струму	Полярність	Марка зварюваної сталі
марка електродного покриття	марка зварювальної проволочи					
АНО-4С МР-3	Св-08 або Св-08А	1,7	8,5	Постійний	Будь-яка	Низьковуглецеві Ст4, Сталь 20
				Змінний		С 1, Сталь 15
	1,6	Постійний		Зворотна	Ст 3, Сталь 25	
		Змінний			Ст 2, Сталь 10	
Э-138/50Н	Св-10ГН	1,7	9	Постійний	Зворотна	Низьколеговані 12ГС, 15ГФ, 14Г2.14ХГС
ЦЛ-45	Св-08ХМ	1,65	9,5			15ХСНД, 12Х1МФ, 15Х1М1Ф.10ХСН
ЭА-395/9	Св-10Х16Н25 АМ6	1,6	11			Леговані 08Х12Н8К5М2Т, 08Х12Н7К7М4
ЭА-400/10У	Св-04Х19Н11 М3	1,8	12			10Х17Н13М2Т, 08Х18Н10Т

### 2.4.3 Сила зварювального струму

Силу зварювального струму визначають за такою формулою:

$$I_{зв} = I_{num} \times d_{ел}, A \quad (12)$$

де  $I_{num}$  – питомий зварювальний струм, який припадає на 1 мм діаметра електрода, А/мм.

Значення  $I_{num}$  для зварювання легованих і низьковуглецевих сталей наведені в табл. 7. Менші значення сили струму використовують при зварюванні легованих сталей, що володіють малим коефіцієнтом теплопровідності, з метою зменшення перегріву. Великі значення питомої струму використовують для визначення сили струму при зварюванні низьковуглецевих сталей.

Таблиця 7– Сила струму  $I_{num}$ , яка припадає на 1 мм діаметра електрода

Леговані сталі	$I_{num} = 45... 45$ А/мм
Низьковуглецеві сталі	$I_{num} = 45... 50$ А/мм

### 2.4.3 Вибір зварювального джерела живлення

Вид зварювального джерела живлення визначено в завданні. Якщо в номері варіанта є буква П, використовуйте зварювальний перетворювач, В - випрямляч. Якщо букви немає - трансформатор. Леговані сталі рекомендується зварювати тільки на постійному струмі (зварювальний перетворювач, випрямляч). Причому краще використовувати зворотну полярність, щоб не допустити перегріву та вигорання легуючих елементів. Використовуючи табл. 7, вибирають той зварювальний апарат, в діапазон регулювання якого потрапляє розраховане значення  $I_{св}$ .

### 2.4.4 Напруга дуги

Робоча напруга дуги визначається її довжиною і коливається в межах  $U_d = 20...40$  В (табл. 8).

Таблиця 8 – Технічні характеристики зварювальних джерел живлення

Вид апарату	Тип	Діапазон регулювання зварювального струму $I_{св}$ , А	Напруга, В		Потужність, кВт	Розміри, мм	Маса, кг
			Робоче $U_d$	холостого ходу, $U_{хх}$			
Трансформатор	ТСБ-90	60...100	0	36	3,3	203	30
	ТД-102У2	60...160	26	70	11,2	370	42
	ТД-300 У2	70...365	32	61,80	19,4	350	137
	ТД-500 У2	90...650	30	59,76	32,0	570	200

### Продовження таблиці 8

Вид апарату	Тип	Діапазон регулювання зварювального струму Ісв, А	Напруга, В		Потужність, кВт	Розміри, мм	Маса, кг
			Робоче Ud	холостого ходу, Uxx			
Випрямляч	ВКС-120	30... 130	25	65	4,8	785	242
	ВД-201 УЗ	30... 200	28	68	15,0	628	120
	ВД-502-1	50... 500	40	80	42,0	953	348
Перетворювач	ПСО-120	30 ...120	25	48... 65	4,0	1055	155
	ПСУ-300	50... 300	30	48	28,0	550	315
	ПСУ-500-2	60... 500	40	65	30,0	730	595

#### 2.4.5 Рід струму і полярність

Рід струму і полярність вибирають залежно від фізико-механічних властивостей зварюваної сталі і використовуваної марки електрода. З метою спрощення вибору в таблиці 6 підбрані і задані рід струму і полярність для конкретних марок сталей і електродів.

Низьковуглецевих сталі можна зварювати як на змінному струмі, так і на постійному. варка на постійному струмі, і тим більше з використанням зворотної полярності – дозволяє підвищити якість зварного з'єднання.

#### 2.4.6 Маса наплавленого металу

Маса наплавленого металу основних зовнішніх швів

$$G_{\text{осн}} = \frac{S_{\text{осн}}}{1000} \cdot L_{\text{осн}} \cdot \rho, \text{ г}, \quad (13)$$

де  $S_{\text{осн}}$  – площа поперечного перерізу основного зовнішнього шва, мм<sup>2</sup>;

$L_{\text{осн}}$  – сумарна довжина основних зварних швів, мм;

$\rho = 7,8 \text{ г / см}^3$  – щільність наплавленого металу.

Масу наплавленого металу підварювальних швів знаходять аналогічно:

$$G_{\text{вн}} = \frac{S_{\text{вн}}}{1000} \cdot L_{\text{вн}} \cdot \rho, \text{ г}, \quad (14)$$

де  $S_{\text{вн}}$  – площа підварювального шва, мм<sup>2</sup>;

$L_{\text{вн}}$  – сумарна довжина підварювальних зварних швів, мм.



Загальна маса наплавленого металу зварних з'єднань при з'єднанні елементів металевої ванни:

$$G_H = G_H^{осн} + G_H^{6H}, \text{ г.} \quad (15)$$

#### 2.4.7 Витрата електродів

Витрати електродів на виготовлення металевої ванни

$$G_{ел} = k \cdot G_H, \text{ г.} \quad (16)$$

де  $k = 1,6 \dots 1,8$  – коефіцієнт витрати електродів на 1 кг наплавленого металу. У таблиці 6 задані конкретні значення  $k$ . Коефіцієнт витрати  $k$  враховує:

- масу електродного покриття;
- втрати металу на чад, розбризкування і недогарки.

#### 2.4.8 Час зварювання

Час, необхідний для виконання зварювальних робіт:

$$T_{зв} = T_{осн} + T_{обсл} + T_{під} + T_{від}, \text{ год.} \quad (17)$$

де  $T_{осн}$  – основний технологічний час, год;

$T_{обсл}$  - час, що витрачається на обслуговування обладнання, год;

$T_{під}$  - підготовчий час на отримання електродів, інструменту та ін., год;

$T_{від}$  - час, що витрачається на відпочинок, год.

Основний технологічний час розраховують, використовуючи наступну формулу:

$$T_{осн} = \frac{G_H}{K_H \cdot I_{зв}}, \text{ год.} \quad (18)$$

де  $G_H$  – маса наплавленого металу;

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

$I_{зв}$  – сила зварювального струму, А.

Коефіцієнт наплавлення  $K_H$  [ г/(А · год) ] – маса наплавленого на поверхню деталі металу в грамах за 1 годину, яка припадає на силу струму в 1 ампер. У таблиці 6 дані величини коефіцієнта наплавлення для різних марок електродів.

Остаточний час, необхідний для виконання зварювальних робіт при накладенні внутрішнього і основного швів визначають за такою формулою:

$$T_{зв} = \frac{T_{осн}}{K_{вик}}, \text{ год}, \quad (19)$$

де  $K_{вик}$  – коефіцієнт використання зварювального поста.

Коефіцієнт використання зварювального поста  $K_{вик}$  враховує час на обслуговування устаткування, отримання матеріалів, відпочинок та ін. Коефіцієнт використання зварювального поста  $K_{вик}$  при роботі в цеху дорівнює 0,6 ... 0,8, при монтажних роботах – 0,5...0,7.

#### 2.4.9 Продуктивність и швидкість зварки

Продуктивність і швидкість зварювання

$$G = K_H \cdot I_{зв}, \text{ г/год}. \quad (20)$$

Швидкість зварювання при формуванні основного шва

$$v_{зв}^{осн} = \frac{K_H \cdot I_{зв}}{\rho \cdot S_{осн}}, \text{ м/год}. \quad (21)$$

Швидкість зварювання при формуванні внутрішнього шва

$$v_{зв}^{вн} = \frac{K_H \cdot I_{зв}}{\rho \cdot S_{вн}}, \text{ м/ч}. \quad (22)$$

#### 2.4.10 Витрата електроенергії

Витрату електроенергії розраховуються за формулою:

$$Q = 0,001 \cdot U_{\delta} \cdot I_{зв} \cdot T_{осн}, \quad (23)$$

де  $U_{\delta}$  – робоча напруга дуги, В;

$I_{зв}$  – сила зварювального струму, А;

$T_{осн}$  – основний технологічний час зварювання, год.

### 3 ПОСЛІДОВНІСТЬ ВИКОНАННЯ РОБОТИ

3.1 Одержати завдання від викладача.

3.2 Вивчити зварювальне обладнання та основні схеми зварювання.

3.3 Користуючись прикладом оформлення звіту, виконати необхідні ескізи, вибрати зварювальне джерело живлення, електроди і розрахувати режим зварювання ванни відповідно до варіанта завдання.

### 4 ПРИКЛАД ОФОРМЛЕННЯ ЗВІТУ

Розробка технологічного процесу ручної зварки, варіант № 7.

4.1 Дано (див. главу 6. Варіанти завдань)

Номер варіанта	Розміри ванни, мм			Товщина стінок А, мм	Тип з'єднання	Катет шва С, мм	Матеріал заготовок	
	<i>b</i>	<i>l</i>	<i>h</i>				Група сталей	Позначення
7	200	400	100	5	У5	4,7	Якісні низько-вуглецеві конструкційні сталі	Сталь 10
Робота в цеху								

4.2 Ескіз металевої ванни з розмірами



Рисунок 11– Ескіз металевої ванни з розмірами:  
(порядок накладення швів вказано великими цифрами; послідовність – маленькими цифрами; напрямок зварювання – стрілочкою)

Виконайте рисунок, аналогічний рисунку 11, для свого варіанта завдання з розмірами в масштабі.

Вкажіть місця прихваток.

Вкажіть порядок, послідовність і напрямок накладення швів.

Якщо використовуєте односторонні зварні з'єднання У4 і У6, виключіть з подальших розрахунків підварювальні шви.

Сумарна довжина основних зовнішніх швів:

$$l_{осн} = 200 \times 2 + 400 \times 2 + 100 \times 4 = 1600 \text{ мм.}$$

Будемо вважати, що сумарна довжина внутрішніх підварювальних швів дорівнює довжині основних  $L_{вн} = 1600$  мм. Довжина зварних з'єднань  $l_{осн} = 1600$  мм. Товщина заготовок  $A = 5$  мм. Всі шви кутові двосторонні впритул.

4.3 Послідовність і напрямок накладення швів:

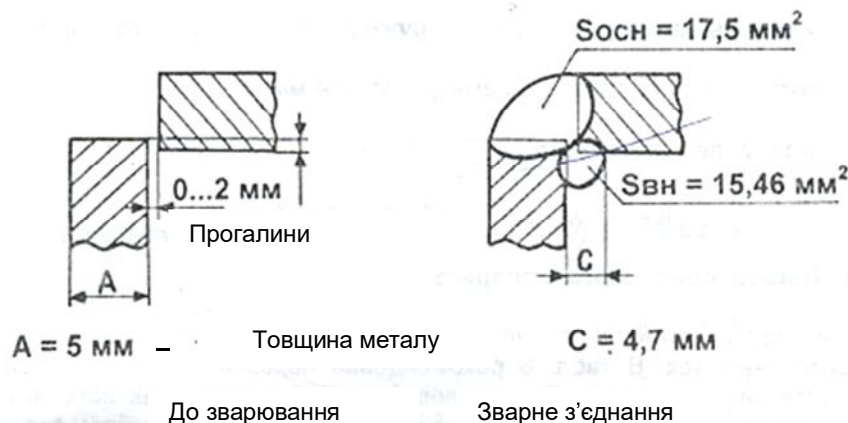


Шви FO и EM варять на прохід від середини до країв

Шви FB, ED, MH, OG, FE и OM можно варити напрохід, оскільки вони коротші на 250 мм

4.4 Матеріал заготовок – якісна низьковуглецева конструкційна Сталь 10, що містить 0,1 % вуглецю.

4.5 Ескізи зварного з'єднання – двостороннє кутове зварене з'єднання без обробки кромки:



Площа поперечного перерізу основного зовнішнього шва:

$$S_{осн} = \frac{A^2}{2} \cdot K_y = \frac{5^2}{2} \times 1,4 = 17,5 \text{ мм}^2.$$

Площа поперечного перерізу внутрішнього підварювального шва:

$$S_{вн} = \frac{C^2}{2} \cdot K_y = \frac{4,7^2}{2} \times 1,4 = 15,46 \text{ мм}^2.$$

Загальна площа поперечного перерізу зварного з'єднання:

$$S = S_{осн} + S_{вн} = 17,5 + 15,46 = 32,96 \text{ мм}^2.$$

4.6 Вибір марки електродного покриття і зварювального дроту.

Відповідно до табл. 6 обраний електрод з електродним покриттям МР-3. Марка зварювального дроту – С<sub>в</sub>-08 або С<sub>в</sub>-08А. Такий зварювальний дріт містить 0,08% вуглецю. Буква А вказує на підвищену чистоту металу за змістом шкідливих домішок – сірки і фосфору.

4.7 Характеристики електрода відповідно до таблиці 6:

- марка електродного покриття – МР-3;
- марка дроту – С<sub>в</sub>-0,8 або С<sub>в</sub>-08А;
- витрата електродів на 1 кг наплавленого металу  $k = 1,6$  кг;
- коефіцієнт наплавлення  $K_n = 8,5$  г / (А · год);
- рід струму – змінний;
- полярність – відсутня.

4.8 Діаметри електродів для зовнішнього і внутрішнього швів. Відповідно до таблиці 5 діаметр  $d_{ел} = 4$  мм.

4.9 Сила зварювального струму:  $I_{зв} = I_{нум} \cdot d_{ел} = 45 \times 4 = 180$  А.

4.10 Вибір зварювального джерела.

Для зварювання Сталі 10 можна використовувати як змінний, так і постійний струм. У таблиці 6 рекомендований змінний струм, а в варіанті завдання (глава 7) – зварювальний трансформатор як джерело змінного струму. Тому відповідно до таблиці 8 обраний зварювальний трансформатор ТД-300 У2, який має такі технічні характеристики:

- межі регулювання зварювального струму – 70 ... 365 А;
- напруга мережі живлення – 380 В;
- робоча напруга – 32 В;
- напруга холостого ходу – 80 В;

- потужність – 19,4 кВт;
- розміри – 692 × 710 × 620 мм;
- маса – 137 кг.

4.11 Принципова електрична схема зварювального трансформатора з рухомою котушкою вторинної обмотки: виконайте рисунок 7.

4.12 Принципова схема зварювання змінним струмом: виконайте рисунок 2.

4.13 Конструктивна схема зварювального трансформатора з рухомими котушками вторинної обмотки: виконайте рисунок 6.

У тому випадку, якщо використовується постійний струм, не виконуйте рисунок 6. При використанні зварювального перетворювача виконайте рисунок 3, випрямляча – рисунок 4.

4.14 Витрати електродів для зварювання.

Маса наплавленого металу основних зовнішніх швів:

$$G_{\text{осн}} = \frac{S_{\text{осн}}}{1000} \cdot L_{\text{осн}} \cdot \rho = \frac{17,5}{1000} \times 1600 \times 7,8 = 218 \text{ г.}$$

Маса наплавленого металу внутрішніх підварювальних швів:

$$G_{\text{вн}} = \frac{S_{\text{вн}}}{1000} \cdot L_{\text{вн}} \cdot \rho = \frac{15,46}{1000} \times 1600 \times 7,8 = 193 \text{ г.}$$

Загальна маса наплавленого металу:  $G_{\text{н}} = G_{\text{осн}} + G_{\text{вн}} = 218 + 193 = 411 \text{ г.}$

Витрата електродів:  $G_{\text{ел}} = k \cdot G_{\text{н}} = 1,6 \times 411 = 658 \text{ г.}$

4.15 Тривалість зварювання.

Основний технологічний час:

$$T_{\text{осн}} = \frac{G_{\text{н}}}{K_{\text{н}} \cdot I_{\text{зв}}} = \frac{411}{8,5 \times 180} = 0,269 \text{ год.}$$

Час виконання зварювальних робіт:

$$T_{\text{зв}} = \frac{T_{\text{осн}}}{K_{\text{вик}}} = \frac{269}{0,8} = 0,336 \text{ год.}$$

#### 4.16 Швидкість зварювання.

Швидкість зварювання при формуванні основного шва:

$$v_{зв}^{осн} = \frac{K_H \cdot I_{зв}}{\rho \cdot S_{осн}} = \frac{8,5 \times 180}{7,8 \times 17,5} = 11,21 \text{ м / год.}$$

Швидкість зварювання при формуванні внутрішнього шва

$$v_{зв}^{вн} = \frac{K_H \cdot I_{зв}}{\rho \cdot S_{вн}} = \frac{8,5 \times 180}{7,8 \times 15,46} = 12,69 \text{ м / год.}$$

#### 4.17 Продуктивність зварювання

$$C = K_H \cdot I_{зв} = 8,5 \times 180 = 1530 \text{ г} \cdot \text{год.}$$

#### 4.18 Витрата електроенергії:

$$Q = 0,001 \cdot U_d \cdot I_{зв} \cdot T_{осн} = 0,001 \times 32 \times 180 \times 0,269 = 1,549 \text{ кВт} \cdot \text{год.}$$

## 5 КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ

1. Переваги та недоліки зварювання постійним, змінним і випрямленим струмом.
2. Схеми зварювання постійним, змінним і випрямленим струмом.
3. Пристрій зварювального трансформатора.
4. Марки зварювальних електродів і їх призначення.
5. Призначення і склад електродних покриттів.
6. Маркування хімічних елементів.
7. Крутопадаюча і пологопадаюча зовнішня вольт-амперна характеристика джерела струму.
8. Порядок зняття вольт-амперної характеристики трансформатора. Як отримати режими  $I_{кз}$ ,  $U_{хх}$ ,  $I_{кор}$  і  $I_{дл}$
9. Зона робочих струмів  $I_d$  і зона робочих напруг дуги  $U_d$ .
10. Кутові зварні з'єднання.
11. Основні і підварювальні шви.
12. Порядок накладення зварювальних швів.
13. Послідовність визначення режиму зварювання.
14. Вибір діаметрів електродів для накладення основного і підварочного швів.
15. Сила струму, що припадає на 1 мм діаметра електрода.
16. Визначення тривалості зварювання.
17. Визначення маси наплавленого металу і витрати зварювальних електродів.



## 6 ВАРІАНТИ ЗАВДАНЬ

Номер вар.	Розміри ванни, мм			Товщина стінок А, мм		Катет шва С, мм	Матеріал заготовок	
	b	i	h	Тип з'єднання			Група сталей	Познач.
Робота у цеху								
1	400	500	200	3	У5	2,5	Конструкційні низько-вуглецеві сталі звичайної якості	Ст 2
2	400	500	200	3	У7	2,6		Ст 4
3	400	600	200	4	У5	3,5		Ст 1
4	400	600	200	4	У7	3,6		Ст 3
5	400	700	200	5	У5	4,5		Ст 2
6	400	700	200	5	У7	4,6		Ст 4
7	400	800	200	6	У5	5,5		Ст 1
8	400	800	200	6	У7	5,6		Ст 3
9	500	800	400	3	У5	2,7	Якісні низько вуглецеві конструкційні сталі	Сталь 10
10	500	800	400	3	У7	2,8		Сталь 20
11	600	800	400	4	У5	3,7		Сталь 15
12	600	800	400	4	У7	3,8		Сталь 25
13	700	800	400	5	У5	4,7		Сталь 10
14	700	800	400	5	У7	4,8		Сталь 20
15	800	800	400	6	У5	5,7		Сталь 15
16	800	800	400	6	У4	5,8		Сталь 25
Монтажні роботи								
17	600	1000	300	3	У6	Низько- леговані конс- трукційні сталі	12ГС	
18	600	1000	300	3	У4		15ХСНД	
19	600	1000	400	4	У6		15ГФ	
20	600	1000	400	4	У4		12Х1МФ	
21	600	1000	500	5	У6		14Г2	
22	600	1000	500	5	У4		15Х1М1Ф	
23	600	1000	600	6	У6		14ХГС	
24	600	1000	600	6	У4		10ХСНД	
25	400	900	200	3	У6	Леговані жароміцні сталі	0812Н8К5М2Т	
26	400	900	200	3	У4		10Х17Н13М2Т	
27	900	800	400	4	У6		08Х12М7К7М4	
28	900	800	400	4	У4	Леговані корозійні сталі	08Х17Н10Т	
29	600	1000	700	5	У6		08Х12Н8К5М2Т	
30	600	1000	700	5	У4		08Н18Н10Т	

## СПИСОК РЕКОМЕНДОВАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Овчинников В. В. Оборудование, техника и технология сварки и резки металлов / В. В. Овчинников. – М.: КноРус, 2010. – 304 с.
2. Иваней А. А. Практикум по дисциплине «Материаловедение и технологии конструкционных материалов», 2010 – 214 с.
3. Шубина Н. Б. Материаловедение / Н. Б. Шубина, О. В. Белянкина. – М. : МГГУ, 2012. – 162 с.
4. Виноградов В. С. Оборудование и технология дуговой автоматической и механизированной сварки / В.С. Виноградов. - М. : Академия, 2001. – 319 с.
5. Материаловедение / Под ред. проф. Б. Н. Арзамасова. – М. : Машиностроение, 2000. – 384 с.
6. Шубина Н. Б. Материаловедение / Н. Б. Шубина, О. В. Белянкина. – М. : МГГУ, 2012. – 162 с.
7. Скуріхін В. І. Конструкційні матеріали : конспект лекцій (для студентів 1 курсу усіх форм навчання спец. 141 – Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка). / В. І. Скуріхін, О.Ф. Бабічева. – Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2018. – 61 с.
8. Моисеенко В. П. Материалы и их поведение при сварке / В. П. Моисеенко. – М. : Феникс, 2009. – 304 с.

*Виробничо-практичне видання*

Методичні рекомендації  
до організації та проведення розрахунково-графічної роботи  
з навчальної дисципліни

**«КОНСТРУКЦІЙНІ МАТЕРІАЛИ»**

*(для студентів усіх форм навчання першого (бакалаврського) рівня  
вищої освіти за спеціальністю 141 – Електроенергетика, електротехніка та  
електромеханіка, освітня програма «Електромеханіка»)*

Укладачі: **СКУРІХІН** Владислав Ігорович,  
**АГАРКОВ** Іван Валентинович

Відповідальний за випуск *Ю. П. Бархаєв*  
*За авторською редакцією*  
Комп'ютерне верстання *І. В. Агарков*

План 2020, поз. 358 М

---

Підп. до друку 04.12.2020. Формат 60 × 84/16.

Друк на ризографі. Ум. друк. арк. 2,0

Тираж 50 пр. Зам. № .

Видавець і виготовлювач:

Харківський національний університет  
міського господарства імені О. М. Бекетова,  
вул. Маршала Бажанова, 17, Харків, 61002.

Електронна адреса: [rectorat@kname.edu.ua](mailto:rectorat@kname.edu.ua)

Свідоцтво суб'єкта видавничої справи:

ДК № 5328 від 11.04.2017.