НАВЧАЛЬНО–МЕТОДИЧНА ЛІТЕРАТУРА

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ТЕРНОПІЛЬСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ
ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІМЕНІ ІВАНА ПУЛЮЯ

ФАКУЛЬТЕТ ІНЖЕНЕРІЇ МАШИН, СПОРУД
І ТЕХНОЛОГІЙ
КАФЕДРА ТЕХНОЛОГІЇ І ОБЛАДНАННЯ
ЗВАРЮВАЛЬНОГО ВИРОБНИЦТВА

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

до виконання курсової роботи

з дисципліни:

«ТЕХНОЛОГІЯ ТА УСТАТКУВАННЯ ЗВАРЮВАННЯ ПЛАВЛЕННЯМ»

для студентів денної та заочної форми навчання для підготовки фахівців освітнього рівня «Бакалавр» напряму підготовки 6.050504 «Зварювання» та спеціальності 131 «Прикладна механіка»

ТЕРНОПІЛЬ – 2017

УДК 621.79
ББК 30.61

М54

Укладачі:

докт. техн. наук, професор Підгурський М.І.
канд. техн. наук, доцент Татарин Б.П.
канд. техн. наук, доцент Окіпний І.Б.
асистент Сенчишин В.С.

Рецензенти:
канд. техн. наук, доцент Капаціла Ю.Б.

Розглянуто й затверджено на засіданні кафедри технології та обладнання зварювального виробництва. Протокол № 12 від 30.06.2017р.

Затверджено та рекомендовано до друку на засіданні методичної комісії ФМТ ТНТУ імені Івана Пулюя. Протокол №8 від 30.06.2017 р.

М54

Методичні вказівки до виконання курсової роботи з дисципліни «Технологія та устаткування зварювання плавленням» / М.І. Підгурський, Б.П. Татарин, І.Б. Окіпний, В.С. Сенчишин. – Тернопіль: ТНТУ імені Івана Пулюя, 2017. – 95 с.

Методичні вказівки розроблено відповідно до навчального плану та робочої програми з дисципліни «Технологія та устаткування зварювання плавленням» для підготовки фахівців освітньо-кваліфікаційного рівня «Бакалавр» напряму підготовки 6.050504 «Зварювання» та спеціальності 131 «Прикладна механіка».

.

УДК 621.791
ББК 30.61

© М.І. Підгурський, Б.П. Татарин, І.Б. Окіпний, В.С. Сенчишин., 2017
© ТНТУ імені Івана Пулюя, 2017

ЗМІСТ

		с.
ВСТУП		**4**
1	**МЕТА І ЗАВДАННЯ**	**5**
2	**ТЕМАТИКА КУРСОВИХРОБІТ**	**5**
3	**СТРУКТУРА КУРСОВОЇ РОБОТИ**	**6**
4	**РЕКОМЕНДАЦІЇ ЩОДО ВИКОНАННЯ ОКРЕМИХ РОЗДІЛІВ КУРСОВОЇ РОБОТИ**	**7**
5	**ВИМОГИ ДО ОФОРМЛЕННЯ КУРСОВОЇ РОБОТИ**	**75**
6	**РОЗПОДІЛ БАЛІВ ТА КРИТЕРІЇ ОЦІНЮВАННЯ КУРСОВОЇ РОБОТИ**	**87**
	РЕКОМЕНДОВАНА ЛІТЕРАТУРА	**88**
	ДОДАТКИ	**93**

ВСТУП

Курсова робота з дисципліни «Технологія та устаткування зварювання плавленням» є однією з основних складових частин самостійної роботи студентів по освоєнню курсу. Мета курсової роботи - закріпити теоретичні знання та отримати практичні уміння і навички самостійного творчого рішення інженерних технологічних завдань, а саме: проектування технології зварювання плавленням виробів з сучасних конструкційних матеріалів. При рішенні поставлених в курсовій роботі завдань студенти повинні максимально використати сучасні досягнення вітчизняної і зарубіжної науки, техніки і технології в галузі зварювання плавленням. Розроблений технологічний процес зварювання повинен забезпечити не тільки отримання надійних та довговічних зварних з'єднань і конструкцій, які відповідають всім експлуатаційним вимогам, але повинен також бути орієнтований на максимальні ступені комплексної механізації та автоматизації усього виробничого процесу виготовлення виробу. Остаточне рішення про впровадження або використання запропонованого технологічного процесу необхідно приймати після проведення порівняльної економічної оцінки ефективності декількох варіантів технології з урахуванням затрат енергії, зварювальних матеріалів, зварювального та допоміжного обладнання, продуктивності способів зварювання, ступеня механізації та автоматизації.

Дані методичні вказівки містяться відомості по організації виконання курсової роботи, тематиці, змісту та оформленню, вказівки з основних питань які необхідно розглянути.

1 МЕТА І ЗАВДАННЯ

Метою даної курсової роботи є навчити самостійно працювати з навчальною і науково-технічною літературою та отримати навики в розробленні технології зварювання виробу із застосуванням способів зварювання плавленням.

Навчити правильно вибирати і розраховувати в залежності від марки і товщини матеріалу, типу зварного з'єднання спосіб зварювання, раціональне і прогресивне зварювальне устаткування та необхідні складально-зварювальні пристосування, розраховувати параметри режиму зварювання, призначати при необхідності режими термооброблення.

2 ТЕМАТИКА КУРСОВИХРОБІТ

Теми курсових робіт студентів повинні відповідати основним напрямкам розвитку технології зварювання, а саме:

- розроблення та впровадження технологій, що забезпечують високу якість продукції, належну безвідмовність та довговічність, а також ефективність роботи підприємств;
- розроблення та впровадження ресурсозберігаючих, маловідходних та безвідхідних технологій, які базуються на останніх досягненнях науки і техніки;
- вибір та впровадження високоефективних засобів технологічного оснащення;
- забезпечення норм та вимог безпеки праці.

Теми підбирає й формулює викладач, який здійснює керівництво курсовою роботою, з урахуванням пропозицій студентів,

можливостей і перспектив розвитку підприємств – баз технологічної та виробничої практик.

Традиційне формулювання теми курсової роботи має вигляд: «Розроблення технології зварювання виробу». В темі слово «виробу» не пишуть, а вказують конкретну його назву, наприклад: «двотаврової балки».

3 СТРУКТУРА КУРСОВОЇ РОБОТИ

ТИПОВИЙ ЗМІСТ РОЗРАХУНКОВО-ПОЯСНЮВАЛЬНОЇ ЗАПИСКИ

Титульний аркуш

Завдання

ЗМІСТ

ВСТУП

1 ХАРАКТЕРИСТИКА МАТЕРІАЛУ ЗВАРНОГО ВИРОБУ

2 ВИБІР ТА ОБҐРУНТУВАННЯ СПОСОБУ ЗВАРЮВАННЯ

3 ВИБІР ТА ОБҐРУНТУВАННЯ ЗВАРЮВАЛЬНИХ МАТЕРІАЛІВ

4 ВИБІР ЗВАРНИХ ШВІВ ТА РОЗРОБЛЕННЯ КРОМОК

5 РОЗРАХУНОК ПАРАМЕТРІВ РЕЖИМУ ЗВАРЮВАННЯ

6 ВИБІР ТА ОБҐРУНТУВАННЯ ЗВАРЮВАЛЬНОГО УСТАТКУВАННЯ

7 РОЗРАХУНОК ВИТРАТ ЗВАРЮВАЛЬНИХ МАТЕРІАЛІВ

8 РОЗРАХУНОК ВИТРАТ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ

9 ОПИС І СХЕМА ОСНОВНИХ ОПЕРАЦІЙ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ВИГОТОВЛЕННЯ ЗВАРНОГО ВИРОБУ

9.1 Заготівельні операції.

9.2 Складально-зварювальні операції.

9.3 Опоряджувальні операції.

10 ТЕХНІКА БЕЗПЕКИ ПРИ ВИКОНАННІ ЗВАРЮВАЛЬНИХ РОБІТ

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

4 РЕКОМЕНДАЦІЇ ЩОДО ВИКОНАННЯ ОКРЕМИХ РОЗДІЛІВ КУРСОВОЇ РОБОТИ

4.1 Титульний аркуш

Титульний аркуш оформляють за формою згідно додаток А.

Титульний аркуш включають в загальну кількість аркушів розрахунково-пояснювальної записки, але номер сторінки не проставляють.

4.2 Завдання на курсову роботу

Завдання на курсову роботу повинно бути оформлене за формою згідно додатку Б.

Лицьову та зворотну сторінки аркуша не нумерують, але включають в загальну кількість аркушів розрахунково-пояснювальної записки.

Завдання на курсову роботу видається викладачем, який керує роботою, на протязі 10 днів з початку семестру. Завдання затверджується підписом викладача та студента, який отримує завдання.

4.3 Зміст

Зміст приводять на початку розрахунково-пояснювальної записки і розміщають після завдання. Оформляють його на аркуші,

який має основний напис згідно ГОСТ 2.104-2006, форма 2, і наступних аркушах з основним написом згідно ГОСТ 2.104-2006, форма 2а (Додаток В).

Слово «ЗМІСТ» записують великими літерами симетрично до тексту. В зміст включають вступ, найменування всіх розділів, підрозділів, пунктів (якщо вони мають найменування), висновок, список використаних джерел і найменування додатків із вказівкою сторінок, з яких починаються ці елементи пояснювальної записки.

4.4 Вступ

У вступі необхідно обґрунтувати актуальність теми, яку розробляють, викласти сучасний стан питання, окреслити перспективи та напрямки вирішення поставлених задач.

Вступ повинен бути коротким і чітким. В ньому не повинно бути загальних фраз і відступів, безпосередньо не пов’язаних з темою роботи. Слово «ВСТУП» записують великими літерами симетрично до тексту. Обсяг вступу – до 1 аркуша формату А4.

4.5 Характеристика матеріалу зварного виробу [1-4]

Необхідно навести узагальнену характеристику матеріалу зварного виробу.

Аналізується хімічний склад, механічні властивості та основні фізико-хімічні властивості матеріалу (представити у вигляді таблиць хімічний склад, механічні властивості матеріалу та стан постачання)[1].

Необхідно ретельно проаналізувати зварюваність матеріалів, особливо технологічну. При цьому потрібно мати на увазі, що вона

визначається не тільки природою матеріалу, але залежить і від інших факторів:

- способу і режимів зварювання;
- конструкції виробу;
- умов його експлуатації

Таким чином, при аналізі зварюваності потрібно враховувати взаємозв'язок матеріалу конструкції та технологією зварювання.

В загальному випадку зварюваність оцінюється за стійкістю зварних з’єднань проти утворення гарячих і холодних тріщин, стійкістю проти переходу в крихкий стан, а також за рівнем експлуатаційних характеристик – механічних, корозійних, зносостійкості та інших спеціальних властивостей.

Сукупність технологічних характеристик основного металу визначається його реакцією на зміни, які проходять при зварюванні, і здатність при прийнятому технологічному процесі забезпечувати надійне в експлуатації і економічне зварне з’єднання об’єднують в поняття “зварюваність”. Зварюваність не є невід’ємною властивістю металу або сплаву, на зразок фізичним властивостям. Окрім технологічних характеристик основного металу зварюваність визначається способом і режимом зварювання, складом присадкового металу, флюсу, покриття або захисного газу, умовами експлуатації виробу.

Механічні властивості сталі підвищуються із збільшенням вмісту вуглецю, при цьому її зварюваність погіршується, зростає небезпека виникнення холодних тріщин в зварному шві.

Враховуючи роль вуглецю, його еквівалент використовують, з одного боку, як показник здатності до зварювання, з іншого – як

показник твердості наплавленого шару. Для визначення зварюваності в курсовій роботі необхідно провести розрахунок за вказаними нижче формулами[2, 3, 4].

Формула для визначення вуглецевого еквіваленту, запропонована міжнародним інститутом зварювання:

$$C_{екв} = C + \frac{Mn}{6} + \frac{Cr + Mo + V}{5} + \frac{Ni + Cu}{15} \quad (1)$$

Вважають, що при $C_{екв}$<0.4 % тріщин нема, при $C_{екв}$≈0.4 – 0.7 % потрібний попередній підігрів, при $C_{екв}$≈0.7 – 1.0 % - високотемпературне підігрівання.

Формула для визначення вуглецевого еквіваленту, запропонована Д. Сеферіаном:

$$C_{екв} = [C]_x + [C]_p \quad (2)$$

де $[C]_x$ – хімічний еквівалент вуглецю, який характеризує склад сталі:

$$360\,[C]_x = 360C + 40(Mn+Cr) + 20Ni + 28Mo \quad (3)$$

$[C]_p$ – розмірний еквівалент вуглецю, який визначає розміри виробів:

$$[C]_p = 0.005\,S[C]_x \quad (4)$$

S – товщина виробу.

Японські вчені І.Ітo та К.Бессіо замість $C_{екв}$ запропонували оцінювати схильність до утворення холодних тріщин параметром $P_{утв}$, який визначається заформулою:

$$C_{екв} = C + \frac{Si}{30} + \frac{Mn + Cu + Cr}{20} + \frac{Ni}{60} + \frac{Mo}{15} + \frac{V}{10} + 5B + \frac{S}{600} + \frac{H}{60} \quad (5)$$

де S – товщина металу, мм; H – об’єм (кількість) дифузійного водню, $см^3$/100 г.

Якщо $P_{утв}$≤0.3, то холодні тріщини не утворюються; якщо $P_{утв}$>0.4, то холодні тріщини утворюються з імовірністю 100%

Теоретично зварюваність вуглецевих і низьколегованих сталей можна оцінити по еквівалентному вмісту вуглецю за формулою [1, с. 526]:

$$C_{екв} = C + \frac{Mn}{6} + \frac{Si}{24} + \frac{Cr}{5} + \frac{Ni}{10} + \frac{Mo}{4} + \frac{Cu}{15} + \frac{V}{14} + 5B, \qquad (6)$$

де C, Mn, Si, Ni, Cr, Mo, Cu, V, B – відсотковий вміст хімічних елементів, які містяться в сталі.

Часто наплавлений метал відрізняється від основного, і імовірність виникнення тріщин стає більш характерною для основного металу. Тому попереднє підігрівання здійснюють, виходячи з даних про твердість біляшовної зони. Для цього випадку існують рекомендації щодо вибору температур підігрівання залежно від твердості біляшовної зони (тобто твердості основного металу).

Для різних низьколегованих сталей рекомендовано таку температуру підігрівання (еквівалент вуглецю в якій визначається через формулу Сеферіана):

$$T_{під} = 350\sqrt{C_{екв} - 0,25} \qquad (7)$$

Формула, запропонована японськими вченими:

$$T_{під} = 1440 P_{утв} - 392 \qquad (8)$$

де $P_{утв}$– схильність до утворення холодних тріщин.

Розрахунок температури підігрівання виробу здійснюється у випадку, коли з технологічних міркувань та в залежності від групи зварюваності сталі необхідно здійснювати підігрівання.

4.6 Вибір та обґрунтування способу зварювання [3, 5-11]

Зварювання плавленням нараховує сотні способів. При виборі способу зварювання необхідно знати техніко-економічні

характеристики всіх цих способів зварювання, їх переваги і недоліки, найбільш раціональні сфери застосування.

Всі способи зварювання плавленням можна умовно поділити на 2 групи: типові та спеціальні.

До типових відносяться універсальні способи зварювання, які найбільш повно розроблені та широко використовуються в виробництві зварних конструкцій: ручне дугове зварювання покритим електродом – Е, механізоване та автоматичне плавким електродом в активному газі – УП, механізоване та автоматичне плавким електродом в інертному газі - ІП, автоматичне зварювання під флюсом – Ф, електрошлакове – Ш, газове зварювання – Г, зварювання неплавким вольфрамовим електродом в інертних газах – ІН, зварювання неплавким графітовим електродом – АН, плазмове зварювання – П, електронно-променеве зварювання - ЕП, лазерне зварювання – Л.

Спеціальні методи зварювання - це методи, які основані на типових способах зварювання і призначені для конкретного, більш вузького, використання.

Вибір способу зварювання визначає багато факторів: фізичні (температура плавлення та кипіння, теплопровідність та ін.), хімічний склад та властивості (хімічна активність легуючих елементів), зварюваність, товщина, транспортабельність зварного виробу, положення при зварюванні, доступність зварювання, протяжність та конфігурація з’єднання, можливість термомеханічної обробки, точність зварного виробу, програма випуску виробу, тип виробництва, матеріальні затрати. В даний час не існує методики або

алгоритмів вибору способу зварювання, які кількісно б враховували всі фактори.

Рекомендується починати вибір способу зварювання з типових, а при неможливості таких, вибрати з спеціальних способів зварювання. Вирішення цього питання може бути неоднозначним: необхідно запропонувати не один, а декілька можливих способів зварювання, які допустимі для зварювання даного виробу та вказати їх пріоритетність, виходячи зі складності методів, економічної доцільності та інших факторів. З попередньо вибраних способів необхідно зупинитись на оптимальних.

В якості першого фактору, який впливає на вибір способу зварювання рекомендується взяти хімічний склад та активність легуючих елементів зварюваного металу і його фізичні властивості.

Властивості матеріалу, у ряді випадків, мають визначальне значення у виборі способу зварювання, але іноді істотно обмежують число можливих способів. Товщина матеріалу, що зварюється, габаритні розміри конструкції ще більшою мірою обмежують ряд можливих способів зварювання. Проте в більшості випадків вказані чинники дозволяють використовувати при виготовленні конструкції декілька способів зварювання, кожен з яких забезпечує отримання готової зварної конструкції, що відповідає усім вимогам до неї.

В подальшому враховують інші фактори: положення при зварюванні (нижнє, вертикальне, горизонтальне, стельове), доступність зварювання (з однієї або з двох сторін), протяжність шва (короткий - <0,5м, середній - 0.5..1м, довгий >1.0м), конфігурації з’єднання (прямокутне, кільцеве, спіральне, криволінійне), кількості проходів (однопрохідні та багатопрохідні) та інші. Чим більше

факторів враховується при виборі способу зварювання, тим менше варіантів зварювання залишається. В цьому випадку вибір того або іншого способу зварювання повинен обґрунтовуватися визначенням його економічної ефективності. При неможливості обрання типових способів зварювання, слід обрати спеціальний.

Слід також пам’ятати, що в межах доцільного при виготовленні зварної конструкції необхідно застосовувати найменшу кількість способів зварювання.

У цьому розділі необхідно охарактеризувати можливі способи зварювання та вказати їх недоліки і переваги, а також детально описати особливості вибраного способу зварювання.

4.7 Вибір та обґрунтування зварювальних матеріалів [12-14]

При виборі зварювальних матеріалів передусім необхідно обґрунтувати умови забезпечення потрібного протікання металургійних процесів та одержання необхідного складу і якості наплавленого металу. Тому для набуття властивостей, що задовольняють вимогам надійності конструкції при експлуатації, важливим є правильний вибір зварювальних матеріалів.

При виборі зварювальних матеріалів слід виходити з наступних умов:

- можливості здійснювати зварювання в тих положеннях, в яких знаходитиметься під час зварювання виріб;
- можливості отримання щільних безпористих швів;
- можливості отримання металу шва, що має високу технологічну міцність, тобто не схильного до утворення гарячих тріщин;

- можливості отримання металу шва, що має необхідну міцність та експлуатаційну надійність;
- економічної ефективності.

Для ручного дугового зварювання покриті електроди рекомендується вибирати по наступній схемі:

1) вибір групи або класу електродів за призначенням в залежності від факторів: навколишнього середовища; групи або класу матеріалу;

2) вибір типу покриття в залежності від факторів: хімічної активності основного металу, зварюваності, ступеню відповідальності виробу;

3) вибір типу електродів в залежності від механічних властивостей основного металу (тільки низьковуглецеві та низьколеговані сталі);

4) вибір марки електродів в залежності від факторів: механічних властивостей, положенні при зварюванні, продуктивності та інше.

Захисні зварювальні гази рекомендують вибирати в такій послідовності:

1) вибір хімічної активності захисного газу (активний, суміш активного та інертного або інертний) та його чистоти в залежності від хімічної активності сплаву та легуючих елементів;

2) вибір виду забезпечення газом (індивідуальне – балонами, централізовано по трубопроводу) в залежності від кількості та зосередженості зварювальних постів (менше 10-ти постів - розосереджені; більше 10-ти постів - зосереджені).

Електродний зварювальний дріт може застосовуватися в виді електродного або присаджувального:

1) вибір групи або класу зварювального дроту за призначенням в залежності від факторів: навколишнього середовища (атмосфера, вода, космос), групи або класу зварюваних матеріалів , групи способів зварювання (плавкими та неплавкими електродами);

2) вибір виду легованого зварювального дроту (однорідного, різнорідного, нелегованого, легованого з розкислювачами або без них) в залежності від факторів: зварюваності матеріалу , легуючих властивостей захисту, окислювальної властивості атмосфери захисту;

3) вибір якості зварювального дроту за вмістом домішок (наприклад: СВ-08, СВ-08А, СВ-08-АА) в залежності від ступеня відповідальності виробу (не відповідальні, відповідальні, особливо відповідальні);

4) вибір конструкції зварювального дроту (суцільний, активований, порошковий, необміднений та обміднений) в залежності від факторів: кліматичних та метеорологічних умов на зварювальному посту (закрите приміщення, цех, відкрита площадка, поле, траса), чистоти розробки кромок, вимог до якості поверхні шва та механічних властивостей;

5) вибір діаметру зварювального дроту в залежності від факторів: способу зварювання (в захисних газах або під флюсом, автоматичного або механізованого), положення при зварюванні (нижнє, вертикальне, горизонтальне та стельове), режиму зварювання та ін.

Зварювальні флюси вибирають по наступній схемі:

1) вибір групи флюсу за призначенням в залежності від факторів: різновиду обробки, наприклад, зварювання (газове, дугове, електрошлакове, дугове під або по флюсу), групи або класу матеріалів (сталь, чавун, кольорові метали);

2) вибір групи флюсів за активністю (високоактивний, активний, малоактивний та пасивний) або за хімічним складом шлаку (безкисневий, кисневий, висококремністий, низькокремністий, безкремністий, марганцевий, безмарганцевий); в залежності від факторів: хімічної активності зварюваного матеріалу, його основи та легуючих елементів, ступеня відповідальності виробів;

3) вибір флюсу за способом виготовлення (плавлений, керамічний, механічна суміш) в залежності від факторів: легування через флюс наплавленого металу (легуючий, не легуючий), чистоти кромок (чисті, без іржі, фарби, мастил та ін., або брудні); вимог до механічних та інших властивостей наплавленого металу та ін;

4) вибір флюсу за характером зміни в'язкості шлаку в залежності від конфігурації положення зварного з'єднання (прямолінійне, нижнє, криволінійне, похиле), потужності дуги та величини зварювального струму;

5) вибір флюсу за будовою зерен (скло, пемза) в залежності від швидкості зварювання (менше 60 м/год, більше 60 м/год) типу шва (стиковий, кутовий) та його зовнішньої форми (випуклий, плоский, ввігнутий);

6) вибір флюсу за розмірами зерен (мілкі, крупні) в залежності від способу зварювання (механізоване, автоматичне), сили зварювального струму (менше 500А та більше 500А) або діаметру електродного дроту (≤2,5 мм, >3 мм).

Неплавкі електроди можна вибирати в такій послідовності :

1) вибір виду неплавкого електроду (вугілля, графіт, цирконій, вольфрам, молібден, тантал, мідь) в залежності від хімічної активності газового або іншого захисного середовища;

2) вибір марки вольфрамового електроду (чистий, активований оксидами тантала, ітрию або торію) в залежності від групи матеріалу (Fe, Ni, Cu, Ti, Nb, Mo, Al, Mg) та роду струму;

3) вибір діапазону діаметрів вольфрамових електродів (менше 6мм, більше 6мм) в залежності від способу зварювання (поверхнева дуга, занурена), сили зварювального струму (до 500 А, більше 500 А).

Після обґрунтування зварювальних матеріалів, необхідно вказати, які саме матеріали застосовуються при вибраному способі зварювання (для РДЗ – електроди з різного виду покриттям, для напівавтоматичного та автоматичного зварювання – зварювальний чи порошковий дріт та захисний газ чи флюс, тощо) та подати характеристику кожного з матеріалів (марку, вид постачання, умови зберігання), у формі таблиці вказавши хімічний склад (покриття та металевого осердя при РДЗ, дроту при напівавтоматичному та автоматичному зварюванні).

4.8 Вибір зварних швів та розроблення кромок

Вибір типу зварних швів та розроблення кромок здійснюють згідно діючих стандартів на зварні з’єднання. Загальну структуру методики вибору швів та розробки кромок можна подати у наступному вигляді:

1) класифікація, технологічна та економічна характеристика швів та розроблення кромок;

2) структуризація та систематизація факторів, які визначають вибір;

3) встановлення пріоритетності врахування факторів при виборі;

4) освоєння методики та алгоритму вибору.

Об’єм початкової інформації про шви та розроблення кромок значно залежить від обсягу розроблення конструкторської документації. Зазвичай на кресленнях вказуються типи швів з посиланням на стандарти. Якщо шов не стандартний, то зображується його поперечний переріз з наведенням необхідних розмірів. В цьому випадку не потребуються вирішення задачі вибору швів та розроблення кромок. Однак технолог-зварювальник повинен вміти оцінити правильність прийнятого конструктором рішення, так як конструктор не є спеціалістом по зварюванню. Зазвичай цю роботу технолог виконую при перевірці зварної конструкції на технологічність. У випадку відсутності такої інформації на кресленні, технолог самостійно обирає шви та вид розроблення кромок.

Основні критерії вибору зварних швів та розроблення кромок – продуктивність зварювання та якість зварних з’єднань, які знаходяться в протиріччі. Як правило, продуктивність обмежується верхньою межею, перехід через яку не забезпечую належної якості. Звідси стає зрозумілою загальна стратегія вибору швів та розробки кромок: намагання вибрати шов з найменшою кількістю проходів (однопрохідний шов) та найменшою кількістю наплавленого металу (проплавлений шов), розроблення кромок з мінімальною кількість видаленого металу (без скосу кромок).

Рекомендується вибрати спочатку шов, а потім вид розроблення кромок, хоча дані параметри шва взаємопов’язані.

В відповідності з запропонованим алгоритмом спочатку визначають тип шва за формою: стиковий, кутовий або торцевий. Звертається увага, що один тип з’єднання, наприклад кутовий, може мати всі три типи швів.

Доступність зварювання, в залежності від конструкції, габаритів та маси виробу, можливості його кантування, визначають вибір одно- або двохсторонніх швів, симетричних або асиметричних відносно поперечної осі.

Зварюваність основного металу визначає типи швів по співвідношенню основного та наплавленого металу (проплавний, проплавно-наплавний та наплавний). Якщо зварюваність основного металу задовільна або погана, то існує схильність до утворення гарячих і холодних тріщин, тому необхідно вибрати наплавний шов, що дозволяє отримати відмінний від основного металу хімічний склад шва. При добрій зварюваності шов може бути такого ж хімічного складу, як і основний метал, тобто бути проплавним. Можливі в цьому випадку також проплавно-наплавні та наплавні шви, що залежать не від зварюваності, а виду зварювання, товщини металу та інших факторів.

Для більшості типових видів зварювання можна вибрати стандартні шви та типову розробку кромок. В стандартах відображений нагромаджений досвід технології зварювання і тому передусім необхідно вибрати відповідний стандартний шов. Однак стандарти переглядаються періодично через 5..10 років і окремі дані в них можуть не відповідати сучасним досягненням зварювальної

технології. Спеціальні способи зварювання навпаки потребують вибору нестандартних швів та розробки кромок, хоча для них не виключається застосування стандартних швів.

В залежності від способу зварювання та товщини металу обираються зварні шви по кількості проходів (одно-, дво- або багатопрохідні).

Наявність або відсутність підварювального шва визначається ступенем відповідальності і вимогами до його якості, так як якість кореневого шва при зварюванні в висячому положенні не завжди гарантується.

Зовнішня форма шва, контур переходу від шва до основного металу значно впливають на механічні властивості зварних з'єднань при знакоперемінних навантаженнях. Тому для кутових швів переважний вибір ввігнутої форми шва, а для стикових – плоский або обмежено випуклий.

Підготовка до зварювання включає профілювання очистку складання та формування з'єднувальних елементів (деталей). Очевидно чим менше застосовується операцій при розроблені кромок, тим менше становлять затрати на їх виконання. Однак спрощення технології розроблення кромок не повинно знижати якість нижче необхідного рівня або категорії. Профілювання кромок - найбільш важлива та необхідна операція для забезпечення якісного формування лицевої (зниження опуклості) та тильної (зниження провисання) сторін багато прохідного шва, повного проплавлення та оптимального співвідношення між основним та наплавленим металами. Площу розроблення кромок необхідно вибрати мінімально

можливою, так як пропорційно їй змінюється трудомісткість профілювання та заповнення при зварюванні.

При зварювання плавким електродом в з'єднаннях без скосу кромок необхідно обирати оптимальний зазор, який сприяє проплавленню та зниженню опуклості шва. При зварюванні неплавким електродом, в особливо без присадного металу, навпаки необхідно обирати мінімальний зазор та забезпечувати високу точність складання.

В залежності від доступності зварювання, точності складання та інших факторів обирається оптимальний варіант підкладка (знімна та залишена, рухома або нерухома, металева або неметалева).

Розглянемо приклад вибору шва та розробки кромок для зварного з'єднання, виконаного за допомогою зварювання в CO_2. В результаті конструктивно-технологічного аналізу виробу встановлено, що основний метал являє собою сталь 09Г2С з товщиною 26 мм. З'єднання необхідно зварювати в монтажних умовах в вертикальному та напіввертикальному положенні, якщо зварювати з зовнішньої сторони напівсфери або вертикальне та напівстельове положення при зварюванні з внутрішньої сторони. Зварювання з зовнішнього боку більш сприятливе, так як положення шва зручніше та краща природна вентиляція. Тому доцільно обрати шви з числа односторонніх або двохсторонніх з підварюваннямкореня шва.

Приклад [3].*Необхідно вибрати тип зварного з'єднання та шва для виготовлення резервуара товщиною стінки 26 мм. В довідниках для товщини метала 26 мм знаходимо 7 типів стикових з'єднань зі скосом однієї кромки та 7 зі скосом двох кромок. Тип стикового з'єднання С8 виконуються зварюванням в висячому положенні, С9- на мідній підкладці, С10- на залишеній підкладці, С11- в замок.*

З'єднання С12, С13 та С14 мають відповідно прямолінійний, криволінійний та ломаний скоси однієї кромки та виконується з підварюванням кореня шва. Типи з'єднань С17, С18, С19, С20, С23 та С24 відрізняються від попередніх тільки скосом двох кромок. Із вказаних 14-ти варіантів швів і підготовлення кромок необхідно вибрати один - два варіанти. Односторонні замкові з'єднання С11 та С20 застосовується в спеціальних випадках, коли допускається пониження корисного робочого перерізу з'єднання та обмежений доступ до його тильної сторони. В даному випадку недоцільно застосування цих типів з'єднань як з точки зору навантажень (внутрішній тиск 1,8 МПа), так і з точки зору складності розроблення кромок на монтажі. Економічно недоцільним є застосування з'єднання С10 та С19 з залишеними стальними підкладками через додаткові витрати матеріалу та затрати на монтаж. З'єднання С9 та С18 на мідній підкладці потребують високої точності монтажу та щільного прилягання її до кромок, що малоймовірно при виготовленні такого великогабаритного виробу в монтажних умовах. При товщині металу 26 мм немає необхідності в застосуванні з'єднань типу С13, С14, С23, С24 з складною ломаною та криволінійною формами розробки кромок. Для аналізу залишаються варіанти зварних з'єднань в висячому положенні С8 або С17 або з підварюванням кореня шва С12 або С21. Враховуючи, що даний виріб належить до дуже відповідальних, обираємо з'єднання С12 та С21. Ці з'єднання відрізняються тільки формою розроблення кромок: С12 зі скосом однієї кромки, С21 зі скосом двох кромок. В обох випадках кут розроблення кромок однаковий та становить 40^o . Розрахункова площа поперечного перерізу наплавленого металу для С12 та С21 складають 349.6 мм^2 та 313.3 мм^2 відповідно. Варіант С12 потребую менше затрат на розроблення кромок (скіс однієї кромки). Однак варіант С21 потребує менше наплавленого металу і забезпечує кращий доступ для кореневого та заповнюючого проходів з лицевої сторони. Пропонується вибрати стикове з'єднання С21.

4.9 Розрахунок параметрів режиму зварювання [5-11, 15-18]

Обґрунтування режимів зварювання слід здійснювати за рекомендаціями нормативно-технічної документації або шляхом їх розрахунку з використанням існуючих методик на основі розглянутих

показників, здатності металу до зварювання, вибраного способу зварювання та зварювальних матеріалів.

При цьому слід виходити з наступних умов:

- отримання швів з оптимальними розмірами і формою;
- забезпечення такого термічного циклу, який забезпечить оптимальні властивості зони термічного впливу та металу шва.

Зазвичай розраховують чи вибираються такі параметри:

- сила струму;
- напруга на дузі;
- діаметр і марку електрода;
- марка флюсу;
- вид і витрати захисного газу;
- кількість шарів та їх переріз;
- швидкість подачі дроту;
- швидкість зварювання.

4.9.1 Розрахунок параметрів режиму електрошлакового зварювання [18]

ЕШЗ дротяними електродами. Визначаємо конструктивні елементи стикового зварного з’єднання при ЕШЗ типу С 1 (ГОСТ 15164–78). Тип з’єднання – стикове.

Викреслюємо тип стикового зварного з’єднання.

Розраховуємо кількість дротяних електродів і силу зварювального струму. Кількість електродів з коливаннями розраховуємо за формулою:

$$n = S/150. \quad (9)$$

Силу зварювального струму розраховуємо в залежності від відношення товщини зварюваного металу до числа електродів за формулою:

$$I_{зв} = A + B \cdot \frac{S}{n_{ел}}, \qquad (10)$$

де $n_{ел.}$ – число електродів дорівнює 6 шт; s – товщина заготовок;

А і В – коефіцієнти: А = 220...280; В = 3,2...4,0.

В зв'язку з особливими умовами протікання металургійних процесів для зберігання необхідних властивостей металу шва він повинен бути легованим марганцем, тому вибираємо електродний дріт марки Св08ГА, діаметром 3 мм;

Швидкість подачі електродного дроту розраховуємо за формулою:

$$I_{зв} = (1,6...2,2)V_{под.др,} \qquad (11)$$

величина коефіцієнта залежить від марки дроту і флюсу

$$V_{под.др} = \frac{I_{зв}}{(1,6...2,2)} \text{ м/год;} \qquad (12)$$

При зварюванні двома і більше електродами розраховуємо відстань між електродами:

$\Delta_{недохід\ між\ електрд.} \approx 17...18$ мм;

$$\Delta_{від.між.ел.} = \frac{S + \Delta_{нед.\ між.\ елек.} - (n_{ел.} - 1) * \Delta_{нед.\ до\ повз.}}{n_{ел.}} \qquad (13)$$

$\Delta_{нед.між\ електр.}$ – недохід між електродами ≈ 17...18 мм;

$\Delta_{нед.до\ повзуна} \approx 4...5$ мм.

Для отримання металевої ванни оптимальної глибини, напругу шлакової ванни розраховуємо за формулою:

$$U_{шл.в.} = 12 + \sqrt{125 + \frac{S}{0,075 * n_{ел.}}}.B; \quad (14)$$

Глибину шлакової ванни розраховуємо за формулою:

$$h_{шл.в.} = I_{зв.} \cdot (0,0000375 \cdot I_{зв.} - 0,0025) + 30, \text{ мм}; \quad (15)$$

Швидкість зварювання розраховуємо за формулою:

$$V_{зв.} = \frac{n_{ел.} * \alpha_н * I_{зв.}}{\gamma * b_з * K_c} \text{ м/год}; \quad (16)$$

$b_з$ – зазор між зварюваними заготовками (пластинами), см;

$\alpha_н$ – коефіцієнт наплавлення, дорівнює 25…35г/Агод;

n- кількість електродів, шт;

K_c- коефіцієнт, що враховує випуклість шва, K_c = 1,05…1,1;

γ- густина металу γ = 7,8 г/см^3.

«Сухий» виліт електрода розраховуємо за формулою:

$$l_{сух.вил.} = 25 \cdot d_{ел.др.} \pm 5 \cdot d_{ел.др.}, \text{ мм}; \quad (17)$$

“сухий” виліт електрода приймаємо в межах 60...70 мм, тому, що збільшення “сухого” вильоту електрода приводить до зниження величини зварювального струму, а це приводить до зменшення глибини провару;

Швидкість поперечних коливань вибираємо в залежності від швидкості подачі електродного дроту, і розраховуємо за формулою:

$$V_{поп.кол.} = 66 - \frac{0,22*S}{n_{ел.}}, \text{ м/год}; \quad (18)$$

Час витримки електрода біля повзуна розраховуємо за формулі:

$$t_{вит} = \frac{0,0375 \times s}{n_{ел.}} + 0,75 \quad (19)$$

Не дохід електрода до повзунів приймаємо 5...7 мм або 4...5 мм в залежності від товщини зварюваного металу;

Прийнято, що при зварюванні двома або трьома чи більше дротяними електродами для отримання оптимального провару, рівномірного по товщині, відстань між електродами розраховуємо за формулою:

$$d = \frac{s + \Delta_1 + \Delta_2}{n_{ел}} \tag{20}$$

d – відстань між електродами, мм;

S – товщина зварюваного металу, мм;

$n_{ел.}$ – кількість електродів;

Δ_1 – недохід 2-го електроду до розміщення 1 і 3-го при коливальних рухах, мм;

Δ_2 – відстань від електрода до повзуна, мм.

При вибраній кількості електродів і швидкості зварювання – швидкість подачі електродного дроту розраховують за формулою:

$$V_{под.ел.др.} = \frac{V_{зв} \cdot F_{н'}}{\sum F_{ел.д.р.}}; \tag{21}$$

$V_{зв}$ – швидкість зварювання, м/год;

$F_н$ – площа поперечного перерізу наплавленого металу, $см^2$;

$\sum F_{ел.др.}$ – сумарна площа поперечного перерізу електродних дротів, $см^2$.

Зварювання плавким мундштуком

Спочатку розраховують кількість електродів за емпіричною формулою:

$$n = \frac{S - 40}{d} + 1; \tag{22}$$

d– відстань між електродами, мм.

Оптимальне значення розраховується в залежності від товщини пластини плавкого мундштука, таблиця 2.

Таблиця 2 – Залежність діаметра мундштука від товщини пластин

Δ, мм	4 – 6	8 – 10	12 – 14	18 – 20
$d_м$, мм	50 – 110	90 – 120	120 – 150	150 – 180
d_{max}, мм	120	130	160	200

$d_м$ – оптимальна відстань між осями електродів, мм;d_{max} – максимальна відстань між осями електродів, мм.

Після цього, розраховується величина зварювального струму за формулою:

$$I_{зв} = (2{,}2V_{под.ел} + 90)n + 120V_{зв}\cdot\Delta_м\cdot b_м; \qquad (23)$$

$V_{под.ел}$ – швидкість подачі електрода;

$V_{зв}$ – швидкість зварювання, м/год;

$b_м$ – ширина плавкого мундштука;

$V_{зв}$ і $U_{зв}$ – залежить від товщини зварюваного металу;

$\Delta_м$ – відстань між мундштуками.

$$V_{под.мунд.} = \frac{V_{зв}(F_н - F_м)}{\sum F_{ел.др.}}; \qquad (24)$$

$F_н$- площа поперечного перерізу наплавленого металу шва;

$F_м$-площа перерізу плавкого мундштука, см^2;

$\Sigma F_{ел.др.}$- сумарна площа поперечного перерізу електродних дротів, см^2.

Зварювання пластинчатими електродами

Зварювання може виконуватися 1, 2 і 3 пластинчастими електродами.

Довжина розраховується за формулою:

$$H = \frac{l \cdot b_p}{s_{пл}}; \qquad (25)$$

l – довжина зварюваного стика, мм;

h_1 – величина, яка враховує конструкцію закріплення пластинчатого електрода в мм (h_1 = 500-600 мм);

b_p – ширина розрахункового зазору, мм;

$S_{пл.}$ – товщина пластини, мм.

$$I_{зв} = 120(V_{зв} + 0{,}2V_{под.})* S_{пл.}, * a_{пл.}, \quad (26)$$

$V_{зв}$ – швидкість зварювання, м/год;

$V_{под.}$ – швидкість подачі електрода;

$S_{пл.}$, $a_{пл.}$ – товщина і ширина пластинчатого електрода.

Оптимальна швидкість подачі пластинчатого електрода знаходиться в межах 1,2 – 3,5 м/год.

Залежність швидкості зварювання від товщини металу така, як і при зварюванні плавким мундштуком.

4.9.2 Розрахунок параметрів режиму зварювання плавким електродом у вуглекислому газі [16]

Стикові шви без розроблення кромок. Основними параметрами режиму зварювання в вуглекислому газі, які суттєво впливають на геометричні розміри і форму шва, є:

1) діаметр і марка електродного дроту ($d_{ел}$), мм;
2) величина зварювального струму ($I_{зв}$), А;
3) величина напруги на дузі ($U_{д,}$), В;
4) швидкість подачі електродного дроту ($V_{п.д.}$), м/год.;
5) швидкість зварювання ($V_{зв}$), м/год.;
6) величина вильоту електроду ($l_{ел}$), мм;
7) витрати захисного газу ($Q_г$), л/хв.

ГОСТ 14771-76 передбачає зварювання металу в вуглекислому газі товщиною до 120 мм із обов´язковим розробленням кромок

металу товщиною більше ніж 10 мм. При цьому зменшені кути розроблення до 40° і величина притуплення до 1-2 мм при зазорах 0-5 мм. Стикові з´єднання з товщиною зварюваних елементів від одного до 10 мм рекомендується зварювати однобічним зварюванням без розроблення кромок.

Стандарт передбачає використання зварювального дроту діаметром 0,8-1,2 мм. Допускається застосовувати основні типи швів зварних з´єднань за ГОСТ 5264-80. Вихідною величиною для розрахунку і вибору параметрів режиму зварних стикових з´єднань є товщина металу (S).

Визначення глибини проплавлення. Основні геометричні параметри шва, які обумовлюють надійність зварного стикового з´єднання – глибина проплавлення, яка розраховується за наступними формулами:

для однобічного зварювання (рис. 1):

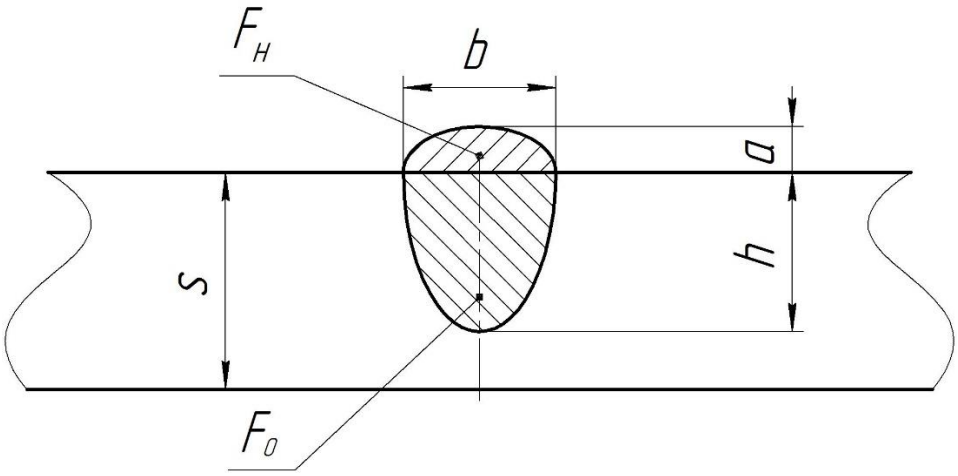


Рис. 1 – Основні геометричні розміри стикового шва при однобічному зварюванні

$$h = (0,7...0,8)\cdot S, \text{ мм} \qquad (27)$$

для двобічного зварювання (рис. 2):

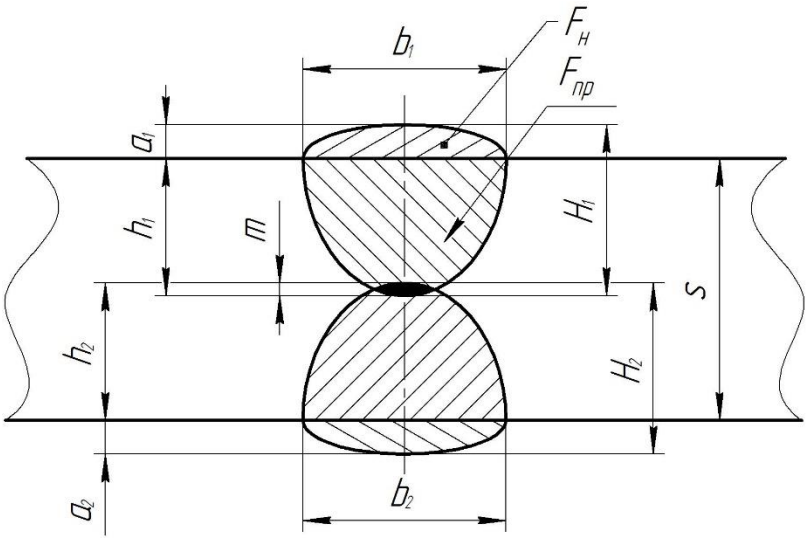


Рис. 2 – Основні геометричні розміри стикового шва при двобічному зварюванні

$$h_1 = h_2 = 0{,}6 \cdot S, \text{ мм}, \tag{28}$$

або

$$h_1 = h_2 = 0{,}5 \cdot S + (2 \pm 3), \text{ мм}. \tag{29}$$

Таким чином, необхідні умови отримання повного провару металу при двобічному зварюванні стикового з'єднання (рис.2) можна розрахувати за формулою:

$$h_1 + h_2 = S + m, \text{ мм} \tag{30}$$

де, h_1, h_2- глибина проплавлення з кожного боку, мм; S - товщина зварюваного металу, мм; m - величина перекриття швів, мм.

Але ця умова недостатня для визначення якості зварних з'єднань. Для того, щоб шви мали високу технологічну і експлуатаційну надійність, необхідно при заданій величині проплавлення (h) розрахувати величину ширини шва ($в$) і величину посилення шва (a).

Визначення діаметра електродного дроту і його марки. Діаметр електродного дроту вибирається в залежності від товщини зварюваного металу. Рекомендовані значення діаметрів дроту вказані в таблиці 1. При автоматичному зварюванні діаметр електродного

дроту не повинен перевищувати 2 мм. В подальшому, вибраний з таблиці 1, діаметр електродного дроту уточнюється в залежності від величини зварювального струму. Марка дроту вибирається в залежності від марки зварюваного металу з таблиці 3.

Таблиця 3- Залежність діаметру електродного дроту ($d_{ел}$) від товщини зварюваного металу (S)

Товщина металу (S), мм	0,8-2,0	3,0-6,0	8,0-14,0	16,0-20,0	22,0-40,0
Діаметр дроту ($d_{ел}$), мм	0,8-1,2	1,2-1,6	1,2-2,0	1,4-3,0	1,6-4,0

Визначення величини зварювального струму. Величина зварювального струму визначається за формулою:

$$I_{зв} = \frac{h}{K_a} \cdot 100, A \qquad (31)$$

де h - розрахункова глибина проплавлення, мм;

$К_а$ - коефіцієнт, який залежить від діаметра електродного дроту, (мм/А), його величина вибирається з таблиці 4.

Таблиця 4 – Залежність коефіцієнта ($К_а$)від діаметру електродного дроту ($d_{ел}$)

$d_{ел}$, *мм*	1,2	1,4	1,6	2,0	3,0	4,0	5,0
$К_а$, *мм/100А*	2,10	2,0	1,75	1,55	1,45	1,35	1,20

При зварюванні високолегованих сталей, враховуючи їх теплопровідність, отримане значення струму потрібно зменшити на 10-30%.

Уточнення діаметру електродного дроту. По розрахунковому значенню зварювального струму уточнюємо діаметр електродного дроту, використовуючи дані таблиць 5 і 6 за формулою:

$$d_e = 1.13\sqrt{\frac{I_{зв}}{j}}, мм \qquad (32)$$

де j - рекомендована густина струму, А/$мм^2$, вибрана з таблиці 5.

Таблиця 5 - Залежність густини струму (j) від діаметру електроду ($d_{ел}$) при зварюванні стикових швів без розроблення кромок

Діаметр електро-ду($d_{ел}$),*мм*	1,2	1,4	1,6	2,0	3,0	4,0	5,0
Густина струму (j), А/мм^2	100-300	90-250	80-230	65-200	45-90	35-60	30-50

При зварюванні з розробленням кромок допустима густина струму зростає.

Таблиця 6 - Залежність величини зварювального струму і напруги на дузі від діаметру електродного дроту

Діаметр електроду, *мм*	0,5	0,8	1,0	1,2	1,4	1,6	2,0	2,5
Зварюва-льний струм, *А*	30-100	50-150	60-180	90-400	100-500	120-550	200-600	250-700
Напруга на дузі, *В*	18-20	18-22	18-24	18-42	18-45	19-46	23-40	24-42

Визначення величини вильоту електроду. Величина вильоту електроду впливає на стабільність процесу зварювання і формування розмірів шва. З збільшенням вильоту електрода збільшується коефіцієнт розплавлення за рахунок підігрівання електродного дроту

зварювальним струмом. Надмірне збільшення вильоту електроду приводить до погіршення формування шва і до підвищення розбризкування електродного металу. При малому вильоті збільшується набризкування електродного металу на струмопідвідний мундштук і сопло, а також ускладнюється спостереження за процесом. Тому для різних діаметрів маловуглецевих і низьколегованих електродних дротів оптимальними є встановлені дослідним шляхом наступні значення величини вильоту електроду (таблиця 7).

Таблиця 7 - Залежність величини вильоту електроду від діаметра дроту

Діаметр ($d_{ел}$), *мм*	0,5-0,8	1,0-1,4	1,6-2,0	2,5-3,0
Виліт ($l_{ел}$), *мм*	6-12	8-15	15-25	18-30

Для електродного дроту виготовленого із високолегованих сталей виліт електроду зменшується в 1,5 рази, так як, їх омічний опір значно більший.

Визначення напруги на дузі. Напруга на дузі визначається в залежності від величини зварювального струму і діаметра електродного дроту за формулою:

$$U_д = 20 + \frac{50 \cdot I_{зв}}{1000 \cdot \sqrt{d_{e'}}} \pm 1, B \qquad (33)$$

Діапазон оптимальних напруг може бути також визначений з графіків, побудованих на основі статистично оброблених експериментальних даних.

Визначення швидкості подачі зварювального дроту. Швидкість подачі електродного дроту залежить від величини

зварювального струму, діаметра електродного дроту і визначається за формулою:

$$V_{п.д} = \frac{\alpha_р \cdot I_{зв}}{F_{ел} \cdot \gamma} \ , \ м/год \qquad (34)$$

де $V_{пд}$ - швидкість подачі дроту, *м/год*;

$I_{зв}$ - зварювальний струм, *А*;

$F_{ел}$ - площа поперечного перерізу електродного дроту, $м^2$;

γ - густина металу електродного дроту, $г/м^3$ (для сталей γ = 7800 кг/$м^3$);

$\alpha_р$ - коефіцієнт розплавлення дроту (*г/А*·год).

Визначення швидкості зварювання. Практикою підтверджено, що при автоматичному зварюванні задовільне формування шва відбувається в тому випадку, якщо добуток:

$$А = I_{зв} \cdot V_{зв}, \ А \cdot м/год,$$

має визначене значення, вказане в таблиці 8.

Таблиця 8 - Значення коефіцієнта (*А*) в залежності від діаметра електродного дроту ($d_{ел}$)

$d_е$, *мм*	1,2	1,6	2,0	3,0	4,0	5,0
А, А·м/год	(2-5) $\cdot 10^3$	(5-8) $\cdot 10^3$	(8-12) $\cdot 10^3$	(12-16) $\cdot 10^3$	(16-20) $\cdot 10^3$	(20-25) $\cdot 10^3$

Швидкість зварювання визначається за формулою:

$$V_{зв} = \frac{A}{I_{зв}}, \ м/год \qquad (35)$$

Якщо на кресленнях задані геометричні розміри шва і зазор між зварюваними виробами, то швидкість зварювання розраховується за формулою:

$$V_{зв} = \frac{F_{ел} \cdot V_{п.ел.}}{F_н}, \qquad (36)$$

де $V_{п.ел}$ - швидкість подачі електродного дроту, *м/год*;

$F_{п.ел.}$ - площа поперечного перерізу електродного дроту, $мм^2$;

$F_н$ - площа поперечного перерізу наплавленого металу, $мм^2$.

Площа поперечного перерізу наплавленого металу розраховується за формулою:

$$F_н = F_в + F_з, \quad мм^2 \qquad (37)$$

де $F_в$-площа поперечного перерізу валика шва, розраховується за формулою:

$$F_в = \mu_в \cdot в \cdot a, \ мм^2 \qquad (38)$$

Площа поперечного перерізу $F_з$зазору розраховується за формулою:

$$F_з = S \cdot e, \quad мм^2 \qquad (39)$$

де S – товщина зварюваного металу, *мм*; е – величина зазору, *мм*.

Визначення витрат захисного газу. Витрати вуглекислого газу залежать від діаметру електродного дроту (зварювального струму) і швидкості зварювання. Орієнтовні дані по вибору витрат захисного газу наведені в таблиці 9.

Таблиця 9 - Витрати вуглекислого газу в залежності від діаметру електродного дроту і відстані сопла пальника до поверхні виробу

Діаметр дроту, *мм*	0,5-0,8	1,0-1,4	1,6-2,0	2,5-30
Витрата газу, *л/хв*	5-8	8-16	15-20	20-30
Відстань від сопла до виробу, *мм*	7-10	8-14	12-18	16-22

Відстань від сопла пальника до поверхні виробу повинна бути в межах 8…15 мм.

Розрахунок геометричних розмірів стикового шва без розроблення кромок

Вибрані і розраховані параметри режиму зварювання дають можливість визначити геометричні розміри шва.

Основними геометричними розмірами шва є:

1) глибина проплавлення -h;

2) ширина шва - в;

3) підсилення шва -а;

4) площа поперечного перерізу проплавлення -$F_{пр}$;

5) площа поперечного перерізу наплавлення -$F_{н}$.

Крім вказаних параметрів, зварний шов має також:

а) коефіцієнт форми провару -$\psi_{пр}$;

б) коефіцієнт форми валика -$\psi_{в}$.

Визначення площі поперечного перерізу проплавлення зварюваного металу. Площа поперечного перерізу проплавлення зварюваного металу визначається за формулою:

$$F_{пр} = \frac{I_{зв} \cdot U_{д} \cdot \eta_{пр}}{\rho_{тл} \cdot \gamma \cdot V_{зв}}, м^2 \qquad (40)$$

де γ - густина металу (для сталі 7800 кг/ м^3), кг/м^3; $\rho_{тл}$ - теплоємкість металу, Дж/кг; $\eta_{пр}$ - повний ККД процесу, який визначається за формулою:

$$\eta_{пр} = \eta_{д} \cdot \eta_{т} \qquad (41)$$

де $\eta_{д}$- ефективний ККД дуги (визначається з графіка рис.6, або вибирається в межах 0,75…0,9); $\eta_{т}$ - термічний ККД процесу (при зварюванні у вуглекислому газі приймаємо, $\eta_{т}$=0,24…0,48).

Визначення площі поперечного перерізу наплавлення металу. Площа поперечного перерізу наплавлення металу визначається за формулою:

$$F_н = \frac{\alpha_п \cdot I_{зв}}{3600 \cdot \gamma \cdot V_{зв}}, см^2 \quad (42)$$

де $I_{зв}$- зварювальний струм, А; γ - густина металу дроту, $г/м^3$; $V_{зв}$- швидкість зварювання, *м/год*; $\alpha_н$- коефіцієнт наплавлення, *г/А·год* дорівнює:

$$\alpha_н = \alpha_р(1-\psi), \quad г/А \cdot год, \quad (43)$$

де $\alpha_р$ - коефіцієнт розплавлення; Ψ - коефіцієнт втрат металу на розбризкування.

Для кремній-марганцевого дроту при оптимальній напрузі в діапазоні густини струму j=60-320 А/мм^2 коефіцієнт втрат визначається за формулою:

$$\psi = 4{,}72+17{,}6-2\gamma-4{,}8\cdot10^{-4} j^2 \quad (44)$$

Так як, розрахована напруга не все є оптимальною з точки зору перенесення металу, то значення коефіцієнта втрат можна вибрати в залежності від характеру перенесення металу з таблиці 10.

Таблиця 10 - Характер перенесення електродного металу при зварюванні у вуглекислому газі

Діаметр електроду ($d_{ел}$), *мм*	Характер перенесення електродного металу при зварюванні в CO_2					
	Великокрапельне		Змішане		Дрібнокрапельне	
	$I_{зв}$,*А*	$U_д$,*В*	$I_{зв}$,*А*	$U_д$,*В*	$I_{зв}$,*А*	U_d,*В*
1,0	70-180	19-29	-	-	-	-
1,2	100-200	18-25	200-350	25-35	350-550	35-50
1,4	100-300	25-27	200-400	25-30	370-650	30-45
1,6	150-320	27-31	500-400	30-35	450-700	35-50
2,0	175-270	22-32	200-400	28-37	500-1000	35-45
3,0	-	-	470-500	-		До 48

Визначення коефіцієнта форми провару. Аналіз експериментальних даних показує, що на величину коефіцієнта форми провару впливає величина зварювального струму і напруги на дузі та діаметр електродного дроту.

Залежність коефіцієнта форми провару ($\psi_{пр}$) від основних параметрів режиму зварювання розраховується за формулою:

$$\psi_{пр} = K' \cdot (19 - 0,01 \cdot I_{зв}) \frac{d_{ел} \cdot U_{д}}{I_{зв}}; \qquad (45)$$

де K' - коефіцієнт, який залежить від роду струму, густини і полярності (табл. 11).

При зварюванні на густині струму в електродному дроті j<120 А/мм^2, величина коефіцієнта (К′) розраховується за формулою:

$$К' = 0,367\ j^{0,1325} \qquad (46)$$

Таблиця 11 - Значення коефіцієнта К′ для густини струму (*j*) в межах 30…110 А/мм^2

Густина струму, (*j*), *А/мм*^{2}	30	40	50	60	70	80	90	100	110
К′	0,7	0,74	0,77	0,8	0,83	0,85	0,87	0,89	0,9

При зварюванні на густині струму j≥120 А/мм^2, величина коефіцієнта залишається незмінною для постійного струму зворотної полярності і становить 0.92, а для прямої полярності становить 1,12. Коефіцієнт форми провару повинен бути в межах 0,8…4,0.

Визначення глибини проплавлення зварюваного металу за параметрами режиму зварювання. Величина глибини проплавлення розраховується за формулою:

$$h' = K\sqrt{\frac{q_n}{\psi_{\cdot p}}}; \quad м \tag{47}$$

де q_n-ефективна погонна енергія, Дж/м.

Ефективна погонна енергія визначається за формулою:

$$q_n \frac{I_{зв} \cdot U_д \cdot \eta_д}{V_{зв}}, Дж / м \tag{48}$$

Значення $\eta_д$ - береться з формули (43); $\psi_{пр}$ - коефіцієнт форми провару (визначений за формулою 47); К - коефіцієнт, залежить від марки зварюваного металу (при зварюванні маловуглецевих низьколегованих сталей в CO_2 – К=0,0165.

При глибині проплавлення меншій ніж товщина металу необхідно збільшити зварювальний струм, або зменшити швидкість зварювання.

Визначення ширини шва. Знаючи глибину проплавлення і коефіцієнт форми провару, можна визначити ширину шва за формулою:

$$в = \psi_{пр} \cdot h. \tag{49}$$

Визначення величини підсилення шва. При зварюванні стикових з′єднань без скосу кромок і зазору, площа поперечного перерізу валика $F_в$ дорівнює площі наплавлення $F_н$ і визначається за формулою:

$$F_в = F_н = \mu_в \cdot в \cdot a \tag{50}$$

$\mu_в$ - коефіцієнт повноти валика, а це є відношення площі валика до площі прямокутника, основа і висота якого відповідно рівні ширині і висоті валика. При автоматичному і напівавтоматичному зварюванні в захисному газі в діапазоні параметрів режиму, які забезпечують

задовільне формування шва, коефіцієнт повноти валика змінюється в вузьких межах і практично має постійне значення, яке становить – 0,73.

Величина підсилення шва визначається за формулою:

$$a = \frac{F_н}{0,73 \cdot в}; \qquad (51)$$

При наявності зазору між зварюваними виробами, за формулами і визначаються $F_З$ і $F_в$, а потім за формулою підсилення шва (а).

Визначення коефіцієнта форми валика. Коефіцієнт форми валика визначається за формулою:

$$\psi_в = в/a, \qquad (52)$$

При автоматичному і напівавтоматичному зварюванні значення коефіцієнта форми проплавлення ($\psi_{пр}$) повинні знаходитися в межах 0,8…4. При значенні $\psi_{пр}$<0.8, будуть утворюватися шви, схильні до утворення гарячих тріщин, а при значенні $\psi_{пр}$>4 - будуть широкі шви з малою глибиною провару, що не раціонально з точки зору використання теплової потужності дуги і приводить до збільшення зварюваних деформацій.

Значення коефіцієнта форми валика ($\psi_в$) для добре сформованих швів не повинно виходити за межі 7…10. Значення $\psi_в$< 7 має місце при вузьких і високих швах. Такі шви не мають плавного переходу від шва до основного металу і мають недостатню працездатність при змінних навантаженнях. Значення $\psi_в$>10 відповідає широким і низьким швам. Такі шви нераціональні по тих же причинах, що і шви з великим значенням $\psi_в$.

СТИКОВІ ШВИ З РОЗРОБЛЕННЯ КРОМОК І ЗАЗОРОМ. РОЗРАХУНОК ПАРАМЕТРІВ РЕЖИМУ ЗВАРЮВАННЯ І ГЕОМЕТРИЧНИХ ПАРАМЕТРІВ ШВА.

ГОСТ14771-76 передбачає зварювання з обов′язковим розробленням кромок металу товщиною більше 10 мм при зазорах в межах 0…3 мм.

Розрахунок параметрів режиму зварювання стикових з′єднань з зазором і розробленням кромок (рис.3) ведеться в наступній послідовності:

1) розраховують параметри режиму зварювання;
2) визначають основні геометричні розміри шва для зварювання без розроблення кромок і зазору. Виняток складає визначення коефіцієнта форми провару, який при наявності розроблення кромок дорівнює: $\Psi_{пр}=в/S$.

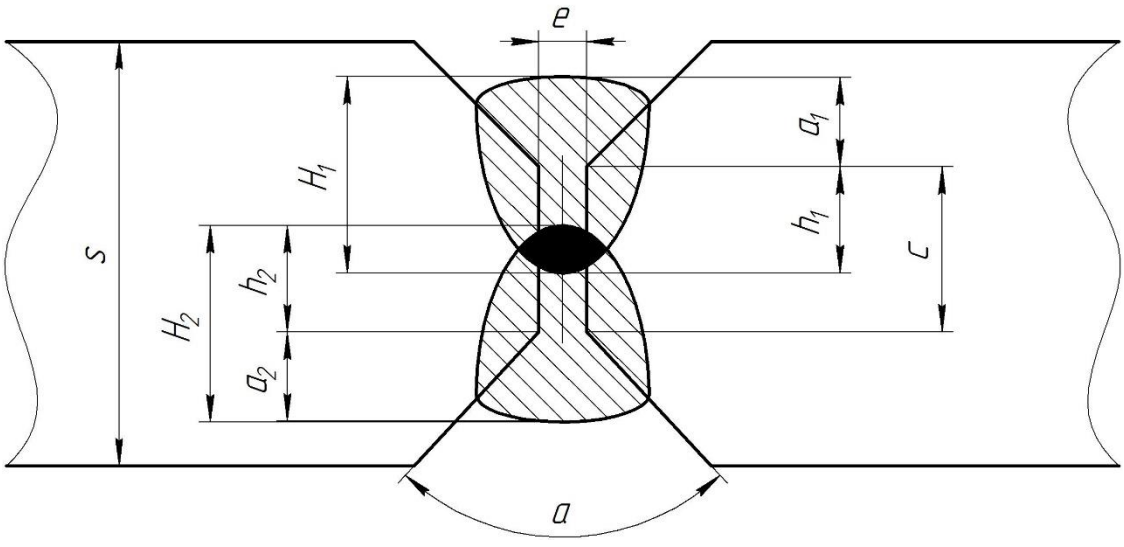


Рис. 3 – Конструктивні елементи кромок шва при двобічному зварюванні

При наявності розроблення кромок глибина проплавлення і підсилення шва буде відрізнятися від отриманих при зварюванні стикових з′єднань без розроблення кромок. Однак, розроблення і

тип шва не впливають на форму шва. Практично контур провару і загальна висота шва (*H*) при незмінних параметрах режиму зварювання залишаються однаковими для обох випадків рис.1 і рис.3.

Тому з достатньою точністю для практичних розрахунків можна прийняти, що:

$$H=h+a=h'+a'=const \qquad (53)$$

Знаючи загальну висоту шва, можна визначити глибину проплавлення при наявності зазору і розроблення кромок:

$$H=H-a \qquad (54)$$

де *H* - загальна висота шва; *h*-глибина проплавлення при наявності розроблення кромок і зазору. Величина підсилення шва визначається за формулою:

$$a=\frac{F_H-d^2\cdot tg\frac{\alpha}{2}-H\cdot e}{0,73\cdot b-e}; \qquad (55)$$

де $F_н$ - площа поперечного перерізу наплавлення для параметрів режиму зварювання стикового з′єднання без розроблення кромок і зазору; *d* - висота розроблення кромок; α - кут розроблення кромок; *H* - загальна висота шва, виконаного без розроблення кромок і зазору; е - зазор; *в* - ширина шва.

БАГАТОПРОХІДНІ СТИКОВІ ШВИ. РОЗРАХУНОК ПАРАМЕТРІВ РЕЖИМУ ЗВАРЮВАННЯ І ГЕОМЕТРИЧНИХ ПАРАМЕТРІВ ШВА

При розрахунку параметрів режиму зварювання багатопрохідних швів необхідно забезпечити:

1) проплавлення притуплення;

2) заповнення розроблення кромок з отриманням валика шва необхідної форми.

Необхідна глибина проплавлення притуплення повинна бути забезпечена при виконанні першого шару шва (проходу).

При зварюванні на великих струмах можна отримати форму провару не сприятливу для кристалізації металу шва, яка приводить до утворення гарячих тріщин. Тому, допустиму густину струму в електродному дроті треба вибирати ближче до нижньої межі діапазону допустимих густин струму для даного діаметру електродного дроту (таблиця 5).

Розглянемо найбільш загальний випадок багатопрохідного двобічного зварювання стикових швів з розробленням кромок при наявності зазору.

Порядок розрахунку наступний:

1) визначаємо величину проплавлення притуплення за.

2) визначаємо параметри шва, які мали місце при зварюванні на прийнятих параметрах режиму зварювання стикового з′єднання без розроблення кромок і зазору;

3) визначаємо загальну висоту шва;

4) визначаємо висоту заповнення без розроблення кромок при зварюванні за один прохід за наступною формулою:

$$a_1=H_1-h_1 \tag{56}$$

або:

$$a_1=\sqrt{\frac{F_н-H_1\cdot e}{tg\alpha/2}}\ ; \tag{57}$$

де $F_н$ – площа наплавлення за один прохід на вибраних параметрах режиму; H_1 – загальна висота шва виконаного на прийнятних

параметрах режиму без розроблення кромок і зазору; e – зазор; α – кут розроблення;

Розрахунок наступних проходів зварювання проводиться, виходячи з умов заповнення розроблення. Визначаємо загальну площу розроблення з одного боку зварного з'єднання і частину шва, що залишається після першого проходу, яку необхідно заповнити наступними проходами за формулою:

$$F_н = F_{роз.} - F_{н1}; \quad (58)$$

де $F_{роз.}$ – площа поперечного перерізу розроблення з врахуванням зазору (рис.3); $F_{н1}$ – площа наплавлення першого проходу.

Параметри режиму зварювання наступних швів вибирають (розраховують) таким чином, щоб отримати гарно сформовані шви з плавним переходом від основного до металу шва. Це досягається застосуванням більшого діаметра електродного дроту в порівнянні з першим проходом. Вибравши параметри режиму зварювання наступних проходів, знаходимо площу наплавлення шарів. Площа кожного наступного заповнюючого шару не повинна перевищувати 70…100 мм^2.

Потім визначають кількість заповнюючих шарів за формулою:

$$n = F_н / F_{з.ш}; \quad (59)$$

де $F_{з.ш}$ – площа поперечного перерізу наплавлення заповнюючого шару.

Останнім виконується заключний шар, який забезпечує отримання зварного шва з даними коефіцієнтами форми проплавлення валика. Ширина шва повинна перекривати ширину розроблення на 2…3 мм з кожного боку.

При двобічному зварюванні параметри режиму першого проходу з другого боку повинні бути вибраними (розрахованими), таким чином, щоб забезпечити виконання умови:

$$h_1+h_2=c+m\ ; \qquad (60)$$

де h_1 – глибина проплавлення притуплення від першого проходу з одного боку; h_2 – глибина проплавлення притуплення від першого проходу з другого боку; c – величина притуплення; m – перекриття швів, дорівнює 1-3 мм.

Після того порядок розрахунку повторюється.

КУТОВІ ШВИ. РОЗРАХУНОК ПАРАМЕТРІВ РЕЖИМУ ЗВАРЮВАННЯ І ГЕОМЕТРИЧНИХ РОЗМІРІВ ШВА

При розрахунку параметрів режиму зварювання необхідно забезпечити отримання катету шва, виходячи із вимог надійності.

Послідовність виконання розрахунку кутових швів при зварюванні в “човник”, можна з деяким наближенням брати таку ж, як для стикових швів з кутом розроблення $\alpha = 90^{\circ}$. Параметри режиму зварювання кутових швів вибираються з врахуванням специфічних особливостей їх формування. При отриманні плоских або випуклих швів їх ширина повинна бути рівною відстані по горизонталі між зварюваними виробами (рис. 4). Якщо ширина шва буде більше цієї відстані, то виникають підрізи.

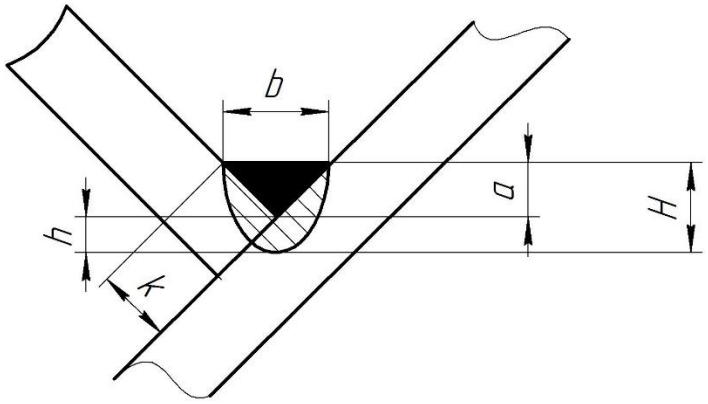


Рисунок 4 – Конструктивні елементи кутового шва при зварюванні в «човник»

Порядок розрахунку параметрів режиму наступний:

- визначаємо площу наплавленого металу за заданим катетом:

$$F_н=к^2/2; \quad (61)$$

де $к$ – катет плоского шва;

- визначаємо геометричні параметри шва:

а) висоту наплавленого металу визначаємо за формулою:

$$a=\sqrt{F_н}, \quad (62)$$

У випадку якщо зварювання з розробленням кромок та зазором, то величину розраховуємо за наступною формулою:

$$a=\sqrt{F_Н-H\cdot e}, \quad (63)$$

б) ширина шва визначається за формулою:

$$b=\sqrt{2к^2}, \quad (64)$$

коефіцієнт форми шва таврового і кутового з′єднання, дорівнює відношенню ширини шва до загальної його висоти, повинен бути в межах 0,8…2,0 і розраховується за формулою:

$$Ψ_ш=b/H; \quad (65)$$

- вибираємо діаметр електродного дроту виходячи з товщини зварюваного металу з таблиці 3;

- визначаємо зварювальний струм і швидкість подачі електродного дроту за формулами 31 і34.

Практикою встановлено, що задовільне формування кутових швів отримують при зварюванні на параметрах режиму, при яких густина струму в електроді знаходиться в межах, вказаних в табл.12.

Таблиця 12 – Залежність густини струму від діаметра електродного дроту

Діаметр електроду, мм	1,6	2,0	3,0	4,0	5,0
Густина струму, А/мм^2	25-200	60-150	45-85	35-55	30-40

Якщо величина густини зварювального струму виходить за межі вказаних діапазонів, то проводиться коректування і уточнення діаметра електродного дроту;

- визначаємо швидкість зварювання, яка дозволяє отримати при даній величині зварювального струму необхідну площу наплавлення за формулами або ;
- визначаємо напругу на дузі за формулою або з графіка, причому $U_д$ необхідно вибирати ближче до нижньої межі її оптимального значення.

Особливості розрахунку параметрів режиму зварювання в інертних газах

Дані методичні вказівки можуть бути також використані для розрахунку і вибору параметрів режиму зварювання і геометричних розмірів шва при зварюванні в інертних газах (аргоні, гелії) з врахуванням особливостей зварювальної дуги, плавлення електродного дроту і основного металу.

Для аргону і гелію необхідно вибирати відповідну марку електродного дроту, значення коефіцієнта K_a, напругу на дузі, коефіцієнт розплавлення електродного дроту і втрат електродного металу на розбризкування, ефективний ККД дуги і витрати захисного газу.

Марка електродного дроту вибирається виходячи із марки зварюваного металу, напруга на дузі при зварюванні в аргоні вибирається на 2-3 В менше порівняно із зварюванням в CO_2, внаслідок меншого значення градієнта потенціалу в стовпі дуги, а при зварюванні в гелії напруга на дузі на 20-35 % вище в порівнянні із зварюванням в аргоні. Коефіцієнт розплавлення електродного дроту в аргоні і гелії на 3-5 % менше в порівнянні з CO_2. Коефіцієнт втрат металу на розбризкування і вигоряння в аргоні складає 1-3%, а в гелії 7-10 %. Витрати аргону при зварюванні практично дорівнюють витратам вуглекислого газу, а витрати гелію на тих же параметрах режиму на 30-40% більше, внаслідок його малої густини.

Значення коефіцієнта K_a, і ефективного ККД дуги в аргоні і гелії в залежності від параметрів режиму, в розрахунках їх значення орієнтовно можна взяти з даних при зварюванні у вуглекислому газі.

Орієнтовні параметри режиму зварювання в аргоні високолегованих сталей наведені в таблицях 83 [5, с. 306-307], 26 [12, с. 115], 6 [11, с. 391].

4.9.3 Розрахунок параметрів режиму зварювання при зварюванні під флюсом [17]

Основними параметрами режиму зварювання під флюсом, які впливають на розміри і форму шва, є:

1) діаметр зварювального дроту – $d_{ел}$.;

2) зварювальний струм – $I_{зв}$.;

3) напруга на дузі – $U_д$;

4) швидкість зварювання – $V_{зв}$.;

5) швидкість подачі дроту – $V_{п.д.}$.;

6) виліт електроду – $l_{ел}$.;

7) марка зварювального дроту і флюсу.

ГОСТ 8713–79 передбачає автоматичне і напівавтоматичне зварювання металу під флюсом товщиною від 1,5 до 160 мм. Без скосу кромок при звичайному зазорі можна зварювати встик метал товщиною 16...20 мм. При великих товщинах необхідний збільшений зазор, або розроблення кромок. При розробленні з прямолінійним скосом кромок кут розроблення складає 60 ± 5^0, а при криволінійному скосі кромок кут розроблення – $25…26^0$. Прямолінійний скіс кромок використовують при зварюванні металу товщиною до 60 мм; для металу більшої товщини (до 160 мм) використовуємо криволінійний скіс кромок, оскільки це забезпечує значно менший об’єм наплавленого металу і зменшує величину деформації.

Зварювання кутових, таврових і напусткових з’єднань без скосу кромок можливе для металу товщиною до 33 мм.

Стандарт передбачає використання зварювального дроту діаметром від 1,6 до 6,0 мм.

СТИКОВІ ШВИ БЕЗ РОЗРОБЛЕННЯ КРОМОК

Вихідною величиною для розрахунку і вибору параметрів режиму зварювання стикових з'єднань є товщина металу (S). Параметри режиму зварювання встановлюється виходячи з умов заданих геометричних розмірів і форми шва.

Визначення глибини проплавлення. Розрахункова глибина проплавлення визначається за товщиною металу, за цими ж формулами що і для зварювання в захисних газах.

Для товщини 10...16 мм рекомендується однопрохідне однобічне зварювання, а для товщини 16...20 мм – двобічне. Зварювання виконується з використанням різних підкладок або на флюсовій подушці.

Вибір діаметра електродного зварювального дроту. В залежності від товщини зварювального металу рекомендується орієнтовно використовувати такі діаметри зварювального дроту:

1) при $S \le 5$ мм – $d_e = 1,6...3,0$ мм;

2) при $S \le 5 \le 30$ мм – $d_e = 2,0...5,0$ мм;

3) при $S > 30$ мм – $d_e = 5,0...6,0$ мм.

Для напівавтоматичного зварювання застосовують дріт діаметром 1,6...2 мм.

Визначення величини зварювального струму. Силу зварювального струму визначають за тією ж формулою, що при зварюванні в захисних газах.

$$I_{зв} = \frac{h}{k_{à}} \cdot 100 \text{ , А} \qquad (66)$$

де κ_a – коефіцієнт пропорційності, величина якого залежить від умов проведення зварювання (табл. 13).

Таблиця 13 – Значення коефіцієнта (κ_a) в залежності від роду і полярності зварювального струму

Марка флюсу	Діаметр дроту, мм	κ_a, мм/ 100 А		
		Змінний струм	Постійний струм	
			Пряма полярність	зворотня
ОСЦ-45	2 3 4 5 6	1,30 1,15 1,00 0,95 0,90	1,15 0,95 085 0,75	1,45 1,30 1,15 1,10
АН-348А	2 3 4 5 6	1,25 1,10 1,00 0,95 0,90	1,15 0,95 0,90 0,85	1,33 1,25 1,10 1,05

Можна використовувати середнє значення $к_а$ = 0,01 мм/А при $I_{зв}$ до 1000 А. При зварюванні високолегованих сталей, внаслідок їх меншої теплопровідності, отримане значення величини струму потрібно зменшити на 10...30 %.

Уточнення діаметру зварювального дроту. Діаметр електродного дроту визначають за величиною зварювального струму і допустимою густиною струму в електроді, яка при автоматичному зварюванні змінюється в широких межах і визначається діаметр зварювального електродного дроту за формулою:

$$d_{ел} = 1{,}13\sqrt{\frac{I_{зв}}{j}}, \qquad (67)$$

де j – величина густини струму, А/мм^2, яка вибирається з табл.14.

Таблиця 14 – Залежність величини густини струму від діаметра електродного дроту

$d_{ел}$, мм	1,6	2	3	4	5	6
j, А/мм^2	80–300	65–200	45–90	35–60	30–50	25–45

Визначення напруги на дузі. Напругу на дузі можна розрахувати за формулою або вибрати з графіка з врахуванням заданого коефіцєнта форми проплавлення:

$$U_д = 20 + \frac{0,05}{\sqrt{d_{ел}}} \cdot I_{зв} \pm 1, \qquad (68)$$

Визначення швидкості зварювання. Швидкість зварювання розраховується за емпіричною формулою:

$$V_{зв} = \frac{A}{I_{зв}}, \text{ м/год} \qquad (69)$$

Значення «А» для різних діаметрів дроту наведені в табл. 15.

Таблиця 15 – Залежність коефіцієнта (А) від діаметра електродного дроту

$d_{ел}$, *мм*	1,6	2,0	3,0	4,0	5,0	6,0
А, *А·м/год*	(5-8) · 10^3	(8-12)· 10^3	(12-16)·10^3	(16-20)·10^3	(20-25)·10^3	(25-30)·10^3

При цьому треба мати на увазі, що при автоматичному однодуговому зварюванні без особливих технологічних заходів, швидкість зварювання не повинна бути більше за 60 м/год. Нижня межа швидкості зварювання при напівавтоматичному зварюванні складає 10...12 м/год.

Верхня межа швидкості при напівавтоматичному зварюванні становить 40 м/год, так як при більш швидкому переміщенні електрода вздовж зварюваних кромок практично не вдається отримати рівномірну глибину провару і задовільне формування шва.

Швидкість зварювання також можна визначитиза наступною формулою (з врахуванням площі поперечного перерізу наплавленого металу):

$$V_{зв} = \frac{\alpha_н \cdot I_{зв}}{F_н \cdot \gamma \cdot 100}, \text{ м/год} \qquad (70)$$

де $F_н$ – площа поперечного перерізу наплавленого металу, $см^2$ (див. формули при розрахунку параметрів режиму зварювання в захисних газах);

γ – густина металу, $г/см^3$ (для сталі – 7800 $кг/м^3$);

$\alpha_н$ – коефіцієнт наплавлення, г/А · год.

При зварюванні під флюсом (практично) $\alpha_н \approx \alpha_р$ і визначається з графіка з рис.4 або за нижче вказаними формулами.

Для постійного струму зворотньої полярності коефіцієнт наплавлення розраховується за формулою:

$\alpha_н = 11.6 \pm 0.4$, г/А · год .

Для постійного струму прямої полярності і змінного струму розраховується за формулою:

$$. \alpha_н = A + B\frac{I_{зв}}{d_{ел}}, \text{ г/А·год} \qquad (71)$$

де А і В – коефіцієнти,значення яких для флюсу АН–348А вибирається з таблиці 16.

Таблиця 16 – Значення коефіцієнтів «А» і «В» в залежності від роду зварювального струму і його полярності

Коефіцієнти	А	В
Пряма полярність	2,3	0,065
Змінний струм	7,0	0,040

Якщо відома швидкість зварювання, $V_{зв}$ визначається за формулою:

$$V_{зв} = \frac{F_{ел} \cdot V_{пд.}}{F_{н}}, \quad (72)$$

де $F_{ел}$ – площа поперечного перерізу електродного дроту, мм^2;

$V_{п.д.}$ – швидкість подачі зварювального дроту, м/год.

Визначення швидкості подачі зварювального дроту. Швидкість подачі зварювального дроту визначається за формулою:

$$V_{п.д.} = \frac{\alpha_{н} \cdot I_{зв}}{q} \quad (73)$$

де q – маса 1 м дроту, г. Можна розрахувати за формулою:

$$q = \Pi r_e^2 \cdot l \cdot \gamma; \quad (74)$$

γ – густина металу зварювального дроту, г/см^3 (7800 кг/м^3);

l – довжина електродного дроту.

Визначення величини вильоту електродного дроту. Для різних за діаметром електродних дротів виготовлених із маловуглецевих і низьколегованих сталей оптимальними є

встановлені дослідним шляхом наступні значення величини вильоту електродного дроту (табл.17):

Таблиця 17 – Залежність величини вильоту електродного дроту від його діаметра

$d_{ел}$, мм	1,6...2,0	2,5...3,0	4,0...6,0
$l_{ел}$, мм	15...25	20...40	30...60

Для дроту виготовленого із високолегованої сталі величина вильоту електрода зменшується в 1,5 раза через високий опір.

Розрахунок геометричних розмірів стикового шва без розроблення кромок

За розрахованими параметрами режиму зварювання визначаємо геометричні розміри шва: глибину проплавлення (h), ширину шва (b) і величину підсилення шва (a) (рис.1 і рис. 2). Крім вказаних параметрів, зварний шов характеризується також $F_{пр}$, $F_н$ і коефіцієнтом форми проплавлення (провару) – $\psi_{пр}$, та коефіцієнтом форми валика (шва) – $\psi_в$.

Методика розрахунку геометричних розмірів і параметрів шва (h, b, a, $F_н$, $F_{пр}$, $\psi_{пр}$, $\psi_в$) приведена в методичних вказівках при розрахунку параметрів режиму зварювання плавким електродом у вуглекислому газі. У зв'язку з різною проплавляючою можливістю дуги під флюсом і у вуглекислому газі, визначення фактичної глибини проплавлення має свої особливості. Фактична глибина проплавлення розраховується за параметрами режиму зварювання за формулою:

$$h = K\sqrt{\frac{q_n}{\psi_{\text{р}}}}, \qquad (75)$$

де q_n – ефективна погонна енергія, кал/см, яка визначається за формулою

$$q_n = \frac{0,24 \cdot I_{зв} \cdot U_д \cdot \eta_и}{V_{зв}}, \text{ кал/см} \qquad (76)$$

η_u – ефективний ККД дуги при зварюванні під флюсом і становить – 0,8…0,95;

К– коефіцієнт рівний 0,016, при зварюванні під флюсом маловуглецевих і низьколегованих сталей;

$\psi_{пр}$ – коефіцієнт форми проплавлення.

Коефіцієнт К вибирається з табл.9 прij< 120 А/мм^2 або береться рівним при j> 120 А/мм^2 для зворотньої полярності *К*=0,92, а для прямої полярності К=1,12. При зварюванні змінним струмом на всьому діапазоні використовуваних густин струму К=1.

Для зварювання під флюсом значення $\psi_{пр}$ повинно бути в межах 0,8...0,4.

СТИКОВІ ШВИ З РОЗРОБЛЕННЯМ КРОМОК І ЗАЗОРОМ

У відповідності з ГОСТ 8713–79 розроблення кромок рекомендується застосовувати для товщини металу більше 12...16 мм. Рекомендується наступна послідовність розрахунку:

- визначаємо параметри режиму зварювання за заданою товщиною для стикового з'єднання без розроблення кромок і зазору цих же методичних вказівок;
- визначаємо геометричні розміри зварногошва.

БАГАТОПРОХІДНІ СТИКОВІ ШВИ

Багатопрохідні шви виконуються при зварюванні металу товщиною більше 16...20 мм. Розрахунок параметрів режиму зварювання включає 2 етапи:

І-ий) визначення параметрів режиму зварювання першого проходу з одного боку, який забезпечує дану величину притуплення (с) і щоби після виконання 1 шару шва з другого боку провар був спільним.

ІІ-ий) визначення параметрів режиму зварювання другого і наступних проходів з кожного боку для повного заповнення розроблення кромко при задовільному формуванні шва.

При виконанні першого шару шва потрібно проплавити 2/3 величини притуплення. Але, виконання першого шару шва на високих густинах струму в електроді може привести до небажаної форми провару і при цьому умови кристалізації металу шва є несприятливими і можливе утворення гарячих тріщин в металі шва.

Встановлено, що перший шар металу шва не має гарячих тріщин, якщо густина струму не перевищує величин вказаних в табл.18.

Таблиця 18 – Залежність величини густини струму (j) в електроді від його діаметра ($d_{ел}$)

$d_{ел}$, мм	2	4	5	6
j, А/мм^2	160	55	50	42

Послідовність розрахунку параметрів режиму зварювання і геометричних розмірів шва наведена у методичних вказівках [17, с.15–17].

КУТОВІ ШВИ

При розрахунку параметрів режиму зварювання необхідно забезпечити отримання катета шва виходячи з умов його міцності.

Послідовність виконання розрахунку параметрів режиму зварювання кутових швів таврових, кутових і напусткових з’єднань,

зварених «в човник», з деяким наближенням така ж, як і для стикових з'єднань з кутом розроблення $\alpha = 90^0$. Але, абсолютні значення величин розраховується і вибираються за формулами і таблицями даних методичних вказівок.

Орієнтовні параметри режиму автоматичного і напівавтоматичного зварювання під флюсом різних з'єднань з маловуглецевих і низьколегованих конструкційних сталей наведені в [14].

Розраховані або вибрані з літературних джерел параметри режиму зварювання необхідно подати у вигляді таблиці

4.10 Вибір і обґрунтування зварювального устаткування [19-24]

Виходячи з запропонованого способу зварювання та отриманих параметрів режиму зварювання встановлюються необхідні для процесу статичні і динамічні характеристики обладнання.

При виборі джерел живлення враховують:

- рід струму;
- зовнішню характеристику джерела живлення;
- номінальну потужність джерела по струму;
- можливість та доцільність використання багатопостового живлення.

Вибір зовнішньої характеристики джерела живлення роблять виходячи з форми статичної вольт-амперної характеристики дуги або шлакової ванни. Визначальними моментами тут є:

- значення коефіцієнта стійкості системи "джерело живлення-дуга" або "джерело живлення-шлакова ванна";
- стабільність процесу при зміні довжини дугового проміжку.

Серед відомих джерел прийнятого роду струму і зовнішньої характеристики слід вибрати джерело, номінальний струм якого (з урахуванням тривалості роботи або тривалості вмикання) відповідає струму по розрахованому режиму. Правильним вважається вибір з мінімальним перевищенням номінального струму над розрахунковим. При виборі необхідного джерела живлення необхідно перерахувати декілька можливих варіантів і з них вибрати найбільш раціональне.

Після обґрунтування вибору того чи іншого джерела живлення необхідно вибрати зварювальне устаткування (напівавтомат, автомат, пальник …) (також подати декілька можливих варіантів напівавтоматів чи автоматів які можна було б використати). При виборі необхідно користуючись каталогами щоб вибрати сучасні типи зварювальних автоматів і напівавтоматів, зварювальні установки, прагнучи до найбільшої автоматизації і механізації зварювальних процесів.

Зварювальні апарати повинні забезпечувати не тільки необхідний режим зварювання, але і технологічні зручності. У зв’язку з цим, вони, на відміну від джерел живлення, вибираються в основному не тільки за своїми техніко-економічними параметрами, але і в значній мірі за конструкційними особливостями.

Раціональне використання зварювального устаткування можливе тільки тому випадку, якщо при його виборі враховуються конкретні умови, в яких це устаткування повинне працювати. До таких умов належать наступні:

- необхідність механізованого або автоматичного зварювання;
- можливість доступу до місця з’єднання і максимально допустимі розміри апарату;

- необхідність пересування апарату або стаціонарної його роботи;
- необхідність використання системи автоматичного регулювання.

При виборі та обґрунтуванні зварювального устаткування необхідно подати опис його призначення, будову, принцип роботи (по бажанні дати загальний вигляд зварювального устаткування) у формі таблиць його технічну характеристику з обов'язковим посиланням на літературні джерела. По бажанню студента, можна представити рисунки загальних виглядів зварювального обладнання.

Вибір зварювального обладнання необхідно виконувати по літературним джерелам та використовувати каталоги і сайти фірм виробників зварювального обладнання.

4.11Розрахунок витрат зварювальних матеріалів [20-21]

Нормування витрат є необхідним фактором при будь-якому виробництві, оскільки дає змогу економічно використовувати засоби для виробництва. При виготовленні зварних конструкцій потрібно забезпечити раціональне використання зварювальних матеріалів (зварювального дроту, захисних газів та ін.). Для цього встановлено нормування витрат згідно ДСТУ3169-95 «Ресурсозбереження. Нормування витрат зварювальних матеріалів. Загальні вимоги, методи визначення нормативів ручного і механізованого електрозварювання». У даному пункті потрібно провести розрахунки витрат зварювальних матеріалів та електроенергії, що використовуються при зварюванні виробу. Нижче приведено методику розрахунку витрат зварювальних матеріалів для деяких способів зварювання.

Методика розрахунку норм витрат зварювальних матеріалів при зварюванні в захисних газах

Норми витрати зварювальних матеріалів розробляються на підставі нормативів витрат матеріалів на 1 м шва, які розраховуються стосовно до відповідних типів зварних швів, товщині зварюваного металу, режимам зварювання, діаметру зварювального дроту.

Для нормування витрат зварювальних матеріалів використовуються:

- креслення деталей, що зварюються і вузлів, що визначають типи і розміри швів, їх положення в просторі і протяжність, а також марки, які підлягають зварюванню;
- конструкторська специфікація вироби;
- карта технологічного процесу на складально-зварювальні роботи;
- документація, що регламентує вимоги до застосовуваним зварювальним дротам, захисним газам (державний стандарт, технічна умова);
- діючий державний стандарт на зварні з’єднання;
- плани організаційно-технічних заходів щодо економії матеріальних ресурсів;
- звітні дані про фактичну витрату матеріалів на виріб і рекомендації по їх зменшенню;
- номенклатура планованих зварювальних робіт;
- плани виробництва основної продукції.

У нормах витрати зварювального дроту, вуглекислого газу, суміші на зварювання виробу враховуються корисна витрата

матеріалів, що входять до складу даної продукції, а також відходи і втрати, обумовлені технологією зварювання.

До складу норм витрат не включаються технологічні відходи і втрати, що виникають через порушення технологічної дисципліни і вимог ГОСТ 14771-76, а також несправності обладнання, застосування неекономічних матеріалів (витрати яких більші, ніж передбачено технічною документацією); використання неякісних зварювального дроту і газу, які не задовольняють вимогам державних стандартів і технічних умов, а також брак при зварюванні та ін.

До складу норм витрат зварювального дроту, газу не включаються втрати, що входять в норму природного убутку (наприклад, при транспортуванні та зберіганні), а також витрата матеріалів, пов'язаних з випробуванням зразків, ремонтом металоконструкцій, виготовленням оснащення, і інші його види, що не належать до виготовлення продукції основного виробництва.

Норма витрати зварювальних матеріалів на виріб в загальному вигляді визначається за формулою:

$$N = \sum_{i=1}^{n} H_{pi} \cdot L_i \cdot k_{1i} \cdot k_{2i} \cdot k_{3i} \qquad (77)$$

де H_{pi}; - норма витрати матеріалу на 1 м і-го типу шва при даній товщині, кг; L_i - довжина і-го типу шва, м; k_{1i} · - поправочний коефіцієнт, що враховує технологічні відходи і втрати, пов’язаний із заварюванням кратера, виведенням (при необхідності) початку і кінця шва на технологічні планки, підбором режиму зварювання перед початком зварювання, а також залишок дроту в шлангових каналах, касетах і ін .; k_{2i} · - поправочний коефіцієнт, що враховує просторове положення і-го шва; k_{3i}- поправочний коефіцієнт, що враховує

витрату матеріалів на прихвачування, якщо прихвачування виконується зварюванням в CO_2; і - кількість швів, і=1,2, 3, ... п.

У нормі витрати зварювального дроту на конструкцію (виробу) беруться до уваги технологічні відходи і втрати, пов'язані з очищенням дроту, перемотуванням в касети, а також залишки її в шлангових каналах від кожної касети на заварювання кратера, виведення початку і кінця шва на технологічні планки, підбір режиму перед початком зварювання. Відходи на кожному підприємстві визначаються в залежності від специфіки зварних конструкцій (виробів).

При розрахунку норм витрати зварювальних матеріалів на виріб застосовуються поправочні коефіцієнти на різні умови:

- технологічні втрати і відходи зварювального дроту, пов’язані з виведенням (при необхідності) початку і кінця шва на технологічні планки, підбором режиму перед початком зварювання, заварюванням кратера, а також залишки електродного дроту в шлангових каналах, касетах та інші - k_1=1,05 ... 1,06;
- розташування шва в просторі: напіввертикальні (нахилені) k_2=1,05, вертикальну та горизонтальну k_2=1,1, стельові k_2=1,2;
- прихвачування деталей при складанні - k_3=1,06 ... 1,15 (для електродного дроту Св-08Г2С діаметром 1,2 ... 1,4 мм складає 1,06, діаметром 1,6 ... 2,0 мм - 1,15).

Норму витрати захисного газу на виріб $N_{iг}$, кг, можна також визначити за формулою:

$$N_{iг} = N_{iп} \cdot k_г \qquad (78)$$

де $N_{iп}$ - норма витрати дроту на виріб, кг;

$k_г$ –коефіцієнт, що враховує витрати захисного газу на 1 кг електродного дроту, кг / кг. Для укрупнених розрахунків $k_г$ можна брати рівним 1,15.

Методика розрахунку норми витрати зварювального дроту

Норматив витрати зварювального дроту $Н_р$, кг, в загальному вигляді визначається за формулою:

$$Н_р = M\text{-}k_p, \quad (79)$$

де M - маса наплавленого металу, диференційована по типу зварного з'єднання і товщині зварюваного металу, кг;k_p - коефіцієнт витрати дроту, що враховує неминучі її втрати, диференційований по діаметру застосовуваного електродного дроту і виду застосовуваного захисного газу (табл. 19).

Маса наплавленого металу M в кілограмах на 1 м шва визначається за формулою:

$$М = F \cdot \rho\ L \bullet 10^{-3}, \quad (80)$$

де F- площа поперечного перерізу наплавленого металу шва даного типу зварного з'єднання, яка розраховується за номінальними розмірами конструктивних елементів підготовлених кромок зварювальних деталей і шва зварного з'єднання за ГОСТ 14771-76, $см^2$;ρ - густина металу, прийнята для вуглецевих і низьколегованих сталей - 7,85 $г/см^3$; L – довжина шва, яка рівна 100 см.

Таблиця 19. Коефіцієнти витрати £ р дроту при зварюванні в CO_2 і суміші Ar + CO_2

Діаметр електродного дроту, мм	*Діапазон зварювального струму, А*	*Захисний газ*	
		CO_2	Ar + CO_2
0,8	60-120	1,04	1,03
1,0	60-160	1,05	1,03
1,2	100-180	1,06	1,03
1,2	180-250	1,07	1,05
1,4	120-200	1,07	1,04

1,4	200-280	1,08	1,06
1,6	240-260	1,10	1,07
1,6	280-380	1,11	1,08
2,0	240-280	1,14	1,08
2,0	280-450	1,16	1,11

Основні типи зварних з'єднань і формули для обчислення наведені в дод. Г.

При зварюванні сталей переривчастими швами (Т2, Т4, Т5, Н1, Н3) витрати зварювального дроту обчислюється виходячи з відповідних нормативів з урахуванням коригування на модуль шва, що визначається співвідношенням$\frac{l_ш}{t}$, де $l_ш$ - довжина зварного шва, мм; t - крок шва, мм.

Методика розрахунку норми витрати захисного газу

Нормування підлягає витрата вуглекислого газу або суміші, що містить 75 ... 80% Аг і 20 ... 25% CO_2.

Норми розраховані для вуглекислого газу вищого і першого сорту, що випускається відповідно до ГОСТ 8050-87. при використанні вуглекислого газу другого сорту витрати збільшується в 1,2 рази. При використанні в якості захисного газу суміші Аг + CO_2 застосовується аргон вищого або першого сорту згідно ГОСТ 10157-79. Суміші готують безпосередньо на робочих місцях за допомогою однопостових змішувачів або використовують в готовому вигляді в балонах.

Норма витрати захисного газу $H_г$ в літрах або кубічних метрах на 1 м шва визначається за формулою:

$$Н_Г = \sum_{i=1}^{n}(H_{уг} \cdot Т_{Oi} + Н_{дгi}) \quad (81)$$

де $H_{уг}$ - питома витрата захисного газу (табл. 20) м^3/с (л/хв);$Т_{Oi}$ - основний час зварювання і-го проходу, с (хв);$Н_{дгi}$ - додаткові витрати захисного газу на виконання підготовлювано-заключних операцій

при зварюванні і-го проходу, м^3 (л); *n* - кількість проходів, і = 1, 2, 3, ... *n* (величина перетину кожного проходу для зварювання стикових з'єднань дротами діаметром 1,4 ... 1,6 мм не повинна перевищувати 30 ... 40 мм^2, а діаметром 2 мм - 40 ... 60 мм^2).

Основний час зварювання одного метра шва визначається за формулою:

$$t_0 = \frac{m_H \cdot 60}{\alpha_H \cdot I_{зв}}, \qquad (82)$$

де $m_н$ - маса наплавленого металу на один метр шва:

Визначаючи витрата вуглекислого газу в кілограмах, необхідно мати на увазі, що при випаровуванні 1 кг рідкої вуглекислоти її утворюється 0,509 м^3, або 509 л.

Додатковий витрата захисного газу $Н_{дг}$ в літрах або кубічних метрах на кожен прохід розраховується за формулою:

$$Н_{ДГ} = Т_{ПЗ} \cdot Н_{уг} \qquad (83)$$

де $Т_{ПЗ}$ - час на підготовлювано-заключні операції (продування пальника перед зварюванням, налаштування режимів зварювання, обдув місця зварювання після закінчення процесу), с (хв). Значення $Т_{ПЗ}$ для дрібносерійного виробництва можна прийняти рівним 12 с (0,2 хв), для велико-серійного і масового - 6 с (0,1 хв) на кожен прохід.

Таблиця 20. Питома витрата $H_{уг}$ вуглекислого газу або суміші

Діаметр електродного дроту, мм	*Діапазон сили зварювального струму, А*	*витрати газу*	
		м^3/с 10^4	*л/хв*
0,8	60-120	1,33-1,50	8-9
1,0	60-160	1,33-1,50	8-9
1,2	100-250	1,50-2,00	9-12
1,4	120-320	2,00-2,50	12-15
1,6	240-260	2,30-2,50	14-15

1,6	260-380	2,50-3,00	15-18
2,0	240-280	2,50-3,00	15-18
2,0	280-450	3,00-3,33	18-20

Витрати CO_2 визначається з урахуванням нормального вильоту електродного дроту:

діаметр дроту, мм: 0,8; 1,0; 1,2; 1,4; 1,6; 2,0;

довжина вильоту відповідно, мм: 6 ... 10, 10 ... 12, 12 ... 16, 16 ... 20, 18 ... 22, 22 ... 25.

При зварюванні швів довжиною менше 50 мм або арматури діаметром менше 20 мм норма витрати захисного газу встановлюється з коефіцієнтом 1,2.

Витрати газу на прихватки становить до 15% загальних витрати газу на вузол (виріб). При зварюванні із застосуванням газового захисту із зворотного боку шва додаткові витрати газу знаходиться як добуток оптимальних витрат газу $H_{уг}$ на коефіцієнт 1,3 ... 1,5.

Розрахунок витрат зварювальних матеріалів при зварюванні під флюсом. При автоматичному і механізованому зварюванні під шаром флюсу нормуються витрати зварювального дроту і флюсу.

Розрахунок норми витрат зварювального дроту. Норма витрат зварювального дроту на 1 пог. м шва визначається по номінальних конструктивних розмірах шва, масі наплавленого металу з урахуванням технологічних втрат та відходів і розраховується за формулою:

$$H_n = Q \cdot K_n, \quad (84)$$

де H_n - норма витрати зварювального дроту на 1 пог. м шва, кг;

Q - маса наплавленого металу на 1 пог. м шва, кг;

$К_п$ - коефіцієнт переходу від маси наплавленого металу до витрати зварювального дроту, що враховує технологічні втрати і відходи при зварюванні.

До технологічних втрат і відходів відносяться відходи від обрізки кінця електродного дроту перед запалюванням дуги, відходи від вирізки дефектних ділянок, від перегину дроту, відходи у вигляді кінцевих залишків дроту в подаючих механізмах автоматів.

Сума всіх технологічних відходів та втрат зварювального дроту становить 5% від маси наплавленого металу. Таким чином, коефіцієнт переходу $К_п = 1,05$.

Розрахунок нормативу витрати флюсів. Норма витрати флюсу для зварювання 1 пог. м шва визначається виходячи з його витрати на утворення шлакової кірки і втрати на розпилювання при зварюванні та може бути розрахована за формулою:

$$Н_ф = Q \cdot К_ф, \qquad (85)$$

де $Н_ф$ - норма витрати флюсу на 1 пог. м шва, кг;

Q - маса наплавленого металу на 1 пог. м шва, кг;

Кф - коефіцієнт втрат і відходів флюсу.

На основі дослідно-виробничих даних коефіцієнт втрат і відходів флюсу при автоматичному і напівавтоматичному зварюванні приймається: $К_ф$=1,2 - при зварюванні без флюсо-утримуючих пристосувань; $К_ф$=1,35 - при зварюванні на флюсовій подушці;$К_ф$=1,3 - при зварюванні на флюсомідній підкладці.

Розрахунок витрат зварювальних матеріалів при електрошлаковому зварюванні.

Витрати електродного металу:

$$В_{ел.мет.} = S \cdot \gamma \cdot l \cdot b_{заз.} \cdot К_р, \quad кг \qquad (86)$$

b – ширина зварювального зазору, мм

або за наступними формулами:

$$Q_{нап.мет.} = 0{,}001 \cdot I_{зв.} \cdot \alpha_н \cdot t_{шт.} \cdot a_м, \quad (87)$$

$$Q_{нап.мет.} = S \cdot l \cdot \gamma \cdot 0{,}001, \quad (88)$$

$I_{зв.}$ – зварювальний струм, А;

$\alpha_н$ – коефіцієнт наплавлення, г/Агод;

$a_м$ – коефіцієнт, який враховує основний час зварювання в загальному часі зварювання;

$t_{шт.}$ – штучно-калькуляційний час на один виріб на даній операції зварювання, год;

S – площа поперечного перерізу шва, $м^2$;

l – довжина шва, см;

γ – густина наплавленого металу, $г/см^3$ (для сталі γ = 7,8)

Для ЕШЗ різних металів коефіцієнти витрат для марок дроту, які використовуються складають 1,02, тобто на 1 кг наплавленого металу витрачається 1,02 кг дроту.

Витрати флюсу при ЕШЗ в 20-30 раз менше, ніж при зварюванні автоматичному під флюсом і розраховується за формулою:

$$B_ф = \frac{1,4 \cdot I_{зв}}{20}. \quad (89)$$

Витрати зварювального флюсу при ЕШЗ визначають за коефіцієнтом, який представляє собою відношення маси витраченого флюсу до маси зварювального дроту. Коефіцієнт витрат флюсу при ЕШЗ рівний 0,05...0,1 або на 1 кг дроту витрачається 5...10 г. флюсу. Для зварювання вибираємо на початку процесу флюс марки АН–25, а після встановлення шлакового процесу- марки АН – 8 .

4.12 Розрахунок витрат електроенергії

Витрати електроенергії при електрошлаковому зварюванні. Витрати електроенергії визначаємо за формулою:

$$Q_{ел} = \frac{U_{зв}}{\alpha_н \cdot \eta \cdot K_у}, \frac{Вт \cdot год}{г} . \quad (90)$$

$\eta = 0{,}88; \alpha_н = 30$ г/Агод;

$K_у$ коефіцієнт, що враховує час роботи зварювального обладнання та становить 0,15...0,25.

При електрошлаковому зварюванні на змінному струмі витрати електроенергії кВт/год) розраховуємо за такою формулою:

$$P_{ел} = \frac{U_{зв} \cdot I_{зв} \cdot t_о \cdot 0{,}001}{\eta}, \quad (91)$$

η – КПД джерела живлення;

$t_о$ – основний (машинний) час зварювання, год;

Час зварювання розраховуємо за формулою:

$$t = \frac{l}{V_{зв}} . \quad (92)$$

Основний час зварювання для наплавлення 1 кг металу розраховуємо за формулою:

$$t_о = \frac{1000}{I_{зв} \cdot \alpha_н} . \quad (93)$$

Після підстановки цього виразу в формулу (87) отримаємо для розрахунку витрат електроенергії на 1 кг, наплавленого металу при зварюванні на змінному струмі:

$$P_{ел} = \frac{U_{зв}}{\eta \cdot \alpha_н}; \quad (94)$$

Питомі витрати електроенергії на 1 кг наплавленого металу при зварюванні на постійному струмі розраховуємо за формулою:

$$P_{ел} = \frac{U_{зв}}{\eta * \alpha_{н}} \cdot C_{х}; \quad (95)$$

$C_х$ – коефіцієнт, який враховує витрати електроенергії за час холостого ходу зварювального агрегату. Для розрахунків приймаємо $C_х = 1{,}17$.

Середні витрати електроенергії на 1 кг наплавленого металу в збільшених розрахунках можна прийняти для ЕШЗ на апараті А-1340 при зварюванні на постійному струмі 2,5 кВт год, а на апараті А-372-П при зварюванні на змінному струмі 1,4 кВт/год.

Витрати електроенергії при зварюванні в середовищі захисних газів та під флюсом. Витрати електроенергії на 1 кг наплавленого металу наближено визначають за формулою

$$Q = \frac{U_{д}}{\alpha_{Н} \cdot \eta \cdot k_{и}} \quad (96)$$

де $U_д$ - напруга на дузі, В;

$\alpha_Н$ - коефіцієнт наплавлення, г/Агод;

η - коефіцієнт корисної дії установки;

$k_и$ - коефіцієнт, що виражає час роботи зварювального обладнання;

Загальні витрати електроенергії при автоматичному зварюванні на виготовлення з’єданння визначають за формулою:

$$B = Q \cdot H_{п} \quad (97)$$

4.13 Опис і схема основних операцій технологічного процесу виготовлення зварного виробу

4.13.1 Заготівельні операції.

4.13.2 Складально-зварювальні операції.

4.13.3 Опоряджувальні операції.

4.13.1 Заготівельні операції. У даному розділі необхідно описати заготівельні операції виготовлення елементів виробу. При цьому особлива увага має бути приділена питанням вибору сортаменту, правлення, розкрою металу, різання і підготовки кромок.

При розробленні заготівельних операцій необхідно вказати, що входить в комплекс заготівельних операцій при виготовленні даного виробу та описати зміст кожної з операцій.

При виборі способу різання необхідно враховувати необхідну точність заготовок, на підставі якої вибирається заготівельне устаткування, вказуються його характеристики, обґрунтовується вибір вживаних матеріалів, режим різання тощо.

Для заготівельних операцій рекомендується маршрутний опис операцій.

4.13.2 Складально-зварювальні операції. Потрібно вказати складальні та зварювальні операції згідно з технологічним процесом виготовлення даного виробу (транспортування, встановлення, фіксування, обертання, кантування, прихоплення, зварювання складових вузла, вузлів та виробу в цілому) та описати зміст кожної з операцій. Послідовно і детально описується кожен перехід із зазначенням способу фіксації деталі, що встановлюється на базову деталь або раніше зібраний елемент, спосіб ставлення прихваток, їх

розмір. При описі зварювальних операцій зазначається спосіб зварювання, який використовується, режими зварювання та зварювальне устаткування. Якщо водному переході зварюються декілька швів, зазначається послідовність їх виконання.

4.13.3 Опоряджувальні операції. Опоряджувальними називають операції, які виконують після проведення зварювання. Деталь зачищають від бризок наплавленого металу. Зовнішнім оглядом перевіряють якість складання, зварювання і зачищення. Після зварювання при необхідності проводять правлення конструкції до відповідності розмірів вказаних на кресленні. При описі опоряджувальних операцій необхідно навести обладнання та його технічну характеристику, за допомогою якого вони здійснюються.

4.14 Техніка безпеки при виконанні зварювальних робіт

В курсовій роботі повинні бути передбачені всі заходи, що забезпечують техніку безпеки при виконанні зварювальних робіт (в залежності від способу зварювання). Ці заходи при необхідності, обґрунтовуються існуючими нормами або розрахунками.

5 ВИМОГИ ДО ОФОРМЛЕННЯ КУРСОВОЇ РОБОТИ

5.1 Розрахунково-пояснювальна записка

Розрахунково-пояснювальну записку (РПЗ) слід оформляти згідно з вимогами ДСТУ 3008-95. Її виконують рукописним, машинописним або машинним (за допомогою комп'ютерної техніки) способом на одному боці аркуша білого паперу формату А4 з рамкою та основним надписом згідно з ГОСТ 2.104-2006. Можна також представляти ілюстрації, таблиці і роздруківки з ЕОМ на аркушах формату А3.

Текст РПЗ слід виконувати одним із таких способів:

- машинописний – через 1,5 інтервалу;
- із застосуванням друкуючих і графічних пристроїв виводу ЕОМ;
- рукописним із висотою букв не менше 2,5 мм чорного кольору.

Відстань від рамки форми до меж тексту на початку і в кінці рядків повинна бути 5 мм.

При оформленні тексту за допомогою комп'ютера слід дотримуватися таких загальний рекомендацій щодо форматування:

- основний шрифт – TimesNewRoman, 14 пунктів, звичайний (без виділення жирним, курсивом і підкресленням), колір – тільки чорний;
- основний міжрядковий інтервал – 1,5 (без застосування будь-яких інтервалів перед і після абзаців та пропусків рядків у тексті);
- в багаторядкових назвах пунктів/підпунктів, підрисункових написах і заголовках таблиць, всередині них – міжрядковий інтервал – 1,0;

- всередині таблиць міжрядковий інтервал – 1,0, шрифт – будь-якого розміру (але не менше 7 п.);
- всередині рисунків (ілюстрацій) міжрядковий інтервал – 1,0; шрифт – будь-якого розміру, але не менше 7 п.);
- абзацний відступ («новий рядок») – 1,27 см.

В РПЗ повинні застосовуватися науково-технічні терміни, позначення й визначення, установлені відповідними стандартами, а при їх відсутності – загальноприйняті в науково-технічній літературі. Текст документу повинен бути коротким, чітким і не допускати різних тлумачень.

Якщо в РПЗ прийнята спеціальна термінологія, то наприкінці її (перед списком літератури) повинен бути поданий перелік прийнятих термінів із відповідними роз'ясненнями. Перелік включають у зміст РПЗ.

У тексті РПЗ не допускається:

- застосовувати для того самого поняття різні науково-технічні терміни, близькі за змістом (синоніми), а також іноземні слова й терміни при наявності рівнозначних слів і термінів в українській мові;
- скорочувати позначення одиниць фізичних величин, якщо вони вживаються без цифр, за винятком одиниць фізичних величин у голівках і боковиках таблиць і в розшифровках літерних позначень, що входять до формул й рисунків;
- застосовувати скорочення слів, крім установлених правилами української орфографії, пунктуації, а також відповідними державними стандартами;
- використовувати в тексті математичний знак мінус (–) перед

негативними значеннями величин. Замість математичного знака (–) варто писати слово «мінус»;

▪застосовувати без числових значень математичні знаки , наприклад,> (більше),< (менше), = (дорівнює), ≥ (більше або дорівнює), ≤ (менше або дорівнює), ≠ (не дорівнює), а також знаки № (номер), % (відсоток);

▪застосовувати індекси стандартів (ДСТУ, ГОСТ, СТП), технічних умов (ТУ) і інших документів без реєстраційного номера;

▪застосовувати похідні словоутворення.

Стандарт ставить також ряд вимог щодо оформлення певних елементів розрахунково-пояснювальної записки.

Структурні елементи РПЗ «ЗМІСТ», «ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СИМВОЛІВ, ОДИНИЦЬ, СКОРОЧЕНЬ І ТЕРМІНІВ», «ВСТУП», «ВИСНОВКИ», «ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ» не нумерують, а їх назви є заголовками структурних елементів.

Розділи і підрозділи РПЗ повинні мати заголовки. Пункти та підпункти можуть мати заголовки. Заголовки структурних елементів РПЗ і заголовки розділів слід розташовувати посередині рядка і друкувати великими літерами без крапки у кінці, не підкреслюючи. Заголовки підрозділів, пунктів і підпунктів слід починати з абзацу і друкувати жирним шрифтом, маленькими літерами, крім першої великої, не підкреслюючи, без крапки в кінці. Абзацний відступ повинен бути однаковим упродовж усього тексту РПЗ. Якщо заголовок складається з двох і більше речень, їх розділяють крапкою. Перенесення слів у заголовку розділу не допускається. Не допускається розміщувати назву розділу, підрозділу, а також пункту й підпункту в нижній частині сторінки, якщо після неї розміщено

лише один рядок тексту.

Відстань між назвою структурної частини та назвою підрозділу має становити один рядок. Відстань між заголовком і текстом повинна становити один рядок, попереднім текстом і наступним заголовком – два рядки.

Кожну структурну частину роботи слід починати з нової сторінки на аркуші, який має основний напис згідно ГОСТ 2.104-2006, форма 2.

Сторінки РПЗ слід нумерувати арабськими цифрами, дотримуючись наскрізної нумерації впродовж усього тексту. Титульний аркуш включають до загальної нумерації сторінок. Номер сторінки на титульному аркуші не проставляють. Ілюстрації й таблиці, розміщені на окремих сторінках, включають до загальної нумерації сторінок. Зміст включають у загальну кількість аркушів РПЗ.

Розділи, підрозділи, пункти, підпункти РПЗ слід нумерувати арабськими цифрами. Розділи повинні мати порядкову нумерацію і позначатися арабськими цифрами без крапки, наприклад, 1, 2, 3 і т.д. Кожен розділ РПЗ необхідно починати з нового аркуша (сторінки). Номер підрозділу складається з номера розділу і порядкового номера підрозділу, відокремлених крапкою. Після номера підрозділу крапку не ставлять, наприклад 1.1, 1.2 і т.д.

Пункти повинні мати порядкову нумерацію в межах кожного розділу або підрозділу. Номер пункту складається з номера розділу і порядкового номера пункту, або з номера розділу, порядкового номера підрозділу та порядкового номера пункту, відокремлених крапкою. Після номера пункту крапку не ставлять, наприклад, 1.1.1,

1.1.2 і т.д. Номер підпункту складається з номера розділу, порядкового номера підрозділу, порядкового номера пункту і порядкового номера підпункту, відокремлених крапкою, наприклад, 1.1.1.1, 1.1.1.2, 1.1.1.3 і т.д.

Друкарські помилки, описки і графічні неточності, виявлені в процесі виконання роботи, допускається виправляти підчищенням або зафарбовуванням білою фарбою і нанесенням на тому ж місці виправленого тексту чи рисунка.

5.2 Ілюстрації

Кількість ілюстрацій (креслення, рисунки, графіки, схеми, діаграми, фотознімки) повинна бути достатньою для пояснення викладеного тексту.

Ілюстрації слід розміщувати безпосередньо після тексту, де вони згадуються вперше, або на наступній сторінці. На всі ілюстрації повинні бути посилання в тексті РПЗ.

Ілюстрації можуть мати назву, яку розміщують під ілюстрацією. При необхідності під ілюстрацією розміщують пояснювальні дані (підрисунковий текст). Ілюстрація позначається словом «Рисунок», яке разом із назвою ілюстрації розміщують після пояснювальних даних, наприклад: «Рисунок 3.1 – Схема розміщення». Назву рисунка слід розташовувати посередині рядка. Перед і після назви рисунка необхідно пропускати один пустий рядок.

Ілюстрації, за винятком ілюстрацій, наведених у додатках, слід нумерувати арабськими цифрами наскрізною порядковою нумерацією. Якщо рисунок один, то він позначається як «Рисунок 1». Допускається нумерувати ілюстрації у межах розділу. У цьому

випадку номер ілюстрації складається з номера розділу і порядкового номера ілюстрації, розділених крапкою, наприклад: «Рисунок 1.1».

При посиланнях на ілюстрації слід писати «... відповідно до рисунка 2» при наскрізній нумерації і «... відповідно до рисунка 1.2» при нумерації у межах розділу.

Якщо в тексті РПЗ є ілюстрація, на якій зображені складові частини виробу, то на цій ілюстрації повинні бути зазначені номери позицій цих складових частин у межах даної ілюстрації, що розташовуються в порядку зростання, за винятком позицій, які повторюються.

При посиланні в тексті на окремі елементи деталей (отвори, пази, канавки тощо) їх позначають великими літерами українського алфавіту.

Якщо ілюстрація не вміщається на одній сторінці, її можна перенести на інші сторінки, вміщуючи назву ілюстрації на першій сторінці, пояснювальні дані – на кожній сторінці, і під ними позначити: «Рисунок __, аркуш __».

5.3 Таблиці

Цифровий матеріал, як правило, оформляють у вигляді таблиць відповідно до рис. 1.

Таблиця _____ – _____
номер назва таблиці

Рисунок 1 – Приклад оформлення таблиці

Горизонтальні та вертикальні лінії, які розмежовують рядки таблиці, а також лінії зліва, справа і знизу, що обмежують таблицю,

можна не проводити, якщо їх відсутність не утруднює користування таблицею.

Якщо в кінці сторінки таблиця переривається і її продовження буде на наступній сторінці, в першій частині таблиці нижню горизонтальну лінію, яка обмежує таблицю не проводять.

Таблицю слід розташовувати безпосередньо після тексту, у якому вона згадується вперше, або на наступній сторінці. Таблицю відокремлюють від подальшого тексту роботи вільним рядком.

На всі таблиці мають бути посилання в тексті РПЗ. Допускається розміщувати таблицю уздовж довгої сторони аркуша РПЗ.

Якщо рядки або графи таблиці виходять за формат сторінки, її поділяють на частини, поміщаючи одну частину під іншою або поруч, при цьому в кожній частині таблиці повторюють її головку і боковик. При розподілі таблиці на частини допускається заміняти її головку або боковик відповідно номером граф і рядків. При цьому нумерують арабськими цифрами графи і (або) рядки першої частини таблиці.

Таблиці слід нумерувати арабськими цифрами порядковою нумерацією в межах розділу, за винятком таблиць, що наводяться у додатках. Номер таблиці складається з номера розділу і порядкового номера таблиці, відокремлених крапкою, наприклад: «Таблиця 2.1 – Перша таблиця другого розділу».

Таблиця може мати назву, яку друкують малими літерами (крім першої великої) і вміщують над таблицею. Назва має бути стислою і відображати зміст таблиці. Перед назвою таблиці необхідно пропускати один пустий рядок.

Слово «Таблиця __» вказують один раз зліва над першою частиною таблиці, над іншими частинами пишуть: «Продовження

таблиці __» із зазначенням номера таблиці без її назви.

Заголовки граф таблиці починають з великої літери, а підзаголовки – з малої, якщо вони складають одне речення із заголовком. Підзаголовки, що мають самостійне значення, пишуть із великої літери. В кінці заголовків і підзаголовків таблиць крапки не ставлять. Заголовки і підзаголовки граф указують в однині.

Якщо в більшості граф таблиці наведені показники, виражені в тих самих одиницях фізичних величин (наприклад, у міліметрах, вольтах), але є графи з показниками, вираженими в інших одиницях фізичних величин, то над таблицею варто писати найменування переважного показника й позначення його фізичної величини, наприклад, «Розміри в міліметрах», «Напруга у вольтах», а в підзаголовках інших граф наводити найменування показників і (або) позначення інших одиниць фізичних величин.

Для скорочення тексту заголовків і підзаголовків граф окремі поняття заміняють літерними позначеннями, установленими стандартами або іншими позначеннями, якщо вони пояснені в тексті або наведені на ілюстраціях, наприклад, D – діаметр, H – висота, L – довжина. Показники з тим самим літерним позначенням групують послідовно в порядку зростання індексів.

Обмежувальні слова «більше», «не більше», «менше», «не менше» та ін. повинні бути поміщені в одному рядку або графі таблиці з найменуванням відповідного показника після позначення його одиниці фізичної величини, якщо вони належать до всього рядка або графи. При цьому після найменування показника перед обмежувальними словами ставиться кома.

Текст, що повторюється в рядках однієї і тієї ж графи і

складається з одиничних слів, що чергуються з цифрами, заміняють лапками. Якщо повторюваний текст складається з двох і більше слів, при першому повторенні його заміняють словами «Те ж», а далі – лапки. Заміняти лапками цифри, математичні знаки, знаки відсотка і номера, позначення марок, матеріалів і типорозмірів виробів, позначення нормативних документів, які повторюються, не допускається. При відсутності окремих даних у таблиці ставиться прочерк (тире).

Інтервал чисел у тексті записують з словами «від» і «до» (маючи на увазі «від ... до ... включно»), якщо після чисел зазначена одиниця фізичної величини або числа, які представляють безрозмірні коефіцієнти, або через дефіс, якщо числа представляють порядкові номери.

Цифри в графах таблиць потрібно проставляти так, щоб розряди чисел у всій графі були розташовані один під іншим, якщо вони відносяться до одного показника. В одній графі повинна бути дотримана, як правило, однакова кількість десяткових знаків для всіх значень величин.

При необхідності вказування в таблиці переваги застосування визначених числових значень величин або типів (марок і т.п.) виробів допускається застосовувати умовні позначення з поясненням їх у тексті документа.

Для виділення кращої номенклатури чи обмеження числових величин або типів (марок і т.п.) виробів, які застосовуються, допускається взяти в дужки ті значення, що не рекомендуються до застосування або мають обмежене застосування, вказуючи в примітці значення дужок.

При наявності в документі невеликого за обсягом цифрового матеріалу його недоцільно оформляти таблицею, а давати текстом, розташовуючи цифрові дані у вигляді колонок.

5.4 Формули

При використанні формул необхідно дотримуватися певних техніко-орфографічних правил. Найбільші, а також довгі і громіздкі формули, котрі мають у складі знаки суми, добутку, диференціювання, інтегрування, розміщують на окремих рядках. Це стосується також і всіх нумерованих формул. Для економії місця кілька коротких однотипних формул, відокремлених від тексту, можна подати в одному рядку, а не одну під одною. Невеликі та нескладні формули, що не мають самостійного значення, вписують всередині рядків тексту.

Пояснення значень символів і числових коефіцієнтів треба подавати безпосередньо під формулою в тій послідовності, у якій вони подані у формулі. Значення кожного символу і числового коефіцієнта записують із нового рядка. Перший рядок пояснення починають із слова «де» без двокрапки і абзацного відступу.

Рівняння й формули треба відділяти від тексту вільними рядками. Вище й нижче кожної формули залишають не менше одного вільного рядка. Якщо рівняння не вміщається в один рядок, його переносять в інший після знаків рівності (=), плюс (+), мінус (–), множення (×) і ділення (/).

Формули та рівняння (за винятком формул і рівнянь, наведених у додатках) слід нумерувати порядковою нумерацією в межах розділу. Номер формули або рівняння зазначають на рівні формули або

рівняння в дужках у крайньому правому положенні на рядку.

Порядкові номери позначають арабськими цифрами в круглих дужках з правого боку сторінки без крапок від формули до її номера. Номер, який не вмішується у рядку з формулою, переносять у наступний нижче формули. Номер формули при її перенесенні ставлять на рівні останнього рядка. Якщо формула знаходиться у рамці, то номер такої формули записують зовні рамки з правого боку навпроти основного рядка формули. Номер формули-дробу подають на рівні основної горизонтальної риски формули.

Номер групи формул, які розміщені на окремих рядках і об’єднані фігурною дужкою (парантезом), ставиться справа від вістря парантеза, яке знаходиться в середині групи формул і звернене в бік номера.

Необхідно знати і правила пунктуації у тексті з формулами. Загальне правило тут таке: формула входить до речення як його рівноправний елемент. Тому в кінці формул і в тексті перед ними розділові знаки ставлять відповідно до правил пунктуації.

Двокрапку перед формулою ставлять лише у випадках, які передбачені правилами пунктуації:

а) у тексті перед формулою є узагальнююче слово;

б) цього вимагає побудова тексту, що передує формулі.

Розділовими знаками між формулами, котрі йдуть одна за одною і не відокремлені текстом, можуть бути кома або крапка з комою безпосередньо за формулою до її номера. Розділові знаки між формулами при парантезі ставлять всередині парантеза. Після таких громіздких математичних виразів, як визначники і матриці, розділові знаки можна не ставити.

5.5 Перелік посилань

Посилання на джерела слід вказувати порядковим номером, виділеним квадратними дужками згідно з переліком посилань. Перелік посилань складається за вибором автора роботи в алфавітному порядку або в порядку їх згадування в тексті РПЗ. Перелік складають мовою тексту першоджерела, при цьому частину відомостей (наприклад, в частині кількісної характеристики) допускається записувати мовою основного тексту документу.

Максимальна кількість бібліографічних джерел у переліку посилань не обмежується. Не рекомендується включати до переліку джерела, на які не було посилань у тексті пояснювальної записки. Крім того, не рекомендується включати енциклопедичні словники, газети і науково-популярні видання.

Перелік посилань оформляють згідно з вимогами національного стандарту, ідентичному ГОСТ 7.1-2003 «Система стандартів з інформації, бібліотечної та видавничої справи. Бібліографічний запис. Бібліографічний опис. Загальні вимоги та правила складання», введеного в дію в Україні з 01.07.2007 р.

6 РОЗПОДІЛ БАЛІВ ТА КРИТЕРІЇ ОЦІНЮВАННЯ КУРСОВОЇ РОБОТИ

Розподіл балів, які присвоюються студентам по курсовій роботі з дисципліни “ Технологія та устаткування зварювання плавленням ”

Кількість кредитів на дисц. Нац. / ECTS	**Модуль 1**			**Модуль 2**			**Семест-ровий контроль**	**К-сть балів**	**Рейтинг**
-	**7 семестр**								
	ЗМ1	**ЗМ2**	**ЗМ3**	**ЗМ1**	**ЗМ2**	**ЗМ3**	**25**	**100**	**-**
	10	**13**	**12**	**14**	**13**	**13**			

Шкала оцінювання: національна та ECTS

Сума балів за всі види навчальної діяльності	Оцінка ECTS	Оцінка за національною шкалою	
		для екзамену, курсового проекту (роботи), практики	для заліку
90 – 100	**A**	відмінно	зараховано
82 – 89	**B**	добре	
75 – 81	**C**		
64 – 74	**D**	задовільно	
60 – 63	**E**		
35 – 59	**FX**	незадовільно з можливістю повторного складання	не зараховано з можливістю повторного складання
0 – 34	**F**	незадовільно з обов’язковим повторним вивченням дисципліни	не зараховано з обов’язковим повторним вивченням дисципліни

Критерії оцінювання курсової роботи

Оцінка курсової роботи здійснюється за 100-бальною шкалою, яка складається з двох частин: 1) виконання курсової роботи (до 75 балів) і 2) захист курсової роботи (до 25 балів).

Оцінка « **відмінно»** (90-100 балів) ставиться, якщо студент:

1) самостійно виконав курсову роботу при цьому показав глибокі теоретичні знання з дисципліни;

2) оволодів первинними навиками дослідної роботи: збирати дані, аналізувати, творчо осмислювати, формулювати висновки;

3) виконав роботу грамотно літературною українською мовою;

4) оформив роботу у відповідності до вимог і подав її до захисту у визначений кафедрою термін;

5) на захисті продемонстрував глибокі знання теми дослідження, тверде і впевнено відповів на запитання членів комісії.

Оцінка « **добре»** (75-89 балів) ставиться, якщо студент:

1) самостійно виконав курсову роботу, показав досить високі теоретичні знання тієї дисципліни;
2) оволодів первинними навиками дослідної роботи: збирати дані, аналізувати, осмислювати їх, формулювати висновки, але не завжди критично ставиться до використаних джерел та літератури;
3) дає свої пропозиції і рекомендації з предмету дослідження, однак відчуває труднощі щодо їх обґрунтування;
4) виконав роботу грамотно літературною українською мовою, але допустив нечисленні граматичні та стилістичні помилки;
5) оформив роботу у відповідності до вимог і подав її до захисту у визначений кафедрою термін;
6) на захисті продемонстрував добрі знання, відповів на запитання членів комісії;

Оцінка « **задовільно**» (60-74 балів) ставиться, якщо студент:

1) самостійно виконав курсову роботу, показав достатні теоретичні знання з тієї дисципліни;
2) в основному оволодів первинними навиками дослідної роботи: збирати дані, аналізувати, осмислювати їх, формулювати висновки, однак допускає в роботі порушення принципів логічного і послідовного викладу матеріалу, мають місце окремі фактичні помилки і неточності;
3) не може сформулювати пропозиції і рекомендації з теми дослідження, або обґрунтувати їх;
4) допускає помилки в оформленні роботи;
5) допускає численні граматичні та стилістичні помилки;
6) на захисті продемонстрував задовільні знання, але не зумів впевнено й чітко відповісти на додаткові запитання членів комісії;

Оцінка «**незадовільно**» (менше 60 балів) ставиться в тому разі, якщо на захисті студент проявив повне незнання досліджуваної проблеми, не зумів задовільно відповісти на поставлені питання, що свідчить про несамостійне виконання курсової роботи.

РЕКОМЕНДОВАНА ЛІТЕРАТУРА

1. Марочник сталей и сплавов [Текст]: справочник /под ред. В.Г. Сорокина. - М.:Машиностроение, 1989, - 640 с.
2. Теория сварочных процессов [Текст]: учеб. / под. ред. В.В. Фролова. – М.: Высшая школа, 1988.- 559 с.
3. «Технологія та устаткування зварювання плавленням».[Текст]: Методичні вказівки до курсової роботи з дисципліни для студентів усіх форм навчання напряму підготовки 6.050504 «Зварювання» / Укладачі: Бойко В.П., Котик В.Т., Корінець І.П. – К.: 2012. 58с.
4. Наплавлення та напилення – 1. Основи наплавлення. Методичні вказівки до виконання практичних робіт для студентів напряму 6.050504 «Зварювання» /

Уклад.: В. Д. Кузнецов, Д.В. Степанов – К: ІВЦ “Видавництво «Політехніка»”, 2012. – 27 с.
5. Акулов, А.И. Технология и оборудование сварки плавлением [Текст] : учеб. / А.И. Акулов, Г.А. Бельчук, В.П. Демянцевич. – М.: Машиностроение, 1977.– 432 с.
6. Думов С.И. Технологияэлектрической сварки плавлением [Текст]: учеб. / С.И. Думов. – Л.: Машиностроения, 1987. – 640 с.
7. Технология и оборудование сварки плавлением [Текст]: учеб. / под. общей редакцией д.т.н., проф. Г.Д. Никифорова. – М.: Машиностроение, 1986. – 319 с.
8. Технология электрической сварки металлов и сплавов плавлением [Текст] : учеб. / под ред. акад. Б.Е. Патона. – М. : Машиностроение, 1974.– 768 с.
9. Электрошлаковая сварка и наплавка [Текст]: учеб. / под ред. акад. Б.Е. Патона. – М. : Машиностроение, 1980. – 511 с.
10. Терещенко В.И., Либанов А.В. Выбор и применение способов сварки приизготовлении конструкций.- К.: Наук.думка, 1987.- 192 с.
11. Сварка в машиностроении [Текст]: справочник, Т4 / под. ред. Ю.Н. Зорина. – М.: Машиностроение, 1979. – 512 с.
12. Сварочные материалы для дуговой сварки. Т1. Защитные газы и сварочные флюсы [Текст]: справочное пособие / под общей редакцией Н.Н. Потапова. – М.: Машиностроений, 1989. – 544 с.
13. Сварочные материалы для дуговой сварки. Т2. Сварочная проволока и электроды [Текст]: справочное пособие / под общей редакцией Н.Н. Потапова. – М.: Машиностроение, 1993. – 768 с.
14. Биковский, О.Г. Довідник зварника [Текст]: довідник / О.Г. Биковський, І.В. Піньковський. - К.: Техніка, 2002. – 336 с.
15. Методичні вказівки до практичного заняття №1 з дисципліни «Матеріали для зварювання плавленням, наплавлення і напилення» на тему “Розрахунок і вибір параметрів режиму ручного дугового зварювання покритими електродами” / Б.П. Татарин, Б.М. Береженко, В.С. Сенчишин. – Тернопіль: - ТНТУ імені Івана Пулюя, 2016. – 44 с.
16. Методичні вказівки до практичного заняття №2 з дисципліни «Матеріали для зварювання плавленням, наплавлення і напилення» на тему “ Розрахунок і вибір параметрів режиму зварювання і геометричних розмірів шва при зварюванні плавким електродом у вуглекислому газі ” / Б.П. Татарин, Б.М. Береженко, В.С. Сенчишин. – Тернопіль: - ТНТУ імені Івана Пулюя, 2016. – 50 с.
17. Методичні вказівки до практичного заняття №3 з дисципліни «Матеріали для зварювання плавленням, наплавлення і напилення» на тему “ Розрахунок і вибір параметрів режиму зварювання і геометричних розмірів шва при зварюванні під флюсом” / Б.П. Татарин, Б.М. Береженко, В.С. Сенчишин. – Тернопіль: - ТНТУ імені Івана Пулюя, 2016. – 26 с.
18. Методичні вказівки до курсової роботи з дисципліни “Зварювання плавленням” для студентів денної і заочної форм навчання за професійним напрямком “Зварювання” з спеціальності “Технологія та устаткування зварювання” / Б.П. Татарин, В.Б. Фостик. – Тернопіль: - ТНТУ імені Івана Пулюя, 2011. – 41с.

19. Александров О.Г., Будова та експлуатація устаткування для зварювання плавленням [Текст]: навчальний посібник / О.Г. Александров, І.І. Заруба, І.В. Піньковський. – К.: Техніка, 1998. – 174 с.
20. Бельфор, М.Г. Оборудование для дуговой и шлаковой сварки и наплавки [Текст]: учеб. пособие / М.Г. Бельфор, В.Е. Патон. – М.: Высшая школа, 1974. – 256 с.
21. Стеклов О.І. Основи зварювального виробництва [Текст]: підручник / О.І. Стеклов. К.: Вища школа, 1990. -222 с.
22. ДСТУ 3159-95. Ресурсозбереження. Нормування витрат зварювальних матеріалів. Загальні вимоги, методи визначення нормативів ручного і механізованого електрозварювання [Текст]. – Введений з 01.07.1996. – К.: Держстандарт України, 1995. - 36 с.
23. Справочное пособие по нормированию материалов и электроэнергии для сварочной техники /Под ред. В.Т. Юрьева. - М.: Машиностроение, 1972. -52 с.

Додаткова література

1. Проблемы электрошлаковой технологии [Текст]: учеб. / под. ред. акад. Б.Е. Патона и акад. АНУССР Б.И.Медовара. - К.: Наукова думка, 1978.–304 с.
2. Электрошлаковая сварка и наплавка [Текст]: учеб. / под ред. акад. Б.Е. Патона. – М. : Машиностроение, 1980. – 511 с.
3. Технология электрической сварки металлов и сплавов плавлением [Текст] : учеб. / под ред. акад. Б.Е. Патона. – М. : Машиностроение, 1974.– 768 с.
4. Зевакин, М.Ф. Оборудование для электрошлакового переплава и литья [Текст]: каталог-справочник / М.Ф. Зевакин, А.И. Чвертко. – К.: Наукова думка, 1982. – 23 с.
5. Медовар, Б.И. Электрошлаковая тигельная плавка и разливка металла [Текст]: учеб. / Б.И. Медовар, В.Л. Шевцов, В.М. Мартин и др. – К.: Наукова думка, 1988. – 216 с.
6. Патон, Б.Е. Электрошлаковое литье [Текст]: учеб. / Б.Е. Патон, Б.И.Медовар, Т.А. Бойко. – К.: Наукова думка, 1986. – 190 с.
7. Подгаецкий, В.В. Сварочные шлаки [Текст]: учеб. / В.В. Подгаецкий, В.Г. Кузьменко. – К.: Наукова думка, 1988. – 256 с.
8. Компан, Я.Ю. Электрошлаковые сварка и плавка с управляемыми МГД – процесами [Текст]: учеб. / Я.Ю. Компан, Е.В. Щербинин. – М.:Машиностроение, 1989. – 272 с.
9. Сущук-Слюсаренко, И.И. Электрошлаковая сварка и наплавка в ремонтних работах [Текст]: учеб. / И.И. Сущук-Слюсаренко, И.И. Лычко, М.Г. Козулин, В.М. Семенов; отв.ред. Дудко Д.А.; АНУССР Институт электросварки. – К.: Наукова думка, 1989. – 192 с.
10. Методичні вказівки до лабораторної роботи №1 з дисципліни „Електрошлакові технології” на тему „Призначення, технічні дані, будова і принцип роботи автомату для електрошлакового зварювання типу А-535” / Б.П. Татарин. – Тернопіль: ТНТУ імені Івана Пулюя. 2010. – 24 с.
11. Методичні вказівки до лабораторної роботи №2 з дисципліни „Електрошлакові технології” на тему „Техніка і технологія електрошлакового зварювання прямолінійних і кільцевих швів дротяними електродами

автоматом А-535” / Б.П. Татарин. – Тернопіль: ТНТУ імені Івана Пулюя. 2010. – 27 с.
11. Каховский Н.И., Фартушный В.Г., Ющенко К.А. Электродуговая сварка сталей: Справочник. -К.: Наук, думка» 1975. - 480 с.
12. Потапьевский А.Г. Сварка в защитных газах плавящимся электродом. М.: Машиностроение, 1974.— 240 с. 5. Походня И.К., Суптель А.М., Шлепаков В.Н. Сварка порошковой проволокой. - К.: Наук, думка, 1972. 224 с.
13. Электрошлаковая сварка и наплавка / Под ред. Б. Е. Патона. - Машиностроение, 1980. -511 с.
14. Микроплазменная сварка / Под ред. Б. Е. Патона. К.: Наук. думка, 1979. - 242 с.
15. Назаренко О.К.» Кайдалов А.А., Ковбасенко С.Н. и др. Электроннолучевая сварка. - К.: Наук, думка, 1987, - 256 с.
16. Терещенко В.И., Лобанов А.В. Выбор и применение способов сварки при изготовлении конструкций. - К.: Наук, думка, 1987. - 192 с.
17. Электроды для дуговой сварки и наплавки; Каталог / Под ред. И.И. Фрумина. - К.: Наук, думка, 1967. - 440 с.
18. Порошковые проволоки для электродуговой сварки: Каталогсправочник / Под ред. И.К. Походни. К,: Наук, думка, I960. - 180 с. 44
19. Подгаецкий В.В. Люборец И.И. Сварочные флюсы. - К.: Техника, 1984. 168с.
20. Хренов К.К., Кушнарев Д.М, Керамические флюсы для автоматической сварки и наплавки. -К.: Гостехиздат УССР, 1961. - 263 с.
21. Свецинский В.Л., Галинич В.И. и др. Сварочные материалы для механизированных способов дуговой сварки. - М: Машиностроение. -120с.
22. Потапов Н.И. Основы выбора флюсов при сварке сталей.- М.: Машиностроение, 1979, - 168 с.
23. ГОСТ 9467-75. Электроды покрытые металлические для ручной дуговой сварки конструкционных и теплоустойчивых сталей. Типы. ГОСТ 10052-75.
24. Электроды покрытые металлические для ручной дуговой сварки высоколегированных сталей с особыми свойствами. Типы. ГОСТ 2246-70. Проволока стальная сварочная.
25. ГОСТ 7871-75. Проволока сварочная из алюминия и алюминиевых сплавов.
26. ГОСТ 16130-90. Проволока и прутки из меди и сплавов на медной основе сварочные.
27. ГОСТ 2671-70. Прутки чугунные для сварки и наплавки.
28. ГОСТ 8050-76. Двуокись углерода газообразная и жидкая.
29. ГОСТ 5583-78. Кислород газообразный технический и медицинский.
30. ГОСТ 10157-79. Аргон газообразный н жидкий.
31. ГОСТ 9293-74. Азот газообразный и жидкий.
32. ГОСТ 3022-79. Водород технический.
33. ГОСТ 9087-81. Флюсы сварочные плавленые.
34. ГОСТ 23949-80. Вольфрамовые электроды.
35. ГОСТ 5264-80. Швы сварных соединений. Ручная дуговая сварка. Основные типы и конструктивные элементы.

36. ГОСТ 14771-76. Дуговая сварка в защитном газе.. Соединения сварные. Основные типы, конструктивные элементы и размеры.
37. ГОСТ 8713-79. Швы сварных соединений. Автоматическая и полуавтоматическая сварка под флюсом. Основные типы и конструктивные элементы.
38. ГОСТ 15164.-78. Сварные соединения и швы. Электрошлаковая сварка. Основные типы и конструктивные элементы.
39. ГОСТ 14806-80. Швы сварных соединений. Дуговая сверка алюминия и алюминиевых сплавов. Основные типы и конструктивные элементы.
40. ГОСТ 16037-80. Швы сварных соединений стальных трубопроводов. Основные типы и конструктивные элементы.
41. ГОСТ 16038-80. Швы сварных соединений трубопроводов из меди и медно-никелевых. Основные типы и конструктивные элементы.
42. Каталог сварочного оборудования, серийно выпускаемого в странахчленах СЭВ / Под ред. А И. Чвертко. -К.: Наук,, думка, 198I. - 234 с. .
43. Оборудование для дуговой сварки: Справочное пособие / Под ред.- В.В. Смирнова, -М .: Машиностроение, 1986. - 656 с.
44. Прох Л.Ц., Шпаков Б.М., Яворская И.М. Справочник по сварочному оборудованию. - К.: Техника,. 1983. - 208 с.
45. Чвертко А.И., Патон Б.Е., Тимченко В.А. Оборудование для механизированной дуговой сварки и наплавки. - М.: Машиностроение, 1981. - 264 с.
46. Перечень электросварочного оборудования, серийно изготовляемого промышленностью в 1986 г. - К.: Наук, думка, 1986. - 20 с.
47. Аппарат для сварки вертикальных швов. А 138I. - М.: Внешторгиздат, 1987. - 2 с.
48. Малогабаритное устройство для механизированной сварки горизонтальных швов. Информационное письмо ИЭС им. Е.О. Патона. - К.: 1984. - №9. - 4 с .
49. Механизированная сварка активированной проволокой вертикальных швов с принудительным формированием. Информационное письмо ИЭС им. Е.О. Патона. - К.; 1984. - №14. - 4 с.
50. Экономическая эффективность новой сварочной техники. -К,:Техника, 1976.- 168 с.
51. Сварка в машиностроении: Справочник: В 4-х т. / Под ред. В. А. Винокурова, - М.: Машиностроение, 1979. -Т. 3. 568 с.

ДОДАТКИ

Додаток А

Міністерство освіти і науки України

Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

(повне найменування вищого навчального закладу)

(повна назва кафедри)

КУРСОВИЙ ПРОЕКТ (РОБОТА)

з _____

(назва дисципліни)

на тему: _____

_____

_____

Студента (ки) _____ курсу, групи _____

напряму підготовки _____

_____

спеціальності _____

_____

_____

(прізвище та ініціали)

Керівник: _____

_____

(посада, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали)

Оцінка за національною шкалою _____

Кількість балів: _____ Оцінка ECTS _____

Члени комісії: _____ _____

(підпис) (прізвище та ініціали)

_____ _____

(підпис) (прізвище та ініціали)

_____ _____

(підпис) (прізвище та ініціали)

м. Тернопіль – 201 _

Додаток Б

Міністерство освіти і науки України
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

Кафедра _____
Дисципліна _____
Напрям підготовки _____
Курс _____ Група _____ Семестр _____

ЗАВДАННЯ

на курсову роботу

Студентові _____
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи _____

2. Термін здачі студентом закінченої роботи _____
3. Вихідні дані до роботи _____

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які підлягають розробці) _____

5. Перелік графічного (ілюстративного) матеріалу, якщо передбачено _____

6. Дата видачі завдання _____

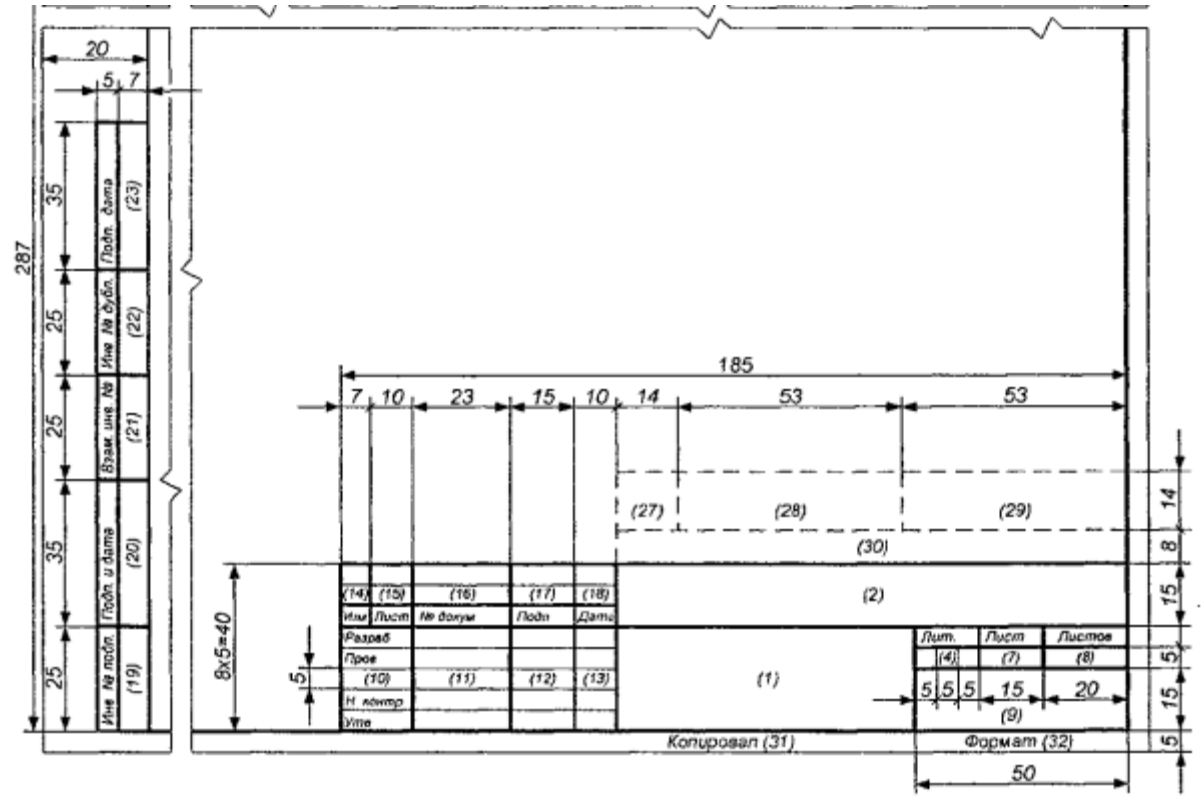
КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

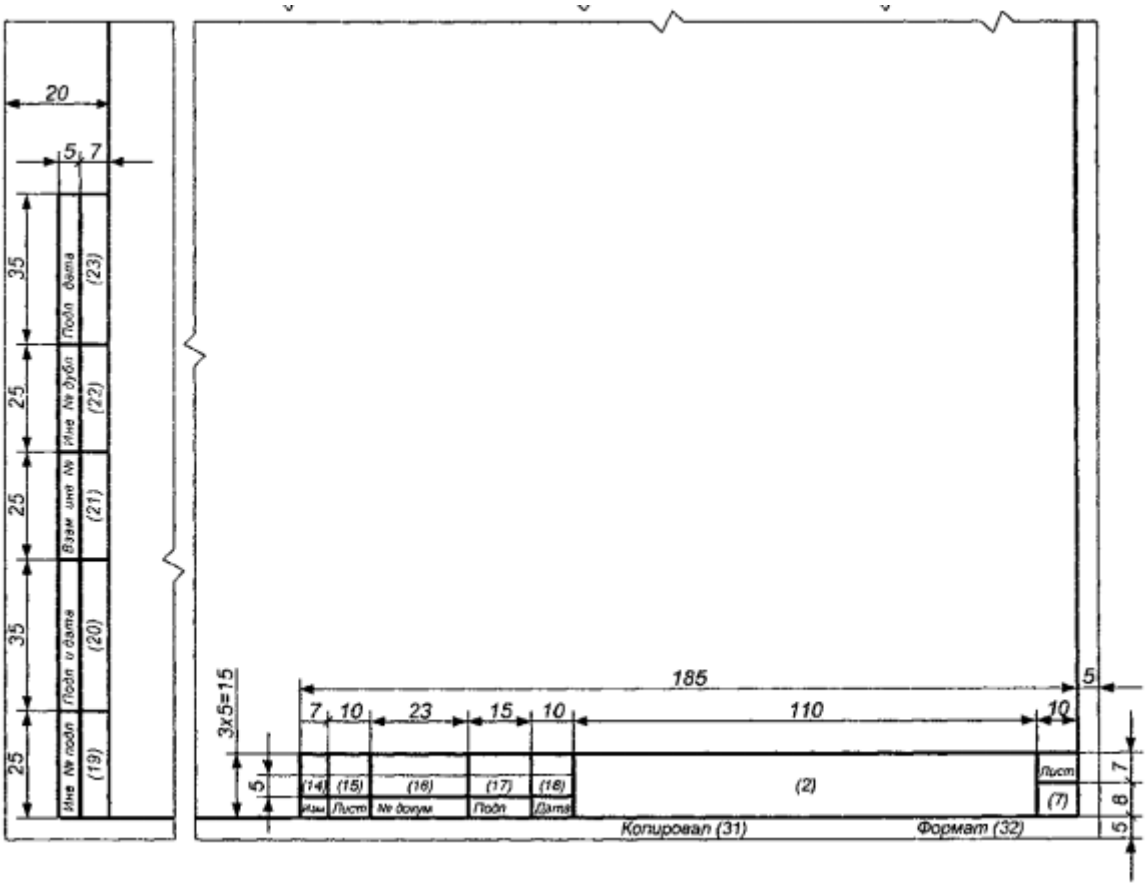
№ п/п	Назва етапів курсової роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка

Студент _____ _____
(підпис) (прізвище, ім'я, по батькові)

Керівник роботи _____ _____
(підпис) (вчений ступінь, посада, прізвище, ім'я, по батькові)

Додаток В


20
5
7
287
35
25
35
25
35
25
185
7
10
23
15
10
14
53
53
(27)
(28)
(29)
(30)
14
8
15
8x5=40
5
(14)
(15)
(16)
(17)
(18)
(2)
Изм
Лист
№ докум
Подп
Дата
Разраб
Пров
(10)
(11)
(12)
(13)
(1)
Н. контр
Утв
Лит.
Лист
Листов
(4)
(7)
(8)
5
5
5
15
20
(9)
5
15
5
Копировал (31)
Формат (32)
50
Инв. № подл
Подп. и дата
Взам. инв. №
Инв. № дубл.
Подп. дата
(19)
(20)
(21)
(22)
(23)


20
5
7
35
25
25
35
25
3x5=15
185
5
7
10
23
15
10
110
10
5
(14)
(15)
(16)
(17)
(18)
(2)
Лист
(7)
7
8
5
Изм
Лист
№ докум
Подп
Дата
Копировал (31)
Формат (32)
Инв. № подл
Подп. и дата
Взам. инв. №
Инв. № дубл.
Подп. дата
(19)
(20)
(21)
(22)
(23)