

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ»**

**ТЕХНОЛОГІЯ ТА УСТАТКУВАННЯ ЗВАРЮВАННЯ
ТИСКОМ**

методичні вказівки та контрольні завдання

для студентів напрямку підготовки 6.050504 «Зварювання»
заочної форми навчання

Затверджено Методичною радою НТУУ «КПІ»

**Київ
2009**

Технологія та устаткування зварювання тиском: Методичні вказівки до вивчення дисципліни та виконання індивідуальних завдань для студентів напряму підготовки 6.050504 "Зварювання" заочної форми навчання / Уклад.: В. В. Сироватка, В. А. Пахаренко, Є. П. Чвертко, 2009. – 59 с.

*Гриф надано Методичною радою НТУУ «КПІ»
(Протокол № від р.)*

ТЕХНОЛОГІЯ ТА УСТАТКУВАННЯ ЗВАРЮВАННЯ ТИСКОМ

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ ТА КОНТРОЛЬНІ ЗАВДАННЯ

для студентів напряму підготовки 6.050504 "Зварювання"
заочної форми навчання

Укладачі:

*Сироватка Василь Васильович
Пахаренко Валерій Андрійович
Чвертко Євгенія Петрівна*

Рецензент:

к.т.н., доц. *І. В. Смирнов*

Редактор:

К. В. Решетилів

Комп'ютерна верстка:
(авторська)

Є. П. Чвертко

ВСТУП

У наш час провідна роль належить дуговому зварюванню. Однак можливості його, особливо ручного, в області підвищення продуктивності праці значною мірою вичерпані. Кожен новий відсоток підвищення рівня механізації дугового зварювання дається неймовірними зусиллями.

Найбільший інтерес у наш час представляє розвиток різних способів зварювання тиском, що зумовлюється їх широкими технологічними можливостями, високою продуктивністю, використанням механізації та автоматизації. Зварюванням тиском можна з'єднувати, за певним винятком, практично всі сталі й сплави, у тому числі й різномірні. Зварювання тиском містить у собі цілий ряд способів зварювання, що дозволяють одержувати зварні з'єднання як з розплавленням, так і без нього, таких як контактне, холодне, пресове, ультразвукове, термокомпресійне, дифузійне, тертям, вибухом і. т. і.

У зв'язку із цим вивчення курсу "Технологія та устаткування для зварювання тиском" є найважливішим етапом підготовки фахівців з напрямку 6.050504 "Зварювання".

Мета курсу – вивчення теоретичних основ процесів утворення з'єднань при зварюванні тиском і, на цій основі, технологій різних зварювальних процесів, методів розрахунку, проектування й створення устаткування для зварювання тиском.

Завдання курсу: дати студентам досить повне уявлення про принципи всіх способів зварювання тиском, навчити вибирати й розраховувати параметри зварювальних режимів й елементи зварювального устаткування, розробляти технологічні процеси, конструювати зварювальне

устаткування, здійснювати його експлуатацію й проводити дослідження зі зварювання різних металів.

Навчальним планом курсу передбачені установчі лекції, лабораторні роботи, домашня контрольна робота та одна курсова робота. Вивчення курсу закінчується складанням іспиту.

Вивчення курсу базується на широкому використанні знань про сутності зварювальних процесів, що викладають у курсах "Теорія зварювальних процесів", "Зварювальні джерела живлення", а також на основних положеннях і методах, що подано в курсах "Матеріалознавство", "Теоретичні основи електротехніки". Знання, що одержали студенти при вивченні курсу, є необхідною творчою базою для освоєння відповідних розділів курсів "Автоматичне керування зварюванням", "Проектування технологічних процесів зварювального виробництва", "Механічне обладнання зварювального виробництва", використовуються при курсовому й дипломному проектуванні,

Виконання лабораторних робіт, порівняльний аналіз різних методів рішення інженерних завдань, розглянутих у теоретичних розділах курсу, сприяють формуванню в студента навичок дослідника, освоєнню методології наукового пошуку.

Пізнання фізичної сутності процесів зварювання тиском сприяє закріпленню знань студентів в області природничих наук. Техніко-економічні аспекти механізації та автоматизації зварювального виробництва, раціональний вибір способів зварювання, розглянуті в курсі, сприяють поглибленню економічної підготовки. Вивчення розділів, присвячених розрахункам та проектуванню зварювального устаткування створює необхідні передумови для придбання навичок конструкторської діяльності.

ВИДИ ІНДИВІДУАЛЬНОЇ РОБОТИ

1. Вивчення розділів курсу з використанням рекомендованої літератури і матеріалів установчих лекцій.

2. Виконання домашньої контрольної роботи.

Тематика контрольних робіт охоплює всі розділи лекцій. Контрольна робота включає три питання з фізичної сутності процесів, з технології та устаткування зварювання тиском та одне завдання з визначення параметрів режимів зварювання.

ЛІТЕРАТУРА

Основна

1. Гельман А. С. Технология и оборудование контактной сварки. – М.: Машгиз, 1960 (учебник)

2. Орлов Б. Д. и др. Технология и оборудование контактной сварки. – М.: Машиностроение, 1975 (учебное пособие по курсу)

3. Гельман А. С. Основы сварки давлением. – М.: Машиностроение, 1970.

4. Кочергин К. А. Сварка давлением. – М.: Машиностроение, 1972.

Додаткова

5. Патон Б. Е., Лебедев В. К. Электрооборудование для контактной сварки. – М.: Машиностроение, 1969 (гл. 1, 2, 6, 7, 8, 11).

6. Глебов Л. В., Пескарев И. А., Файгенбаум Д. С. Расчет и конструирование машин контактной сварки. – Л.: Энергоиздат, 1981.

7. Рыськова З. А. Трансформаторы для контактных электросварочных машин. – Л.: Энергия, 1975.

8. Моравский В. Э. Конденсаторная сварка металлов. – Киев: Наукова думка, 1964.
9. Моравский В. Э. Сварка аккумулированной энергией. – Киев: Гостехиздат УССР, 1963.
10. Кучук-Яценко С. И., Лебедев В. К. Контактнo-стыковая сварка непрерывным оплавлением. – Киев: Наукова думка, 1965.
11. Аксельрод Ф. А., Миркин А. М. Оборудование для сварки давлением. – М.: Высшая школа, 1975.
12. Кабанов Н. С., Слепак Э. Ш. Технология стыковой контактной сварки. Издание 2-е. – М.: Машиностроение, 1970.
13. Гуляев А. И. Технология точечной и рельефной сварки сталей. Издание 2-е. – М.: Машиностроение, 1978.
14. Слиозберг С. К., Чулошников П. Л. Электроды для контактной сварки. – М.: Машиностроение, 1973.
15. Николаев Г. А., Ольшанский И. А. Специальные методы сварки. – М.: Машиностроение, 1975.
16. Вилль В. И. Сварка металлов трением. – М.: Машиностроение, 1970.
17. Казаков Н. Ф. Диффузионная сварка в вакууме. – М.: Машиностроение, 1963.
18. Глуханов Н. П., Богданов В. Н. Сварка металлов при высокочастотном нагреве. – М.: Машгиз, 1962.
19. Холопов Ю. В. Ультразвуковая сварка. – М.: Машиностроение, 1972.
20. Сахацкий Г. П. Технология сварки металлов в холодном состоянии. – Киев: Наукова думка, 1979.
21. Нудинов В. М., Коротеев А. Я. Сварка взрывом в металлургии. – М.: Металлургия, 1976.

22. Красулин Ю. Л., Назаров Г. В. Микросварка давлением. – М.: Металлургия, 1976.
23. Машины электросварочные (ГОСТ 297-80).
24. Каталог сварочного оборудования. ИЭС. Киев, 1970,
25. Материалы по сварке давлением, опубликованные в журналах "Автоматическая сварка" и "Сварочное производство".
26. Сварка в СССР, т 1. – М.: Наука, 1981.

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ ДО ВИВЧЕННЯ ДИСЦИПЛІНИ

Тема 1. ВСТУП ДО ДИСЦИПЛІНИ

Зміст програми

Принципова сутність методів зварювання тиском. Історія їх виникнення й розвитку. Роль українських та зарубіжних учених у вивченні та розробці нових методів зварювання тиском і зварювального устаткування для нього. Перспективи розвитку методів зварювання тиском і виробництва зварювального устаткування. Провідна роль ІЕЗ ім. Є. О. Патона у розвитку та впровадженні способів зварювання тиском.

Фізичні основи зварювання тиском. Класифікація основних методів зварювання тиском з урахуванням агрегатного стану металу в зоні зварювання, способів нагрівання й захисту від окислювання. Контактне зварювання – головний спосіб зварювання тиском, його фізична сутність і різновиди.

Література:

– [2]: гл. 1 (стор. 11...16);

- [3], гл. 1 (стор. 4...27);
- [4]: стор. 3...12;
- [8]: стор. 8...10;
- [26]: гл. 1 (стор. 9...19).

Методичні вказівки

Вивчення теми повинне дати студентам чітке уявлення про принципову відмінність способів зварювання тиском від інших видів зварювання, про техніко-економічні переваги й недоліки різних способів зварювання тиском та області їх застосування. Варто звернути увагу на те, за допомогою яких ознак класифікуються способи зварювання тиском і, зокрема, контактне зварювання. При вивченні теми необхідно особливу увагу приділити розумінню студентами фізичних основ процесів захоплення й зварювання, чіткого розуміння ними параметрів процесів зварювання тиском та їх роль в утворенні зварних з'єднань різними способами зварювання.

Контрольні питання до теми 1

1. Які способи зварювання тиском ви знаєте?
2. Як розвивалися й удосконалювалися способи зварювання тиском?
3. Поясніть принципову сутність і приведіть схему процесів зварювання пресовохолодного, контактного, ультразвукового, термокомпресійного, дифузійного, вибухом, тертям, пресового зварювання дугою, що обертається магнітним полем, індукційного.
4. Як відбувається з'єднання ідеальних і реальних тіл?

5. Які існують стадії утворення зварного з'єднання?
6. Які різновиди контактного зварювання?
7. Які ознаки покладено в основу класифікації методів контактного зварювання?

Тема 2. ТЕОРІЯ КОНТАКТНОГО ЗВАРЮВАННЯ ОПОРОМ

Зміст програми

Коротка теорія електричного контакту і його «ситового» характеру. Контактні й власні (металеві) опори в зоні контактного зварювання опором і які їх визначальні при різних способах контактного зварювання опором. Загальні відомості про зони зварювання при точковому, рельєфному, шовному й стиковому зварюванні опором.

Особливості і енергетичні характеристики нагрівання металу при точковому, рельєфному, шовному й стиковому зварюванні опором. Теплові баланси при цих способах контактного зварювання. Вплив шунтування зварювального струму при точковому й шовному контактному зварюванні опором.

Основні цикли точкового, рельєфного й шовного зварювання опором. Форми кривих зварювального струму при контактному зварюванні опором. Поняття про струми підігріву й термообробки. Головні й другорядні параметри при різних способах контактного зварювання опором.

Процеси формування з'єднань при точковому, рельєфному, шовному й стиковому контактному зварюванні опором.

Теорія подібності контактного зварювання опором. Наближені й технологічні критерії подібності.

Особливості плавлення й кристалізації металу при цих способах зварювання. Зварюваність різних металів і сплавів способами контактного зварювання опором.

Література:

- [1]: гл. 2 (стор. 37...51), гл. 4 (стор. 118...123);
- [2]: гл. 2 (стор. 16...60), гл. 3 (стор. 74...111);
- [4]: стор. 117...129, стор. 170...177;
- [5]: стор. 8...45.

Методичні вказівки

При вивченні даного розділу студент знайомиться із електротермічними основами контактного зварювання, що включають у себе теорію електричних і теплових процесів, які протікають при формуванні зварного з'єднання. Розгляд теми варто почати із загальної характеристики джерел тепла, що діють при різних видах зварювання, внаслідок наявності контактної й власної електричної опору металу деталей, що з'єднують. При цьому необхідно засвоїти основи навчання про електричні контакти, опір металевих провідників електричному струму й виділенні тепла на основі закону Джоуля-Ленца. Далі слід вивчити питання про визначення сумарного опору і його складових при різних видах контактної зварювання опором. Засвоївши принципову сутність електричних явищ, що супроводжують формування зварного з'єднання, слід перейти до процесу нагрівання й поширення тепла при точковому, стиковому й інших способах зварювання. При цьому необхідно чітко визначитися у складових теплового балансу. У ході пророблення цього матеріалу варто опанувати методикою розрахунку необхідного для

зварювання тепла, його поширення в металі й перейти до визначення параметрів зварювального режиму. Паралельно із цим матеріалом розглядається теорія шунтування зварювального струму при точковому, рельєфному, шовному й стиковому зварюванні. Студентові необхідно опанувати методику розрахунку струму шунтування для того, щоб внести корективи в розрахунок загального струму, який протікає між електродами машини.

При вивченні основних циклів різних видів контактного зварювання опором слід звернути особливу увагу на характер зміни в часі параметрів режиму зварювання, форму імпульсів зварювального струму й тиску, характер зближення деталей при стиковому зварюванні. Необхідно знати головні й другорядні параметри, вміти варіювати значеннями цих параметрів для одержання якісного зварного з'єднання.

Аналізуючи процеси формування зварних з'єднань, студент повинен підійти до того, що фізичні, електричні та механічні процеси при контактному зварюванні деталей різних розмірів подібні. Тому при вивченні теорії подібності процесів контактного зварювання треба основну увагу приділити практичному використанню положень цієї теорії для орієнтовного визначення режимів зварювання деталей одних розмірів за відомими параметрами для інших розмірів. Крім того, варто врахувати й те, що положення теорії подібності застосовуються також при проектуванні зварювального устаткування.

Вивчення особливостей плавлення і кристалізації металу при контактному зварюванні на основі знань, отриманих у курсі "Матеріалознавство", повинне підвести студента до понять здатності до зварювання різних матеріалів і сплавів, а також до визначення причин утворення дефектів і методів боротьби з ними.

Контрольні питання до теми 2

1. Поясніть природу контактного опору.
2. Як змінюється контактний опір в процесі формування зварного з'єднання?
3. Як змінюється контактний опір залежно від зусилля стискання?
4. Що таке власний опір деталей, як він змінюється в залежності від температури, роду струму, діаметра електродів?
5. Дайте характеристику опору зони зварювання. З яких складових він складається?
6. Як змінюється опір зони зварювання в процесі формування зварного з'єднання?
7. Які джерела тепла діють при точковому, рельєфному, шовному й стиковому зварюванні?
8. Як відбувається нагрівання деталей при точковому зварюванні?
9. Наведіть схему розподілу температур при точковому зварюванні.
10. Наведіть і проаналізуйте рівняння теплового балансу при точковому зварюванні.
11. Наведіть порядок розрахунку зварювального струму при точковому зварюванні.
12. Чим відрізняється процес нагрівання при шовному та точковому зварюванні?
13. У чому полягають загальні положення теорії шунтування зварювального струму при контактному зварюванні?
14. Наведіть схему шунтування струму при точковому і стиковому зварюванні та розгляньте загальне рішення завдання для визначення струму шунтування.

15. Наведіть основні цикли точкового, рельєфного, шовного й стикового зварювання.

16. Назвіть і охарактеризуйте головні та другорядні параметри контактного зварювання.

17. Наведіть приклад застосування теорії подібності для визначення параметрів режиму контактного зварювання. Які критерії подібності ви знаєте?

18. Проаналізуйте етапи формування з'єднань при точковому і шовному зварюванні.

19. У чому полягають особливості плавлення й кристалізації при контактному зварюванні?

Тема 3. ТЕХНОЛОГІЯ КОНТАКТНОГО ЗВАРЮВАННЯ ОПОРОМ

Зміст програми

Загальні відомості про технологію точкового контактного зварювання опором. Основні типи зварних з'єднань, які виконують на точкових машинах. Підготовка поверхонь деталей, що зварюють. Вибризування при точковому зварюванні та засоби боротьби з ними.

Загальні відомості про технологію рельєфного й шовного зварювання опором. Основні типи зварних з'єднань. Особливості виконання рельєфних і шовних зварних з'єднань.

Основні труднощі та прийоми виконання точкового, рельєфного й шовного контактного зварювання металів нерівних товщин і різнорідних за своїм складом, а також металів із захисним покриттям на поверхнях.

Дефекти зварних з'єднань, виконаних на точкових, шовних, рельєфних і стикових контактних машинах. Контроль якості при контактному зварюванні опором.

Основні принципи автоматичного керування та регулювання при різних способах контактної зварювання.

Області застосування контактної точкової, шовної, рельєфної й стикової зварювання. Типові види зварних конструкцій, основні галузі промисловості, де ці способи зварювання застосовуються.

Література:

- [1]: гл. 3, 4 (стор. 57...178 (крім матеріалу, вивченого за темою 2));
- [2]: гл. 5 (стор. 130...186), гл. 11 (стор. 465...514), гл. 12 (стор. 515...528);
- [5]: гл. 3 (стор. 71...76).

Методичні вказівки

Починаючи вивчення питань технології, варто повторити матеріал попереднього розділу, де розглядається поведінка різних металів та їх сплавів в умовах контактної зварювання, з'ясувати оптимальні умови зварювання.

Далі для кожного способу зварювання визначаються основні види зварних з'єднань і конструкцій, що виконуються даним способом; загальна схема технологічного процесу виробництва зварних вузлів, що включає в себе такі операції, як: попереднє збирання (якщо потрібно), підготовку поверхні, кінцеве збирання, прихватку, зварювання, антикорозійний захист, виправлення, механічну доробку й контроль якості. При розгляді окремих операцій технологічного процесу варто звернути увагу на

раціональні види робіт і режимів з погляду одержання якісних з'єднань й економічності процесу.

У розділі "Технологія зварювання різних металів і деталей" необхідно звернути увагу на раціональний вибір циклів зварювання й зварювального устаткування, вміти варіювати параметрами зварювального процесу з метою одержання якісних зварних з'єднань на наявному устаткуванні. Вивчаючи дефекти зварних з'єднань, необхідно, у першу чергу, виявити причини їх виникнення з метою попередження їх появи в майбутньому. Необхідно визначити, від яких факторів залежить стабільність якості і яким шляхом вона досягається.

Контрольні питання до теми 3

1. Наведіть ескізи типових з'єднань, виконаних точковим, рельєфним і шовним зварюванням опором.
2. Назвіть операції технологічного процесу виготовлення зварного вузла контактним зварюванням опором.
3. Як готують поверхні деталей під зварювання?
4. Які властивості металу враховуються при призначенні режиму зварювання?
5. Дайте характеристику технологічного процесу зварювання маловуглецевої, вуглецевої, низьколегованої і нержавіючої сталей, алюмінію і його сплавів, магнію і його сплавів, титану і його сплавів, нікелю, міді і їхніх сплавів.
6. У чому полягають особливості точкового й шовного зварювання деталей різних товщин і з різними теплофізичними властивостями?
7. Які особливості зварювання деталей малих і великих товщин?

8. Дефекти зварних з'єднань, причини їхнього виникнення й засоби попередження.

9. Як впливає стабільність головних і другорядних параметрів режиму зварювання на якість зварних з'єднань?

10. Які види контролю якості зварних з'єднань застосовують при контактному зварюванні?

11. Як впливає контроль на стадії проектування, контроль за операціями, що супроводжують процес, самого зварювального устаткування та кваліфікація спеціалістів на якість продукції, що випускається?

12. Які параметри процесу зварювання можна регулювати?

13. Назвіть і дайте коротку характеристику систем керування електричними параметрами зварювального процесу.

14. Назвіть галузі промисловості, де найбільш раціонально застосувати точкове, рельєфне, шовне й стикове контактне зварювання.

Тема 4. УСТАТКУВАННЯ ДЛЯ КОНТАКТНОГО ЗВАРЮВАННЯ ОПОРОМ

Зміст програми

Загальні відомості по устаткуванню для контактного зварювання опором. Класифікація устаткування для зварювання тиском. Типові ряди універсальних машин для контактного зварювання. Основні принципи маркування таких машин.

Основні вузли контактних машин і призначення цих вузлів. Конструктивні особливості приводів машин для точкового, рельєфного й шовного контактного зварювання. Основні вимоги до швидкодії,

стабільності роботи і довговічності таких приводів. Елементи пневмогідроавтоматики в точкових, рельєфних і шовних контактних машинах.

Зварювальні трансформатори контактних машин, основні типи. Опір зварювального контуру контактної машини при короткому замиканні і його вплив на процес контактного зварювання опором. Зовнішня характеристика контактних машин. Особливості роботи зварювальних трансформаторів та основи методики їхнього розрахунку.

Електроди для точкового, рельєфного, шовного контактного зварювання опором. Їх призначення, форми робочих частин, особливості роботи під час експлуатації, способи охолодження. Матеріали для виготовлення електродів та основні вимоги до цих матеріалів.

Машини для контактного точкового зварювання опором змінного струму (промислової частоти) 50 Гц, конденсаторні, постійного струму й низької частоти. Одноточкові, двоточкові та багатоточкові контактні машини. Машини для точкового контактного мікрозварювання опором у радіоелектроніці та приладобудуванні.

Машини для рельєфного зварювання опором. Шовні машини для контактного зварювання змінного струму 50 Гц, конденсаторні та ін.

Література:

- [1]: гл. 7, 8, 9 (стор. 182...230);
- [2]: гл. 5 (стор. 186... 239), гл. 6 (стор. 259...297), гл. 8 (стор. 304...357);
- [5]: гл. 1, 2 (стор. 7...57), гл. 6 (стор. 239...264).

Методичні вказівки

Вивчаючи матеріал даної теми, варто знати загальні відомості про машини – області застосування, класифікацію, технічні вимоги, техніко-економічні показники, принципові кінематичні й компоновальні схеми машин. Необхідно чітко уявляти, з яких основних вузлів (наприклад, корпус, станина, привод стиску й ін.) і систем (наприклад, система охолодження, пневмосистема й ін.) складається машина. Далі проводиться вивчення окремих вузлів і систем. Вивчаючи приводи машин, слід звернути увагу на їх раціональне застосування, можливості застосування в конкретних умовах, які засоби гідро- і пневмоавтоматики забезпечують роботу цих приводів і подібне.

Перш ніж приступати до вивчення електричної силової частини машини, варто врахувати, що для різних машин існують різні схеми одержання зварювального струму, а від цього залежить й елементна база самої системи. Необхідно виділити загальні елементи, які є у всіх машинах (наприклад, вторинний контур, зварювальний трансформатор, апаратура керування, комутуючий пристрій та ін.), і специфічні, властиві окремим представникам устаткування (наприклад, випрямлячі, батареї конденсаторів, комутатори полярності).

При вивченні питань теорії зварювального контуру контактної машини необхідно пам'ятати, що його розміри і конструкція визначають технологічні можливості й енергетичні показники машини. Прагнення збільшити площу, охоплену контуром, для збільшення габаритів зварюваних деталей призводить до невиправданого збільшення опору контуру та зниження його енергетичних показників. Тому розміри контуру повинні мати розумні межі, ретельно конструктивно пророблені й

розраховані. Студент повинен вміти визначати складові й сумарні значення опору зварювального контуру, будувати й аналізувати трикутник опорів, визначати вихідні дані для розрахунку зварювального трансформатора, будувати й аналізувати зовнішню характеристику машини. Серед джерел одержання зварювального струму особливу увагу слід приділити зварювальним трансформаторам, особливостям їхньої конструкції, розрахунку окремих елементів, схемам з'єднання первинних обмоток для ступінчатого регулювання напруги неробочого ходу машини.

Завершують вивчення розділу електричної силової частини машини вивченням апаратури керування. У цій частині потрібно вивчити структурну схему апаратури керування, типи й призначення контакторів і переривників, регуляторів циклу зварювання. Робота і структура цих пристроїв розглядається в курсі "Автоматичне керування зварюванням".

Одними з головних елементів зварювальної машини є її електроди. Їх конструкцією та матеріалом багато в чому визначається стабільність якості зварних з'єднань, а іноді й взагалі можливість зварювання. Для того, щоб раціонально проектувати й експлуатувати електроди, необхідно усвідомити умови, в яких вони працюють.

Далі студентам необхідно вивчити типові устаткування для контактних способів зварювання змінним струмом, імпульсами постійного струму, акумульованою енергією. Найбільше практичне значення серед устаткування для зварювання акумульованою енергією мають конденсаторні машини, конструктивним особливостям та роботі яких слід приділити основну увагу.

Вивчаючи спеціалізоване устаткування, необхідно уважно розглянути принципові схеми багатоелектродних машин, принцип побудови зварювальних пресів, можливості застосування зварювального устаткування в роботах.

Примітка: До складу устаткування для зварювання опором входять і машини для стикового зварювання опором, однак їх вивчення зручно проводити разом з вивченням устаткування для стикового зварювання оплавленням.

Контрольні питання до теми 4

1. По яких ознаках класифікують контактні електрозварювальні машини?
2. Які існують технічні вимоги до устаткування для контактного зварювання?
3. Як маркуються машини для контактного зварювання?
4. Назвіть основні вузли машини для точкового, шовного й рельєфного зварювання.
5. Які приводи стискання деталей, що зварюють, застосовуються в машинах для контактного зварювання?
6. Наведіть схему, поясніть роботу й визначіть області застосування різних приводів стискання.
7. Які цикли стискання забезпечують трьох- і багатокамерні пневматичні приводи стискання?
8. Наведіть схему і поясніть роботу пневмогідролічного привода.
9. Наведіть кінематичну схему і поясніть роботу привода обертання роликів шовної машини.
10. Як регулюють зусилля стискання та швидкість спрацьовування пневматичного привода?
11. Дайте визначення номінального, короткочасного й тривалого режиму роботи контактної машини.
12. Наведіть методику розрахунку зварювального контуру контактної машини.

13. Побудуйте зовнішню характеристику контактної машини.
14. Які схеми одержання зварювального струму застосовують у контактних машинах?
15. Конструкція основних типів зварювальних трансформаторів. Способи регулювання зварювального струму.
16. Наведіть методику розрахунку зварювального трансформатора.
17. У яких умовах працюють електроди контактних машин? Вимоги, пропоновані до матеріалу електродів.
18. Дайте характеристику точкових машини стаціонарного типу для зварювання на змінному струмі.
19. Особливості конденсаторних машин.
20. У чому полягають особливості машин для зварювання імпульсами постійного струму? Наведіть схему одержання імпульсів постійного струму.
21. Поясніть принцип роботи низькочастотної машини.

Тема 5. ТЕОРІЯ СТИКОВОГО КОНТАКТНОГО ЗВАРЮВАННЯ ОПЛАВЛЕННЯМ

Зміст програми

Фізична сутність стикового контактного зварювання оплавленням. Особливості та енергетичні характеристики нагрівання металу при стиковому зварюванні оплавленням. Тепловий баланс при цьому способі зварювання. Методи інтенсифікації нагрівання металу при стиковому зварюванні оплавленням.

Основні параметри стикового зварювання оплавленням. Основні типи з'єднань при цьому способі зварювання. Процеси формування з'єднань при

стиковому зварюванні оплавленням. Зварюваність різних металів і сплавів способами контактного зварювання оплавленням.

Література:

– [2]: гл. 3 (стор. 79...106);

– [10]: гл. 1 (стор. 5...46, стор. 96...119).

Методичні вказівки

Вивчаючи матеріал цієї теми, студентам необхідно усвідомити різницю в способах зварювання опором й оплавленням. Необхідно звернути увагу на фізичну природу електроіскрового процесу, що протікає між торцями деталей, що з'єднують, і на способи визначення опору, який при цьому створюється. При визначенні теплового балансу необхідно враховувати тепло, яке витрачається розплавленим металом у простір при вибухах перемичок. Слід врахувати, що інтенсифікація нагрівання металу при оплавленні доцільна як з технологічних, так і з економічних міркувань. Чіткі уявлення про природу утворення сполуки, процеси її формування необхідні для того, щоб визначити можливості застосування цього способу зварювання для різних матеріалів і сплавів, тобто визначити здатність до зварювання різних металів і сплавів способами зварювання оплавленням. Вивчаючи матеріал цієї теми, слід визначити природу можливих дефектів при зварюванні оплавленням та методи боротьби з ними.

Контрольні питання до теми 5

1. У чому полягає фізична сутність стикового контактного зварювання оплавленням?

2. Поясніть природу електроіскрового процесу при оплавленні торців деталей, що зварюють.
3. Які параметри режиму характеризують процес стикового зварювання оплавленням?
4. Як можна інтенсифікувати процес нагрівання металу при стиковому зварюванні оплавленням?
5. Поясніть сутність процесу зварювання безперервним оплавленням з попереднім підігрівом.
6. Якими властивостями матеріалу визначається здатність до зварювання при контактному зварюванні оплавленням?
7. Поясніть причини появи дефектів у зварних з'єднаннях та методи боротьби з ними.

Тема 6. ТЕХНОЛОГІЯ СТИКОВОГО КОНТАКТНОГО ЗВАРЮВАННЯ ОПЛАВЛЕННЯМ

Зміст програми

Загальні відомості про технологію стикового контактного зварювання оплавленням різних металів. Особливості її виконання та характеристики міцності зварних з'єднань. Здатність до зварювання металів при цьому способі зварювання. Питання стабільності якості стикового зварювання оплавленням. Дефекти зварних з'єднань. Контроль якості при контактному зварюванні оплавленням. Автоматичне керування й регулювання при цьому способі зварювання. Області застосування контактного зварювання оплавленням і типові зварні конструкції.

Література:

– [2]: гл. 6 (стор. 234...259);

– [10]: гл. 6 (стор. 161...190).

Методичні вказівки

При вивченні питань технології стикового контактного зварювання слід керуватися загальними методичними вказівками до теми 3. Особливу увагу варто звернути на раціональне конструювання торців деталей, що зварюють, правильний вибір схем зміни параметрів процесу, їх програмування або автоматичне регулювання в циклі зварювання. Необхідно знати, які способи застосовуються для підтримання стійкості процесу оплавлення. Для орієнтовного підбору параметрів режиму при стиковому зварюванні зручно застосовувати критерії подібності, тому студентам доцільно повторити цей матеріал і навчитися застосовувати теорію подібності при стиковому зварюванні оплавленням. Крім особливостей технології зварювання різних матеріалів варто приділити увагу вивченню технології зварювання різних деталей, оскільки діапазон вузлів, що зварюють, досить широкий. При стиковому зварюванні істотна роль у технологічному процесі належить операції видалення грату. При зварюванні кільцевих виробів обов'язкове врахування шунтування та вживання додаткових заходів для його зниження. Слід враховувати, що й кількість параметрів режиму при стиковому зварюванні значно більша, ніж при точковому, і, отже, виникають додаткові труднощі у їх призначенні у ході розробки технології й підтриманні у заданих межах у ході процесу зварювання.

Контрольні питання до теми 6

1. Визначіть області застосування стикового зварювання оплавленням.
2. Наведіть приклади раціональної та нераціональної підготовки деталей до стикового зварювання.
3. Наведіть схеми зміни параметрів процесу при зварюванні оплавленням та оплавленням з попереднім підігрівом.
4. Виходячи з яких умов обирають значення струму оплавлення, припусків на оплавлення, зусилля осадки, зусилля затискання деталей та інші параметрів процесу?
5. Використовуючи положення теорії подібності, наведіть залежності параметрів режиму зварювання від лінійного розміру деталі.
6. У чому полягають особливості технології стикового зварювання оплавленням деталей з низьковуглецевої, середньовуглецевої, низьколегованої, високовуглецевої, високолегованої й аустенітної сталей, алюмінію, міді, нікелю, титану і їхніх сплавів?
7. Як зварюють стрижні, смуги, труби, рейки та інші деталі?
8. Як здійснюється імпульсне оплавлення?

Тема 7. УСТАТКУВАННЯ ДЛЯ СТИКОВОГО КОНТАКТНОГО ЗВАРЮВАННЯ ОПЛАВЛЕННЯМ

Зміст програми

Загальні відомості про устаткування для стикового зварювання оплавленням. Пневмогідравлічені приводи й системи гідрослідкування, для такого устаткування. Особливості приводів важких машин для стикового зварювання оплавленням.

Універсальні стикові машини. Параметричний ряд і типові кінематичні схеми стикових машин. Спеціалізовані машини для стикового зварювання оплавленням.

Література:

- [2]: гл. 6 (стор. 259...297);
- [10]: гл. 7 (стор. 191...209).

Методичні вказівки

При вивченні устаткування для стикового зварювання слід враховувати, що незважаючи на спеціалізацію машин, більшість із них має багато загальних вузлів й елементів таких, як: станина, нерухома й рухома частини, привод оплавлення й осадки, затискні пристрої, трансформатор або інший перетворювач енергії, струмопідводи, губки й апаратуру керування. Варто звернути увагу на те, що приводи оплавлення й осадки, як правило мають регульовану швидкість і значно потужніші, ніж у точкових машинах. Як правило, вони гідравлічні або пневмогідравлічні зі складною системою керування. Приводи для затискання деталей повинні розвивати більші зусилля, що перевищують зусилля осадки в 2...3 рази. Трансформатори машин загального призначення практично не відрізняються від тих, що використовуються у точкових машинах. У спеціалізованих машинах застосовують кільцеві, контурні трансформатори. Тому при вивченні цього матеріалу слід приділити увагу особливостям конструкції трансформатора й елементів вторинного контуру. Вивчаючи розділ устаткування для керування процесом зварювання, необхідно знати роботу привода із слідкуючим золотником, систем, що забезпечують імпульсне оплавлення.

Контрольні питання до теми 7.

1. За якими ознаками класифікують машини для стикового зварювання?
2. Які основні вузли та елементи має стикова машина?
3. Які особливості приводів оплавлення й осадки?
4. Наведіть схему гідравлічного приводу.
5. Наведіть схему гідравлічного приводу із слідкуючим золотником.
6. У чому полягають особливості конструкції машин для зварювання труб і рейок у польових умовах, ободів коліс, листів у прокатному виробництві?
7. Як видаляється грат після стикового зварювання оплавленням?

Тема 8. ІНШІ СПОСОБИ ЗВАРЮВАННЯ ТИСКОМ

Зміст програми

Холодне і пресове зварювання. Їх фізична сутність, різновиди та короткі відомості про технологію. Устаткування для цих способів зварювання та області його застосування.

Ультразвукове зварювання – основні гіпотези, фізична сутність й основні параметри. Повздовжня, повздовжньо-поперечна й крутильна схеми коливальних систем. Короткі відомості про технологію, устаткування і області застосування ультразвукового зварювання.

Термокомпресійне зварювання – фізична сутність, різновиди й основні параметри. Способи нагрівання виробів, що зварюють при

термокомпресійному зварюванні. Короткі відомості про технологію, устаткування й області застосування цього способу зварювання тиском.

Зварювання вибухом – його особливості, фізична сутність й основні параметри. Кутова й паралельна схеми зварювання вибухом. Стан розробок по цьому способі зварювання, короткі відомості про технологію, області застосування й перспективи розвитку зварювання вибухом.

Дифузійне зварювання – його фізична сутність й основні параметри. Короткі відомості про технологію, устаткування й області застосування.

Зварювання тертям – фізична сутність й основні параметри. Різновиди цього способу зварювання тиском. Інерційне зварювання тертям. Короткі відомості про технологію зварювання тертям, устаткування, про області застосування й перспективи розвитку.

Зварювання дугою, що обертається магнітним полем – фізична сутність й основні параметри. Різновиди цього способу зварювання тиском. Короткі відомості про технологію зварювання дугою, що обертається магнітним полем, устаткування, про області застосування й перспективи розвитку.

Менш розповсюджені способи зварювання тиском – короткі відомості про їхню фізичну сутність й області застосування цих способів зварювання (ковальське, термітне, високочастотне, індукційне й ін).

Література:

– [3]: гл. 3 (стор. 44...81), гл. 4 (стор. 106...107, стор. 117...130), гл. 5, 6, (стор. 173...207);

– [11]: гл. 7 (стор. 92...98);

– [15]: стор. 3...72, стор. 76...80;

– [16]: стор. 6...12, стор. 123...136;

– [17]: гл. 1 (стор. 8...15), гл. 3 (стор. 66...77), гл. 4 (стор. 87...89);

– [18]: гл. 8 (стор. 157...186);

- [19]: гл. 1 (стор. 5...6), гл. 2 (стор. 39...46), стор.127...137;
- [20]: гл. 3 (стор. 94...99, стор. 168...169);
- [21]: гл. 1 (стор. 7...12, стор. 35...39);
- [22]: гл. 3 (стор. 102... 118, стор. 132...153).

Методичні вказівки

Починаючи вивчення розділів даної теми, слід враховувати, що в цей час кожний зі способів (за винятком окремих, таких як пресове зварювання) одержав досить широке розповсюдження, досить добре теоретично обґрунтований і практично реалізований. При проробленні літературних джерел необхідно приділяти основну увагу наступним чотирьом питанням: фізична сутність процесу, основи технології одержання зварних з'єднань, основні принципи побудови устаткування і його принципів або кінематичні схеми, області раціонального застосування того або іншого способу зварювання тиском.

Контрольні питання до теми 8

1. Пояснить фізичну сутність і наведіть схему процесу одного зі способів зварювання, досліджуваних у даній темі.
2. Назвіть основні параметри процесу і поясніть технологію виготовлення зварних з'єднань одним зі способів зварювання тиском.
3. Чому в установках для холодного зварювання значну увагу приділяють затискним пристроям?
4. Що є джерелом пружних коливань в установках для ультразвукового зварювання?

5. Які схеми нагрівання деталей застосовують при термокомпресійному зварюванні?

6. Назвіть основні й допоміжні частини установки для дифузійного зварювання.

7. Наведіть кінематичну схему машини для зварювання тертям.

8. Як здійснюються кондукційне та індукційне підведення струму до деталей при зварюванні струмами високої частоти?

Тема 9. ЗАГАЛЬНІ ПИТАННЯ ПО ЗВАРЮВАННЮ ТИСКОМ

Зміст програми

Особливості експлуатації устаткування для зварювання тиском. Роль планово-попереджувальних ремонтів та їхня черговість. Охорона праці й техніка безпеки при різних способах зварювання тиском. Техніко-економічні характеристики різних способів зварювання тиском. Порівняння цих способів з іншими різновидами зварювання, близькими по областях їхнього застосування. Перспективи розвитку різних способів зварювання тиском.

Література:

– [1]: гл. 15 (стор. 356...357);

– [2]: гл.13 (стор. 529...532).

Методичні вказівки

Матеріал цієї теми завершує курс. Особливості експлуатації кожного виду устаткування розглянуто у попередніх розділах. У цій частині курсу

слід зробити узагальнення про умови роботи устаткування, знати загальні положення по експлуатації устаткування.

На підставі знань, отриманих при вивченні кожного способу зварювання тиском, студенти повинен уміти оцінити його можливості, області раціонального застосування та знати перспективи розвитку кожного способу зварювання тиском.

Контрольні питання до теми 9

1. У чому полягають особливості експлуатації устаткування для зварювання тиском?

2. Як забезпечується безперебійна робота устаткування на виробництві?

3. Які основні небезпеки під час експлуатації різних видів устаткування для зварювання тиском?

4. Проведіть порівняльний аналіз можливостей різних способів зварювання тиском.

5. Які перспективи розвитку способів зварювання тиском?

ІНДИВІДУАЛЬНІ ЗАВДАННЯ

Методичні вказівки

Номер варіанта індивідуального завдання для студента обирається відповідно до його порядкового номера у списках деканату. Якщо порядковий номер студента більше 10, 20-ти, то вибирається варіант, що

відповідає одиницям після десятків (наприклад, порядковий номер 14 – варіант 4).

У домашній контрольній роботі повинні даватися вичерпні відповіді по кожному пункту завдання із наведенням необхідних схем, графіків та іншого ілюстративного матеріалу. У характеристиці устаткування необхідно навести типи й області його застосування, дати класифікацію та приклади машин по кожній групі й конкретно описати одну з типових машин або установок.

Визначення параметрів режиму повинне передбачати комплексний підхід до вирішення завдання, включаючи розрахунок окремих параметрів згідно методичних вказівок та вибір деяких з даних, наведених у літературі.

Методичні вказівки до виконання розрахункової частини домашньої контрольної роботи

1. Розрахунок параметрів режиму контактного точкового зварювання

Основними параметрами режиму контактного точкового зварювання є зусилля між електродами, час зварювання, сила зварювального струму. Вихідними даними до розрахунку є товщини та матеріал зварюваних деталей.

Основним параметром з'єднання при контактному точковому зварюванні є діаметр ядра $d_{\text{я}}$. Іншими параметрами з'єднання є величини проплавлення h , h_1 , глибина вм'ятин g , g_1 , величина напуску B , відстань від центра точки до краю напуску u та крок точок l (див. рис. 1.1, табл. 1.1).

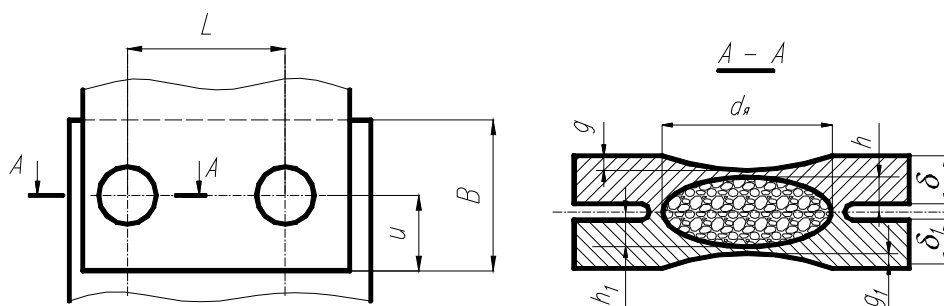


Рисунок 1.1. Параметри зварного з'єднання при контактному точковому зварюванні

Залежно від матеріалу деталей та їх товщини для точкового зварювання застосовують різні цикли зміни зусилля між електродами та зварювального струму (табл. 1.2, 1.3).

Таблиця 1.1. Параметри зварних з'єднань згідно ГОСТ 15878-70

Товщин а деталей $\delta, \text{ м} \cdot 10^{-3}$	Параметри, $\text{ м} \cdot 10^{-3}$				Товщин а деталей $\delta, \text{ м} \cdot 10^{-3}$	Параметри, $\text{ м} \cdot 10^{-3}$			
	$d_{я}$, не менше	l , не менше	B_{min}			$d_{я}$, не менше	l , не менше	B_{min}	
			чорні метали і сплави	кольо- рові метали і сплави				чорні метали і сплави	кольо- рові метали і сплави
0,3 – 0,4	2,5	8	7	10	2,2 – 2,7	8	30	19	22
0,4 – 0,6	3	10	8	10	2,7 – 3,2	9	35	21	26
0,6 – 0,8	3,5	11	10	12	3,2 – 3,7	10,5	40	24	28
0,8 – 1	4	15	11	14	3,7 – 4,2	12	45	28	32
1 – 1,3	5	17	12	16	4,2 – 4,7	13	50	31	36
1,3 – 1,6	6	20	14	18	4,7 – 5,2	14	55	34	40
1,6 – 1,8	6,5	22	15	19	5,2 – 5,7	15	60	38	46
1,8 – 2,2	7	25	17	20	5,7 – 6	16	65	42	50

Примітка: 1. для спрощення у подальших розрахунках вважати $d_{я} = d_K$ – діаметр контакту електрода з деталлю.

2. при $d_1 \neq d_2$ діаметр ядра та розміри інших конструктивних елементів обирають за меншою з товщин.

3. допустима величина проплавлення h складає 20 – 80 % товщини деталей (для титанових сплавів – до 95 %, для магнієвих – до 70 %).

4. глибина вм'ятини g не повинна перевищувати 20 % товщини деталі.

5. $u = 0,5B_{min}$.

Таблиця 1.2. Рекомендовані параметри режиму зварювання для деталей однакової товщини на машинах змінного струму

Матеріал	Товщина деталей, мм	Параметри режиму		Циклограма	
		Зусилля електродів $F_{зв}$, кН	Час $t_{зв}$, с		
Низьковуглецеві сталі	0,5	1,2 – 1,8	0,08		
	0,8	2 – 2,5	0,12		
	1	2,5 – 3	0,14		
	1,2	3 – 4	0,16		
	1,5	4 – 5	0,18		
	2	6 – 7	0,22		
	3	9 – 10	0,26		
	3,5	11 – 12	0,34		
	4	13 – 15	0,5		
Низьколеговані сталі, схильні до закалювання	0,5	2 – 3	0,36		
	0,8	2,5 – 3,5	0,4		
	1	4 – 5	0,46		
	1,2	5 – 6	0,5		
	1,5	6 – 8	0,6		
	2	8 – 10	0,78		
	2,5	10 – 12	1		$t_{II} = (1,1 \dots 1,2)t_{зв}$, $t_{Д} = (2,5 \dots 3)t_{зв}$, $I_{Д} = (0,7 \dots 0,85)I_{зв}$
	3	11 – 14	1,3		
Корозійно-стійкі сталі	0,5	2,5 – 3	0,1		
	0,8	3 – 4	0,14		
	1	3,5 – 4,5	0,18		
	1,2	4,5 – 5,5	0,2		
	1,5	5 – 6	0,22		
	2	8 – 9	0,26		
	2,5	10 – 11	0,32		
	3	12 – 14	0,36		

Продовження таблиці 1.2

Матеріал	Товщина деталей, мм	Параметри режиму		Циклограма
		Зусилля електродів $F_{ЗВ}$, кН	Час $t_{ЗВ}$, с	
Титанові сплави	0,5	1 – 1,5	0,1	
	0,8	1,5 – 2	0,14	
	1	2 – 2,5	0,16	
	1,2	2,5 – 3	0,18	
	1,5	3 – 3,5	0,2	
	2	4 – 5,5	0,24	
	2,5	6 – 7,5	0,3	
	3	8 – 10	0,34	
Жаростійкі сплави	0,5	5 – 6	0,2	
	0,8	6,5 – 8	0,28	
	1	8 – 10	0,36	
	1,2	10 – 12	0,44	
	1,5	12 – 15	0,56	
	2	15 – 17	0,7	
	2,5	18 – 19	0,88	
	3	20 – 21	1,2	
Алюмінієві сплави	Сплави типу Д16АТ			
	0,5	2	0,08	
	0,8	3	0,1	
	1	4	0,12	
	1,5	4,5 ($F_K = 10$ кН)	0,16 ($t_K = 0,24$ с)	
	2	7 ($F_K = 15$ кН)	0,20 ($t_K = 0,3$ с)	
	Сплави типу АМГАМ			
	0,5	1,3	0,08	
	0,8	1,9	0,1	
	1	2,5	0,12	
	1,5	3,5	0,14	
	2	5	0,18	

Примітка: 1. Час зварювання обирають кратним періоду мережі живлення.

2. При зміні товщини деталей для обчислення параметрів зварювання користуються критеріями подібності: $F \sim d^2$, $t \sim d^2$.

Таблиця 1.3. Рекомендовані параметри режиму зварювання для деталей однакової товщини на низькочастотних машинах

Матеріал	Товщина деталей, мм	Параметри режиму				Циклограма
		Зусилля електродів, кН		Час, с		
		$F_{ЗВ}$	F_K	$t_{ЗВ}$	t_K	
Алюмінієві сплави	Сплави типу Д16АТ					
	0,5	2	5	0,04	0,04	
	0,8	3	6,5	0,04	0,06	
	1	4	9	0,06	0,08	
	1,5	5	14	0,08	0,1	
	2	7	19	0,1	0,14	
	2,5	9	26	0,12	0,16	
	3	12	32	0,16	0,22	
	4	28	60	0,2	0,28	
	Сплави типу АМГАМ					
	0,5	1,2	–	0,04	–	
	0,8	2	–	0,04	–	
	1	2,5	–	0,06	–	
	1,5	3,5	–	0,08	–	
	2	5	10	0,1	0,14	
	2,5	6,5	14	0,12	0,18	
	3	8	20	0,16	0,2	
	4	9	26	0,2	0,28	
Магнієві сплави	0,8	2	4	0,06	0,08	
	1	2,5	6	0,08	0,1	
	1,5	3,5	8	0,1	0,12	
	2	4,5	10	0,14	0,16	
	2,5	5,5	14	0,16	0,2	
	3	6,5	20	0,2	0,28	
	4	8	26	0,24	0,32	

Величина зварювального струму, необхідна для утворення зварювальної точки, може бути визначена за законом Джоуля-Ленца:

$$I_D = \sqrt{\frac{Q_{ee}}{K_3 \cdot R_{Д.КІН} \cdot t_{ЗВ}}} \quad (1.1)$$

де I_D , А – діюче значення струму будь-якої форми імпульсу (під I_D розуміємо умовну величину постійного струму, який викликає такий само

тепловий ефект, як і діючий імпульс); Q_{ee} , Дж – кількість теплоти, яка виділяється при протіканні струму по ділянці електрод-електрод; K_3 – коефіцієнт, який враховує зміну опору деталей під час зварювання, і становить:

для низьковуглецевих та низьколегованих сталей	$K_3 = 1,0...1,1;$
для алюмінієвих та магнієвих сплавів	$K_3 = 1,2...1,4;$
для нержавіючих сталей і титанових сплавів	$K_3 = 1,1...1,2.$

$R_{д,кин}$ – опір деталей наприкінці нагрівання, Ом; $t_{зв}$ – технологічно доцільний час зварювання, с, (табл. 1.2, 1.3).

Кількість теплоти Q_{ee} визначається за формулою:

$$Q_{ee} = Q_1 + Q_2 + Q_3 \quad (1.2)$$

де Q_1 – кількість теплоти, Дж, яка витрачається на нагрівання до температури плавлення $T_{пл}$, К, стовпчика металу зварюваних деталей заввишки 2δ та діаметром основи $d_я$:

$$Q_1 = \frac{\rho d_я^2}{4} \cdot 2 \cdot d \cdot c \cdot g \cdot \Delta T_{пл} \quad (1.3)$$

де c та γ – відповідно питома теплоємність, $\frac{Дж}{кг \cdot К}$, та густина, $\frac{кг}{м^3}$, металу, що зварюється; $\Delta T_{пл} = T_{пл} - T_0$, К, де $T_{пл}$ – температура плавлення матеріалу деталей, К (див. табл. 1.4), T_0 – початкова температура деталей, К, при зварюванні без попереднього підігрівання приймають $T_0 = 273$ К; d – товщина однієї пластини, м; $d_я$ – діаметр литого ядра зварної точки, м.

Q_2 – кількість теплоти, Дж, яка витрачається на нагрівання до температури $\left(T_0 + \frac{\Delta T_{пл}}{4}\right)$ металу кільця шириною X_2 , яке оточує стовпчик розплавленого металу:

Таблиця 1.4. Деякі теплофізичні властивості металів

Матеріал	Питомий електроопір при 293 К ρ_0 , Ом·м·10 ⁻⁶	Коефіцієнт теплопровідності при 293 К λ , Вт/(м·К)	Коефіцієнт температуропровідності при 293 К a , (м ² /К)·10 ⁻³	Питома теплоємність при 293 К c_p , Дж/(кг·К) 10 ³	Густина при 293 К ρ , кг/м ³	Температура плавлення, Tпл, К
Низьковуглецеві сталі (типу 08 кп)	0,13	37,6 – 41,7	7,1 – 9	0,67	7830	1803
Середньовуглецеві низьколеговані сталі (типу 30ХГСА)	0,22	37,6 – 41,7	7,1 – 9	0,67	7830	1753
Нержавіючі сталі (типу Х18Н10Т)	0,7 – 1,2	25,0 – 33,3	5,3 – 7	0,67	7860	1713
Жароміцні сплави (типу Х15Н5Д2Т)	0,7 – 1,2	25,0 – 33,3	5,3 – 7	0,67	7860	1713
Титанові сплави (типу ОТ 4-1)	1 – 1,5	12,5 – 16,7	4,5 – 5	0,62	4520 – 4590	1973
Алюмінієві та магнієві сплави	0,04 – 0,06	117 – 146	45,4 – 63,9	0,92 – 1,29	2800 – 1770	893 – 927
Електродні сплави на основі міді	0,02 – 0,035	250 – 360	62 – 89,6	0,45	8900	1356

$$Q_2 = k_1 \cdot p \cdot X_2 \cdot (d_{\text{я}} + X_2) \cdot 2d \cdot c \cdot g \cdot \frac{\Delta T_{\text{пл}}}{4} \quad (1.4)$$

де k_1 – коефіцієнт, близький до 0,8, який враховує те, що середня температура кільця нижча від $\left(T_0 + \frac{\Delta T_{\text{пл}}}{4}\right)$ у зв'язку із складним розподілом температури; X_2 – ширина кільця, яке оточує ядро, м, визначається товщиною деталей, температуропровідністю a їхнього матеріалу та часом зварювання. На практиці приймають:

– для низьковуглецевих та низьколегованих сталей	$X_2 = 1,2 \sqrt{t_{3B}} \cdot 10^{-2},$	
– для нержавіючих сталей	$X_2 = 1,1 \sqrt{t_{3B}} \cdot 10^{-2},$	(1.5)
– для алюмінієвих сплавів	$X_2 = 3,1 \sqrt{t_{3B}} \cdot 10^{-2},$	
– для міді та її сплавів	$X_2 = 3,3 \sqrt{t_{3B}} \cdot 10^{-2},$	
– для сплавів титану	$X_2 = 1,1 \sqrt{t_{3B}} \cdot 10^{-2},$	

де t_{3B} – час зварювання, с.

Q_3 – кількість теплоти, Дж, на нагрівання умовного циліндра металу електродів заввишки X_3 і діаметром $d_{Я}$ до середньої температури $\left(T_0 + \frac{\Delta T_{III}}{8}\right)$:

$$Q_3 = 2k_2 \cdot \frac{\rho \cdot d_{Я}^2}{4} \cdot X_3 \cdot c_e \cdot g_e \cdot \frac{\Delta T_{III}}{8} \quad (1.6)$$

де k_2 – коефіцієнт, який враховує форму робочої поверхні електрода:

- для циліндричного електрода із плоскою робочою поверхнею $k_2 = 1$;
- для конічного електрода із плоскою робочою поверхнею $k_2 = 1,5$;
- для електрода із сферичною робочою поверхнею $k_2 = 2,0$.

Для зварювання сталей застосовують електроди із плоскою робочою поверхнею. Сферичну форму робочої поверхні застосовують при зварюванні легких сплавів.

X_3 – визначається часом зварювання і температуропровідністю металу електродів, м:

$$X_3 = 3,3 \sqrt{t_{3B}} \cdot 10^{-2}, \quad (1.7)$$

c_e, γ_e – теплоємність, $\frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{К}}$, та густина, $\frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$, металу електродів відповідно (див. табл. 1.4).

Опір деталей наприкінці нагрівання $R_{д.кін}$ визначається за довідковими даними, які одержані при зварюванні на номінальних режимах та номінальних розмірах литої зони з'єднань (див. табл. 1.5).

При зварюванні одиничної точки еквівалентний опір приймають рівним $R_{екв} = R_{д.кін}$.

При зварюванні другої та подальших точок струм частково шунтується через попередні з'єднання (див. рис. 1.2).

Таблиця 1.5. Середні значення опору $R_{д.кін}$ ($\text{Ом} \cdot 10^{-6}$)

Матеріал	d , мм					
	0,3	0,5	1,0	1,5	2,0	3,0
Низьковуглецеві сталі (типу 08 кп)	150	135	115	100	90	75
Середньовуглецеві низьколеговані сталі (типу 30ХГСА)	115	145	125	110	100	90
Нержавіючі сталі (типу Х18Н10Т)	215	185	150	130	120	110
Жароміцні сплави (типу Х15Н5Д2Т)	145	165	135	120	110	100
Титанові сплави (типу ОТ 4-1)	240	210	165	145	133	120
Латуні	76	48	30	24	20	18
Бронзи	90	63	40	32	27	23
Алюмінієві сплави	18	16	13	11	10	8

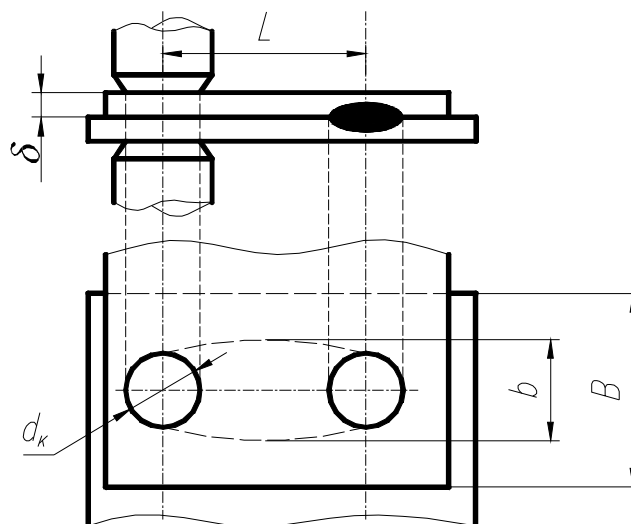


Рис. 1.2. До визначення опору шунтування при точковому зварюванні

$r_{ш}$ – опір шунта, Ом, визначають за формулою:

$$r_{ш} = K_{п} \cdot r_T \frac{2l}{b \cdot d} \quad (1.8)$$

де $K_{п}$ – коефіцієнт поверхневого ефекту (табл. 1.6).

Таблиця 1.6. Залежність коефіцієнта поверхневого ефекту від товщини листів, що зварюються

$\delta, \text{м} \cdot 10^{-3}$	1	1,5	2	3	4	5	6	9
$K_{п}$	1	1,2	1,3	1,5	1,9	2,6	3	3,6

Примітка: у разі зварювання на машинах постійного струму або низькочастотних прийняти $K_{п} = 1$.

ρ_T – питомий електричний опір матеріалу пластин, Ом·м, при температурі, яка дорівнює 0,2...0,4 $T_{пл}$. У розрахунках можна прийняти:

- для низьковуглецевих та
низьколегованих сталей $\rho_T = 80 \cdot 10^{-8}$ Ом·м
- для нержавіючих сталей $\rho_T = 110 \cdot 10^{-8}$ Ом·м
- для алюмінієвих сплавів $\rho_T = 9,5 \cdot 10^{-8}$ Ом·м
- для сплавів титану $\rho_T = 120 \cdot 10^{-8}$ Ом·м

l – відстань між точками, м (обирають за даними табл. 1.1 або призначають з конструктивних міркувань).

b – ширина смуги, по якій шунтується струм, м. Величину її знаходять із залежності:

$$b = \frac{p \cdot l}{\ln\left(\frac{2 \cdot l}{d_k}\right)} \quad (1.9)$$

Якщо розрахункове значення $b > B$, то у подальших розрахунках замість ширини смуги шунтування використовують величину напуску.

Тоді струм шунтування через раніше зварену точку, визначиться виразом:

$$I_{ш} = I_{д} \cdot \frac{R_{д.кш}}{r_{ш}} \quad (1.10)$$

Струм у вторинному контурі машини I_2 , А, визначають за формулою:

$$I_2 = I_{д} + I_{ш} \quad (1.11)$$

$R_{ЕКВ}$ – еквівалентний опір, що використовується для розрахунку потужності зварювального трансформатора, Ом, визначаємо за формулою:

$$R_{ЕКВ} = \frac{r_{ш} \cdot R_{д.кш}}{r_{ш} + R_{д.кш}} \quad (1.12)$$

2. Розрахунок параметрів режиму контактного шовного зварювання

Основними параметрами режиму контактного шовного зварювання є зусилля між роликками, тривалість імпульсу струму та паузи між імпульсами, швидкість зварювання, сила зварювального струму. Вихідними даними до розрахунку є товщини та матеріал зварюваних деталей.

Основним параметром з'єднання при контактному шовному зварюванні є ширина литої зони d . Іншими параметрами з'єднання є величини проплавлення h , h_1 , глибина вм'ятин g , g_1 , величина напуску B , відстань від осі шва до краю напуску u , довжина литої зони l , крок точок l_1 , перекриття литих зон шва f (див. рис. 2.1, табл. 2.1).

Для шовного зварювання на машинах змінного струму найчастіше застосовують цикл із безперервним обертанням роликів та переривчастим вмиканням струму (рис. 2.2, а). Для зварювання кольорових металів і

сплавів на машинах постійного струму та низькочастотних – крокове зварювання (рис. 2.2, б).

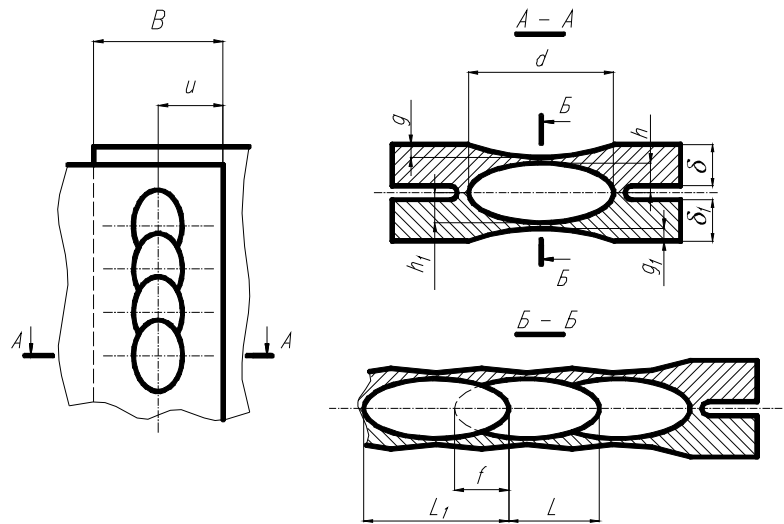


Рисунок 2.1. Параметри зварного з'єднання при контактному шовному зварюванні

Таблиця 2.1. Параметри зварних з'єднань згідно ГОСТ 15878-70

Товщина деталей δ , м $\cdot 10^{-3}$	Параметри, м $\cdot 10^{-3}$			Товщина деталей δ , м $\cdot 10^{-3}$	Параметри, м $\cdot 10^{-3}$		
	d , не менше	B_{min}			d , не менше	B_{min}	
		чорні метали і сплави	кольорові метали і сплави			чорні метали і сплави	кольорові метали і сплави
0,3	2,5	6	10	1,3 – 1,6	6	14	18
0,3 – 0,4	2,5	7	10	1,6 – 1,8	6,5	15	19
0,4 – 0,5	3	8	10	1,8 – 2,2	7	17	20
0,5 – 0,6	3	8	10	2,2 – 2,7	7,5	19	22
0,6 – 0,8	3,5	10	12	2,7 – 3,2	8	21	26
0,8 – 1	4	11	14	3,2 – 3,7	9	24	28
1 – 1,3	5	13	16	3,7 – 4	10	28	30

Примітка: 1. для герметичних швів величина перекриття литих зон f повинна становити 25 – 50 % довжини литої зони одиничного з'єднання l_1 .

2. при $d_1 \neq d_2$ розміри конструктивних елементів обирають за меншою з товщин.

3. допустима величина проплавлення h складає 20 – 80 % товщини деталей (для титанових сплавів – до 95 %, для магнієвих – до 70 %).

4. глибина вм'ятини g не повинна перевищувати 20 % товщини деталі.

5. $u = 0,5B_{min}$.

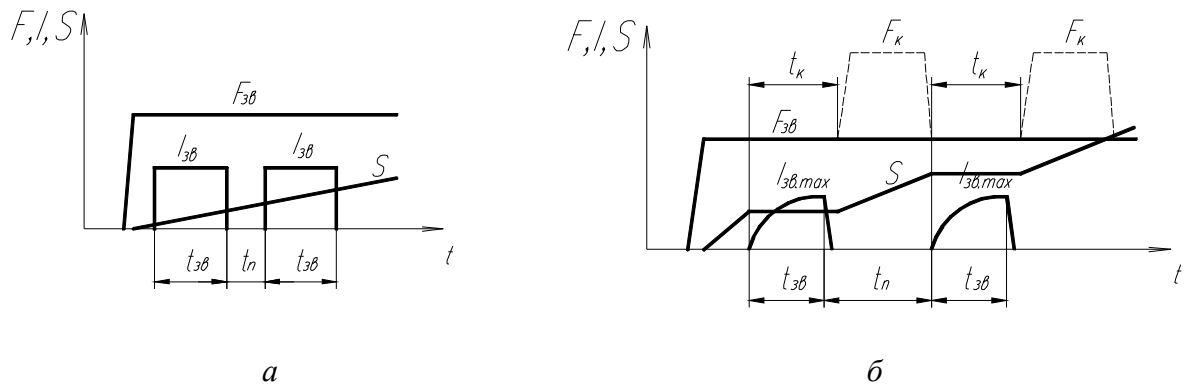


Рисунок 2.2. Цикли шовного зварювання: *а* – із безперервним обертанням роликів; *б* - крокове

Зусилля стискання між роликками $F_{зв}$. Н на практиці приймають:

– для низько- та середньовуглецевих конструкційних сталей, алюмінієвих сплавів:

$$F_{зв} = 500 + 2 \cdot 10^6 \cdot d \quad (2.1)$$

– для нержавіючих сталей, жароміцних сплавів і титану:

$$F_{зв} = 2 \cdot (500 + 2 \cdot 10^6 \cdot d) \quad (2.2)$$

де δ , м – товщина одного з листів, які зварюються.

При можливості неякісного складання та жорсткій конструкції, а також високій жорсткості матеріалу деталей зусилля стискання приймають на 10 % більше розрахункового значення.

Час протікання зварювального струму (тривалість одного імпульсу зварювального струму) $t_{зв}$, с:

– для низько- та середньовуглецевих сталей

$$t_{зв} = 0,04(1 + \delta^2 \cdot 10^6);$$

– для нержавіючих сталей

$$t_{зв} = 0,03(1 + \delta^2 \cdot 10^6); \quad (2.3)$$

– для алюмінієвих сплавів

$$t_{зв} = 0,02(1 + \delta^2 \cdot 10^6);$$

– для сплавів титану

$$t_{зв} = 0,03(1 + \delta^2 \cdot 10^6).$$

Відношення часу імпульсу $t_{зв}$ до загального часу одного циклу зварювання $t_{зв} + t_{II}$ (t_{II} – час паузи, с) визначають із залежності:

– для низько- та середньо-
вуглецевих сталей

$$\frac{t_{36}}{t_{36} + t_{\Pi}} = 0,5 \dots 0,7$$

– для нержавіючих сталей та
титану

$$\frac{t_{36}}{t_{36} + t_{\Pi}} = 0,4 \dots 0,6 \quad (2.4)$$

– для алюмінієвих сплавів

$$\frac{t_{36}}{t_{36} + t_{\Pi}} = 0,15 \dots 0,35$$

Відстань між сусідніми точками при шовному зварюванні l , мм, встановлюється у залежності від товщини деталей, які зварюються, а також вимог герметичності шва. Для герметичних швів при перекритті литих зон на 20...50 % l орієнтовно визначають за залежностями:

– для низько- та середньовуглецевих сталей $l = (2,8 \dots 3,2) \cdot d$

– для нержавіючих сталей та титану $l = (2,4 \dots 2,8) \cdot d \quad (2.5)$

– для алюмінієвих сплавів $l = (1,5 \dots 2,5) \cdot d$

Швидкість зварювання $V_{зв}$, мм/с, можна визначити з відношення:

$$V_{зв} = \frac{l}{t_{36} + t_{\Pi}} \quad (2.6)$$

Величину діючого значення зварювального струму при шовному зварюванні, необхідну для формування одиничної точки $I_{д}$, А, можна визначити наближено за залежностями, які використовують для розрахунку $I_{д}$ при точковому зварюванні. При цьому слід враховувати, що площа перерізу литої зони точки (у площині деталей, що зварюються) при шовному зварюванні буде більшою, ніж при точковому, за рахунок збільшення її розміру у напрямку зварювання. У розрахунках $I_{д}$ належить прийняти:

$$d_{\text{я}} = (1,1 \dots 1,2) \cdot d \quad (2.7)$$

Опір деталей наприкінці нагрівання $R_{\text{д.кін}}$ визначають за довідковими даними, які одержані при зварюванні на номінальних режимах та номінальних розмірах литої зони з'єднань (див. табл. 2.1).

Таблиця 2.1. Середні значення опору $R_{\text{д.кін}}$ (Ом $\cdot 10^{-6}$)

Матеріал	d , мм				
	0,3	0,5	1,0	1,5	2,0
Низьковуглецеві сталі (типу 08 кп)	110	95	80	70	50
Середньовуглецеві низьколеговані сталі (типу 30ХГСА)	145	130	105	85	65
Нержавіючі сталі (типу Х18Н10Т)	188	162	130	115	105
Жароміцні сплави (типу Х15Н5Д2Т)	170	145	115	105	95
Титанові сплави (типу ОТ 4-1)	224	195	154	135	124
Латуні	46	29	18	15	12
Бронзи	54	38	24	19	16
Алюмінієві сплави	—	14	11	10	—

Струм шунтування через раніше зварену точку $I_{\text{ш}}$, А, знаходимо з виразів:

$$I_{\text{ш}} = I_{\text{д}} \cdot \left(\frac{0,64}{1 - \frac{1}{\sqrt{\left[\frac{d_{\text{я}}}{2d}\right]^2 + 1}}} - 0,5 \right) \quad (2.8)$$

або

$$I_{\text{ш}} = I_{\text{д}} \cdot 3 \frac{d}{d_{\text{я}}} \quad (2.9)$$

Загальний вторинний струм машини I_2 , А, визначається як сума двох струмів: діючого та шунтування:

$$I_2 = I_D + I_{ш} \quad (2.10)$$

Для визначення величини опору шунта $r_{ш}$, Ом, можна скористатися залежністю:

$$r_{ш} = R_{Д.КН} \frac{I_D}{I_{ш}} \quad (2.11)$$

Еквівалентний опір на ділянці електрод-електрод $R_{ЕКВ}$, Ом, визначають за формулою:

$$R_{ЕКВ} = \frac{r_{ш} \cdot R_{Д.КН}}{r_{ш} + R_{Д.КН}} \quad (2.12)$$

3. Розрахунок параметрів режиму контактного стикового зварювання безперервним оплавленням

Основними параметрами режиму контактного стикового зварювання безперервним оплавленням є густина та сила зварювального струму, швидкості зближення деталей під час оплавлення, перед осадкою та на початку осадки, припуски на зварювання, оплавлення та осадку, тривалість процесів оплавлення та осадки, зусилля осадки та затискання деталей. Вихідними даними до розрахунку є матеріал зварюваних деталей та геометричні характеристики їхніх перерізів.

Узагальнену схему процесу зварювання безперервним оплавленням та типову циклограму наведено на рис. 3.1.

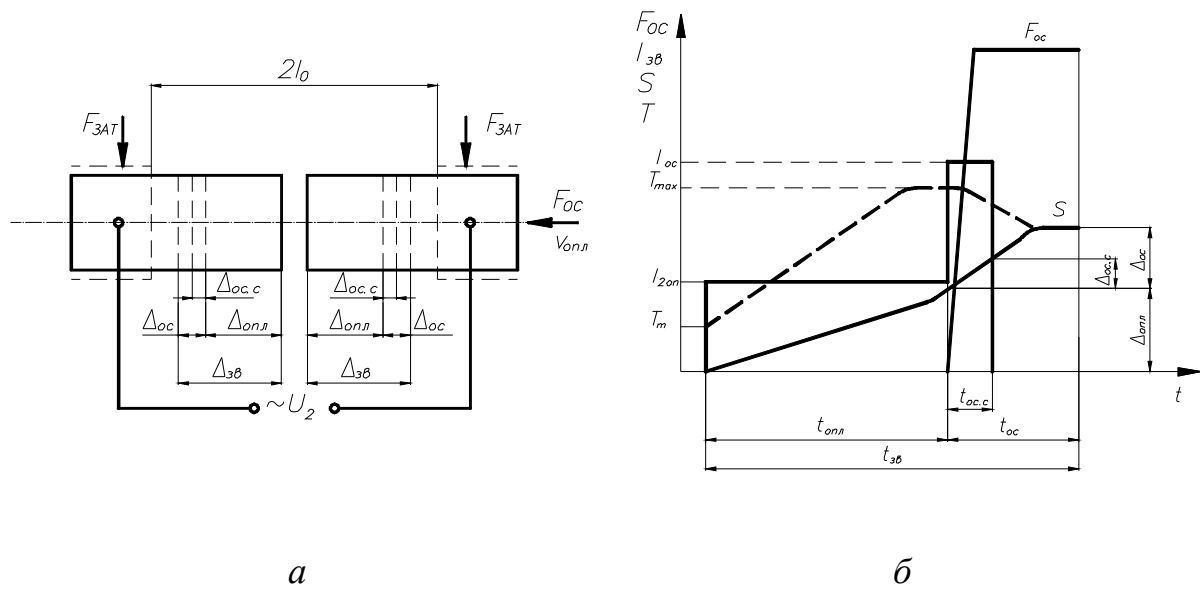


Рисунок 3.1 Узагальнена схема процесу зварювання безперервним оплавленням (а) та типова циклограма (б)

Електроенергетичні характеристики процесу оплавлення можна визначити за рівнянням балансу теплової потужності:

$$Q_{m.on} = F \cdot [q_{c.on} + q_{l.on}], \quad (3.1)$$

де F – площа поперечного перерізу зварюваної деталі, мм^2 ;

$Q_{T.оп}$ – середнє значення теплової потужності, яка розвивається на оплавлених торцях, Вт;

$q_{c.оп}$, $q_{л.оп}$ – відповідно середні значення питомої теплової потужності, що видаляється із стику із частками металу, та питомої потужності, яка відводиться у деталі за рахунок теплопровідності, $\text{Вт}/\text{мм}^2$ (табл. 3.1).

$$q_{c.on} = n_{p.z} \cdot g \cdot [q_{on} - c_{тв} \cdot T_T], \quad (3.2)$$

де $v_{p.z}$ – швидкість переміщення рухомого затискача, $\text{мм}/\text{с}$;

$c_{тв}$ – середня питома теплоємність зварюваного матеріалу у твердому стані, $\text{Дж}/(\text{мм}^3 \cdot ^\circ\text{C})$ (табл. 3.1);

γ – щільність матеріалу, $\text{г}/\text{мм}^3$ (табл. 3.1);

T_T – середня температура торців деталей під час оплавлення, $^\circ\text{C}$.

Таблиця 3.1. До розрахунку параметрів режиму зварювання безперервним
оплавленням

Параметр	Матеріал				
	Вуглецеві сталі	Низьколеговані сталі	Аустенітні сталі	Алюмінієві сплави	Мідні сплави
Вміст теплоти одиничної маси металу, що видаляється із стику $q_{оп}$, Дж/мм	2			1,6	1
Середня теплоємність твердого металу $c_{тв}$, Дж/(мм ³ ·°C)	$7 \cdot 10^{-4}$			$1 \cdot 10^{-3}$	$4 \cdot 10^{-4}$
Щільність металу γ , мг/мм ³	7,86			2,7	8,94
Температура плавлення $T_{пл}$, °C	1450	1450	1450	650	1083
Питома теплова потужність, яка відводиться із стику в деталі, $q_{лоп}$, Вт/мм ²	10 – 16			30 – 45	80 – 120
Початкова швидкість переміщення рухомого затискача $v_{р.з.поч}$, мм/с	0,1 – 0,5			0,5 – 1	
Швидкість оплавлення $v_{опл}$, мм/с	0,8 – 1			5 – 10	
Швидкість осадки, $v_{ос}$ мм/с, не менше:					
- безперервним оплавленням	20 – 30	30 – 40	60 – 100	100 – 150	
- із попереднім підігрівом	15 – 20	20 – 30	40 – 80	100 – 150	
Тиск осадки $p_{ос}$, МПа					
- безперервним оплавленням	50 – 70	80 – 100	120 – 180	150 – 200	
- із попереднім підігрівом	30 – 40	50 – 60	80 – 100	150 – 200	

Для розрахунків $q_{с.оп}$ на початку процесу зварювання приймають: $v_{р.з} = v_{р.з.поч}$ (табл. 3.1), $T_T \approx 20$ °C (при зварюванні безперервним оплавленням) або $T_T \approx T_{II}$ (при зварюванні із попереднім підігріванням, T_{II} , °C – температура попереднього підігрівання).

Для розрахунків $q_{с.оп}$ наприкінці процесу зварювання приймають: $v_{р.з} = v_{опл}$ (табл. 3.1), $T_T \approx T_{пл}$ ($T_{пл}$, °C – температура плавлення матеріалу (табл. 3.1)).

Вторинна напруга неробочого ходу, мінімально необхідна для збудження процесу стійкого оплавлення, В:

$$U_{20.min} = \sqrt{K_c \cdot 2Z''_{к.з} \cdot (1 + \cos j_{к.з}) \cdot Q_{m.on}} \quad (3.3)$$

де $Q_{т.оп}$ – середнє значення теплової потужності, яка розвивається на оплавлених торцях, Вт;

K_c – коефіцієнт стійкості оплавлення (на початку процесу $K_c \geq 3 \dots 5$, наприкінці оплавлення $K_c \geq 2 \dots 3$, причому більші значення відносяться до компактних перерізів, менші – до розвинених);

$Z''_{к.з}$ та $\cos j_{к.з}$ – відповідно приведений до вторинної обмотки опір, Ом, та коефіцієнт потужності силового кола при короткому замиканні торців деталей. У розрахунках можна наближено прийняти $Z''_{к.з} = (100 \dots 150) \times 10^{-6}$ Ом, $\cos j_{к.з} = 0,4 \dots 0,6$.

Для забезпечення безперервного процесу оплавлення вторинна напруга неробочого ходу трансформатора повинна складати:

$$U_{20} = (1 \dots 1,3) \cdot U_{20.min} \quad (3.4)$$

Зварювальний струм при оплавленні можна визначити з виразу:

$$I_{2on} \approx \frac{1,1 Q_{m.on}}{U_{20} \cdot a_{1on}}, \quad (3.5)$$

де a_{1on} – значення коефіцієнта потужності під час оплавлення. При стійкому безперервному оплавленні $a_{1on} \approx 0,7$.

Густина струму під час оплавлення можна визначити за формулою, А/мм²:

$$j = \frac{I_{2on}}{F} \quad (3.6)$$

Зусилля осадки, Н:

$$F_{oc} = p_{oc} \cdot F \quad (3.7)$$

де p_{oc} – тиск осадки, МПа (табл. 3.1).

Сумарну установчу довжину $2l_0$, величини припусків на оплавлення $\Delta_{опл}$ і осадку $\Delta_{ос}$ та час оплавлення $t_{опл}$ визначають за даними табл. 3.2 у залежності від форми та розмірів поперечного перерізу деталей.

Таблиця 4.2. До розрахунку параметрів режиму зварювання безперервним оплавленням

Діаметр d , мм	Параметр				Товщи на δ , мм	Параметр			
	$2l_0$, мм	$\Delta_{опл}$, мм	$\Delta_{ос}$, мм	$t_{опл}$, с		$2l_0$, мм	$\Delta_{опл}$, мм	$\Delta_{ос}$, мм	$t_{опл}$, с
5	8,5	2,5	1	1,5	1	11	4,4	1,6	1,8
6	10	3	1,2	1,8	2	21	8	3	4
8	14	4	1,6	2,5	3	29	11,2	4,3	6,3
10	17	5	2	3,3	4	38	14,7	5,3	9
15	25	8	3	6	5	45	16,7	6,3	12
20	34	10	3,5	9	6	50	18	7	16
35	60	15	5	25	8	60	22	8	25
50	80	20	8	40	10	66	23	9	34

Примітка. Величина припуску на осадку під струмом $\Delta_{ос.с} = (0,5...0,8) \cdot \Delta_{ос}$.

2. При зміні геометричних розмірів перерізу деталей для обчислення параметрів зварювання користуються критеріями подібності: $l_0, \Delta_{опл}, \Delta_{ос} \sim l, t_{опл} \sim l^2$ (1 -).

Зусилля затискання, Н:

$$F_{зат} = K_{зат} \cdot F_{oc} \quad (3.8)$$

де $K_{зат}$ – коефіцієнт затискання, визначають за табл. 3.3.

Таблиця 3.3. Значення коефіцієнту затискання

Зразки, що зварюються	$K_{ЗТ}$
Труби та прутки з низьковуглецевої сталі	1,5...2,0
Прутки з хромонікелевих нержавіючих сталей	2,2...3,0
Листовий прокат	2,3...3,2
Алюмінієві смуги	2,7
Алюмінієві смуги, якщо на губках є насічка	0,8...1,0

Примітка. При зварюванні короткомірних зразків у машинах, що обладнані упорами, які компенсують проковзування деталей при осадці, коефіцієнт затискання зменшується до 0,5.

Для попередньої оцінки необхідної потужності зварювального трансформатора опір між струмопідводами можна прийняти:

$$R_{ЕКВ} = R_{опл} \quad (3.9)$$

де $R_{опл}$ – опір оплавлення, який у разі зварювання сталевих деталей визначають наближено за формулою, Ом:

$$R_{опл} = \frac{c \cdot g \cdot T_{пл} \cdot F \cdot v_{опл}}{I_{2оп}^2} \quad (3.10)$$

де $v_{опл}$ – швидкість оплавлення, мм/с;

F – площа перерізу деталей, мм²;

$I_{2оп}$ – сила зварювального струму, А;

$c_{ТВ}$ – середня питома теплоємність зварюваного матеріалу у твердому стані, Дж/(мг·°С);

γ – щільність матеріалу, мг/мм³;

$T_{пл}$ – температура плавлення металлу, °С.

Зміст домашніх контрольних робіт

Варіант 1

1. Наведіть схему процесу холодного зварювання. Поясніть його фізичну сутність, опишіть технологію зварювання й дайте характеристику устаткування для стикового холодного зварювання, а також області її застосування.
2. Опишіть технологію точкового контактного зварювання деталей з нержавіючої сталі.
3. Дайте характеристику приводів стискання машин для контактного точкового, рельєфного й шовного зварювання.
4. Вирішіть задачу № 1, варіант А.

Варіант 2

1. Опишіть природу контактної опори. Проаналізуйте характер зміни опори зони зварювання і його складових у процесі контактної зварювання опором,
2. Опишіть технологію точкового контактної зварювання деталей з алюмінієвих і магнієвих сплавів.
3. Наведіть схеми й дайте характеристику приводів оплавлення й осадки машин для контактної стикового зварювання.
4. Вирішіть задачу № 2, варіант А.

Варіант 3

1. Наведіть схему процесу зварювання тертям. Поясніть його фізичну сутність, опишіть технологію зварювання й дайте характеристику устаткування для зварювання тертям. Вкажіть області застосування зварювання тертям.

2. Наведіть й охарактеризуйте рівняння теплового балансу при точковому контактному зварюванні.

3. опишіть технологію стикового зварювання оплавленням.

4. Вирішіть задачу № 3, варіант А.

Варіант 4

1. Наведіть схему процесу ультразвукового зварювання. Поясніть його фізичну сутність, опишіть технологію зварювання й дайте характеристику устаткування для ультразвукового зварювання, укажіть області його застосування,

2. опишіть технологію контактного точкового зварювання деталей з різними теплофізичними властивостями й деталей різної товщини.

3. Поясніть, як розраховують активний й індуктивний опори зварювального контуру.

4. Вирішіть задачу № 4, варіант Г.

Варіант 5

1. Наведіть схему процесу дифузійного зварювання. Поясніть його фізичну сутність, опишіть технологію зварювання й дайте характеристику устаткування для дифузійного зварювання, вкажіть області її застосування.

2. Поясніть, як відбувається формування з'єднання при точковому, шовному й рельєфному контактному зварюванні.

3. Опишіть конструктивні особливості трансформаторів машин контактного зварювання. Які вихідні дані необхідні для розрахунку трансформатора і як їх вибирають?

4. Вирішіть задачу №2 , варіант В.

Варіант 6

1. Наведіть схеми пресового дугоконтактного і термокомпресійного зварювання. Поясніть їхню фізичну сутність, техніку виконання зварювання й дайте характеристику устаткування. Укажіть області їхнього застосування.

2. Опишіть технологію стикового контактного зварювання деталей великих перерізів і способи інтенсифікації процесу оплавлення.

3. Призначення, умови роботи, матеріали, конструкція й правила експлуатації електродів і роликів контактних машин.

4. Вирішіть задачу № 3, варіант В.

Варіант 7

1. Наведіть схему процесу зварювання вибухом. Опишіть техніку його виконання й області застосування.
2. Наведіть ескізи з'єднань, одержуваних рельєфним зварюванням. Опишіть технологію зварювання й особливості устаткування.
3. Наведіть кінематичні схеми приводів машин для шовного контактного зварювання.
4. Вирішіть задачу № 1, варіант Г.

Варіант 8

1. Поясніть, як відбувається процес оплавлення при стиковому зварювання оплавленням.
2. Дефекти з'єднань при точковому й шовному контактному зварюванні, причини їхнього утворення й методи попередження.
3. Наведіть схему привода із слідкуючим золотником і опишіть його роботу. Коли застосовують такі приводи?
4. Вирішите завдання № 2, варіант Г.

Варіант 9

1. Опишіть методику розрахунку зварювального трансформатора контактної машини.
2. Дефекти з'єднань при стиковому контактному зварюванні, причини їх утворення й методи попередження.

3. Особливості експлуатації устаткування для контактного зварювання. Планово-попереджувальні ремонти, їх призначення й періодичність.

4. Вирішіть задачу № 2, варіант Д.

Варіант10

1. Опишіть методи контролю при контактному зварюванні.

2. Наведіть основні схеми одержання зварювального струму в контактних машинах, дайте їх характеристику й укажіть області застосування.

3. Як забезпечуються умови техніки безпеки в цехах з устаткуванням для зварювання тиском?

4. Вирішіть задачу № 2, варіант Д.

Задача № 1

Визначити параметри режиму точкового контактного зварювання листів однакової товщини (табл. 1). Визначити тип машини, що випускається серійно, для точкового зварювання зазначених деталей.

Таблиця 1

№ варіанту	Товщина одного листа, мм	Матеріал	Крок між точками, мм	Відстань від краю пластини, мм
А	1	Ст1кп	35	500
Б	1,5	ВТ5	45	450
В	2	12Х18Н9Т	50	600
Г	2,5	Сталь 45	60	550
Д	3	ВЖ98	65	350

Задача № 2

Визначити параметри режиму шовного контактного зварювання листів однакової товщини (табл. 2). Визначити тип машини, що випускається серійно, для шовного зварювання зазначених деталей.

Таблиця 2

№ варіанту	Товщина одного листа, мм	Матеріал	Крок між точками, мм	Відстань від краю пластини, мм
А	0,5	Ст1кп	12	280
Б	0,7	ВТ6С	8	340
В	0,8	12Х18Н9Т	9	500
Г	1,2	Сталь 45	21	450
Д	1,5	Ст3	18	320

Задача № 3

Визначити параметри режиму контактної стикового зварювання оплавленням стержнів однакового перерізу довжиною по 500 мм кожен (табл. 3). Визначити тип машини, що випускається серійно, для зварювання указаних деталей.

Таблиця 3

Варіант	А	Б	В	Г	Д
Діаметр стержня, мм	30	35	40	45	50
Матеріал	Ст1кп	Ст2кп	12Х18Н9Т	АД0	АМг6

ЗМІСТ

Вступ.....	3
Види індивідуальної роботи	5
Література	5
Методичні вказівки до вивчення дисципліни.....	7
Тема 1. ВСТУП ДО ДИСЦИПЛІНИ.....	7
Тема 2. ТЕОРІЯ КОНТАКТНОГО ЗВАРЮВАННЯ ОПОРОМ.....	9
Тема 3. ТЕХНОЛОГІЯ КОНТАКТНОГО ЗВАРЮВАННЯ ОПОРОМ	13
Тема 4. УСТАТКУВАННЯ ДЛЯ КОНТАКТНОГО ЗВАРЮВАННЯ ОПОРОМ.....	16
Тема 5. ТЕОРІЯ СТИКОВОГО КОНТАКТНОГО ЗВАРЮВАННЯ ОПЛАВЛЕННЯМ	21
Тема 6. ТЕХНОЛОГІЯ СТИКОВОГО КОНТАКТНОГО ЗВАРЮВАННЯ ОПЛАВЛЕННЯМ	23
Тема 7. УСТАТКУВАННЯ ДЛЯ СТИКОВОГО КОНТАКТНОГО ЗВАРЮВАННЯ ОПЛАВЛЕННЯМ	25
Тема 8. ІНШІ СПОСОБИ ЗВАРЮВАННЯ ТИСКОМ.....	27
Тема 9. ЗАГАЛЬНІ ПИТАННЯ ПО ЗВАРЮВАННЮ ТИСКОМ	30
Індивідуальні завдання.....	31
Методичні вказівки.....	31
Методичні вказівки до виконання розрахункової частини домашньої контрольної роботи.....	32
Зміст домашніх контрольних робіт.....	53