

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Національний аерокосмічний університет ім. М. Є. Жуковського
«Харківський авіаційний інститут»

О. К. Горлов, Є. П. Рогачов, О. В. Келеберда

ЗВАРЮВАННЯ ПЛАСТИЧНИМ ДЕФОРМУВАННЯМ

Навчальний посібник

Харків «ХАІ» 2021

УДК 621.791:539.374(076.5)
Г69

Рецензенти: д-р техн. наук, проф. В. В. Воронько,
М. О. Лисих

Горлов, О. К.

Г69 Зварювання пластичним деформуванням [Текст] : навч. посіб. /
О. К. Горлов, Є. П. Рогачов, О. В. Келеберда. – Харків : Нац. аерокосм.
ун-т ім. М. Є. Жуковського «Харків. авіац. ін-т», 2021. – 104 с.

ISBN 978-966-662-815-5

Описано різні способи зварювання пластичним деформуванням (контактне й холодне), принципи роботи й технічні характеристики обладнання для точкового, стикового й шовного зварювання. Особливу увагу приділено деформаційним, термодезформаційним, металургійним, тепловим та іншим процесам при утворенні з'єднань. Розглянуто специфіку зварювання авіаційних металів.

Для студентів механічних спеціальностей при проведенні практичних занять у лабораторії та самостійному вивченні відповідних розділів курсів «Зварювання в авіації», «Технологія конструкційних матеріалів», «Фізико-хімічні основи технологічних процесів».

Іл. 41. Табл. 13. Бібліогр.: 10 назв

УДК 621.791:539.374(076.5)

ISBN 978-966-662-815-5

© Горлов О. К., Рогачов Є. П.,
Келеберда О. В., 2021
© Національний аерокосмічний
університет ім. М. Є. Жуковського
«Харківський авіаційний інститут», 2021

ВСТУП

Зварювання є одним з найбільш досконалих, економічно вигідних, високопродуктивних і значною мірою механізованих технологічних процесів отримання нерознімних з'єднань. Зварювання набуло широкого застосування у всіх галузях промисловості як окремий процес при виготовленні складних просторових конструкцій, а також у поєднанні з обробленням металів тиском, литтям, різанням. Без зварювання є неможливим виробництво літаків, ракет, автомобілів, кораблів, котлів турбін реакторів та інших конструкцій. Найбільш відповідальні цивільні й військові машини та інженерні споруди створюються із застосуванням зварювання.

Сучасний рівень науки й техніки дає змогу надійно з'єднувати деталі різної товщини й конфігурації з широкої номенклатури матеріалів.

Останніми роками значно підвищився інтерес до процесу з'єднання матеріалів пластичним деформуванням. Сьогодні цим способом отримують надійне з'єднання деталей з однорідних і різнорідних матеріалів – сталей, жароміцних і тугоплавких сплавів, кераміки, сплавів на основі титану тощо.

Зварювання пластичним деформуванням успішно конкурує з традиційними видами зварювання і в багатьох випадках замінює паяння, механоскладання й механооброблення. Зварювання пластичним деформуванням застосовують у виробництві різних елементів конструкцій літака зі сплавів на основі титану та нікелю (рам обтічників крила, нервюр центроплана крила, балок кріплення гондол двигунів і т. ін.), а також у двигунобудуванні (зварюються диски вентилятора, корпус камер згоряння, лопатки газових турбін тощо).

При будь-яких способах зварювання пластичним деформуванням з'єднання утворюються внаслідок деформаційного або термодформаційного впливу на поверхню в зоні контакту матеріалів, що з'єднуються.

Найбільш поширеним видом зварювання пластичним деформуванням є електроконтактне зварювання. Процес утворення з'єднання елементів деталі здійснюється шляхом нагрівання їх струмом, що проходить крізь деталі, і пластичним деформуванням металу в місці контакту.

Масштаби застосування електроконтактного зварювання надзвичайно великі – від великогабаритних космічних апаратів до мініатюрних напівпровідникових пристроїв і плівкових мікросхем. Близько 30 % усіх зварних з'єднань виконуються різними способами контактного зварювання. В абсолютних цифрах обсяг зварних робіт на цільнометалевому винищувачі характеризується такими даними: точкове зварювання – 1 400 000 точок (~15 000 м швів); шовне зварювання – 1 300 м.

Контактним зварюванням можна успішно з'єднувати практично всі відомі конструкційні матеріали – низьковуглецеві й леговані сталі, жароміцні й корозійностійкі сплави, сплави на основі алюмінію, магнію й титану та ін.

Точкове зварювання – найпоширеніший спосіб, на частку якого припадає близько 80 % усіх з'єднань, що виконуються контактним зварюванням. Цей спосіб зварювання широко використовується в автомобіле- і вагонобудуванні, будівництві, радіоелектроніці тощо. Наприклад, у конструкціях сучасних лайнерів налічується кілька мільйонів зварних точок, кузов сучасного легкового автомобіля зварено більш ніж у 10 000 точок, сучасний пасажирський вагон – цільнозварна конструкція, яку зварено в 30 000 точок. Діапазон товщин, що зварюються, – від декількох мікрометрів до 10...30 мм.

Стикове зварювання оплавленням успішно застосовується при з'єднанні трубопроводів, залізничних рейок (безстиківі колії) у стаціонарних і польових умовах, довгомірних заготовок, ободів автомобільних коліс із різних конструкційних сталей і сплавів, латуні й кольорових металів та ін. Стикове зварювання оплавленням забезпечує економію легованої сталі при виробництві різального інструменту. Наприклад, робоча частина свердла з інструментальної сталі зварюється із хвостовою частиною зі звичайної сталі.

Стикове зварювання опором використовується досить обмежено, оскільки не вдається забезпечити рівномірне нагрівання стику й одержати з'єднання по всій поверхні контакту через труднощі видалення оксидних плівок. Цей спосіб застосовують в основному при з'єднанні дроту, стрижнів і труб з низьковуглецевої сталі з відносно малими діаметрами.

Частка стикового зварювання, переважно зварювання оплавленням, становить близько 10 % загального обсягу застосування контактного зварювання.

Шовне зварювання за обсягом застосування посідає третє місце (близько 7 %) і використовується при виготовленні різних герметичних посудин, наприклад паливних баків автомобілів і літальних апаратів, баків пральних машин і шаф холодильників, плоских опалювальних радіаторів і т. ін. Швидкість зварювання швів на окремих установках може становити 10 м/хв, а щільність з'єднань забезпечує високу надійність роботи зварних конструкцій в умовах дуже низького вакууму або досить великих тисків робочого середовища.

Рельсфне зварювання – найменш поширений спосіб контактного зварювання (обсяг застосування – близько 3 %), що використовується для кріплення кронштейнів до листових деталей, наприклад скоби до капота автомобіля, петлі для навішення дверей до кабіни і т. д., для з'єднання кріпильних деталей – болтів, гайок і шпильок, для кріплення дроту до тонких деталей у радіоелектроніці та ін. Рельсфне зварювання по безперервних рельєфах також дає можливість одержувати герметичні з'єднання.

Зварювання в твердому стані значно розширює область застосування зварних конструкцій. Утворення металевих зв'язків у твердому стані металу відбувається внаслідок сумісного пластичного деформування.

Холодне зварювання використовується для зварювання проводів і шин внапусток і встик, для зварювання алюмінієвої оболонки кабелів, при армуванні алюмінієвих струмопровідних шин міддю, зварювання корпусів напівпровідникових приладів, при виготовленні різного роду каркасів, конденсаторів, трубчастих панелей (наприклад, при виготовленні випарників холодильників), при виготовленні таврових з'єднань (ребра радіаторів напівпровідникових приладів), при герметизації корпусів різних виробів.

Зварювання тертям широко застосовується в провідних галузях промисловості: аерокосмічній (компоненти авіаційних газотурбінних двигунів, біметалеві перехідники паливних систем ракет), інструментальній (металообробний інструмент), автомобілебудуванні (клапани й вали роторів турбокомпресорів двигунів, циліндри гідросистем, картери задніх мостів, карданні вали, осі, реактивні штанги), тракторобудуванні (вали, катки, траки, деталі керування), нафтовидобуванні (бурові штанги й труби), електротехніці (мідно-алюмінієві перехідники, деталі високовольтної апаратури).

Зварювання тертям з перемішуванням (ЗТП) застосовується в основному для з'єднання матеріалів з порівняно низькою температурою плавлення, насамперед алюмінієвих і магнієвих сплавів, рідше мідних, нікелевих і титанових сплавів, а також сталей, для стикових і напусткових швів, можна також отримувати кутові, таврові, точкові шви.

Ця технологія є промислово освоєною й широко застосовується великими фірмами SAPA (Швеція, Фінляндія), Marine Aluminium (Норвегія), BOEING, BAE System, Lockheed-Martin Laboratories, Reynolds Aluminium (США) та ін.) у таких галузях, як авіапромисловість, ракетно-космічна техніка (виготовлення паливних баків космічних ракет, панелей), суднобудування (виготовлення корпусів морських суден, підводних човнів і різних посудин), мостобудування (виготовлення фрагментів мостів з високоміцних алюмінієвих сплавів), вагоно- та автомобілебудування.

Ультразвукове зварювання (УЗЗ) застосовується в приладобудуванні, радіоелектроніці, авіаційній промисловості. УЗЗ використовують при зварюванні чистого й надчистого алюмінію, міді, срібла, більшості відомих термопластичних полімерів, а також для зварювання заготовок з істотним перепадом товщини (1/100) і різними властивостями (наприклад, найтонша металева фольга зі склом і керамікою).

Зварювання вибухом застосовується:

- для виготовлення волокнистих композиційних заготовок з необмеженою кількістю шарів матриці й волокон у вигляді плоских листів і циліндричних обичайок з металів і сплавів у будь-якому поєднанні;
- для виготовлення оригінальних типів зварних з'єднань між елементами конструкцій з однорідних і різнорідних матеріалів;
- для облицювання заготовок деталей машин металами і сплавами;
- для нанесення порошкових покриттів на металеві поверхні.

1. ВИДИ ЗВАРЮВАННЯ ПЛАСТИЧНИМ ДЕФОРМУВАННЯМ

Зварювання – це процес одержання нерознімних з'єднань з допомогою встановлення міжатомних зв'язків між зварюваними елементами при їх нагріванні або пластичному деформуванні або спільній дії того й іншого (ГОСТ 2601–74).

У ГОСТ 19521–74 встановлено класифікацію видів зварювання за такими ознаками:

– фізичні (форма енергії, що використовується для утворення з'єднання, визначає клас зварювання; вид джерела енергії, який безпосередньо застосовується для утворення зварного з'єднання, визначає вид зварювання);

– технічні (спосіб захисту металу в зоні зварювання, безперервність процесу, ступінь механізації процесів зварювання);

– технологічні – для кожного виду зварювання ознаки встановлено окремо.

За фізичними ознаками всі види зварювання поділяють на три класи: термічне, термомеханічне й механічне зварювання (рис. 1.1).

За природою утворення з'єднання різні способи зварювання можна поділити на дві групи: плавленням і тиском (у твердому стані).

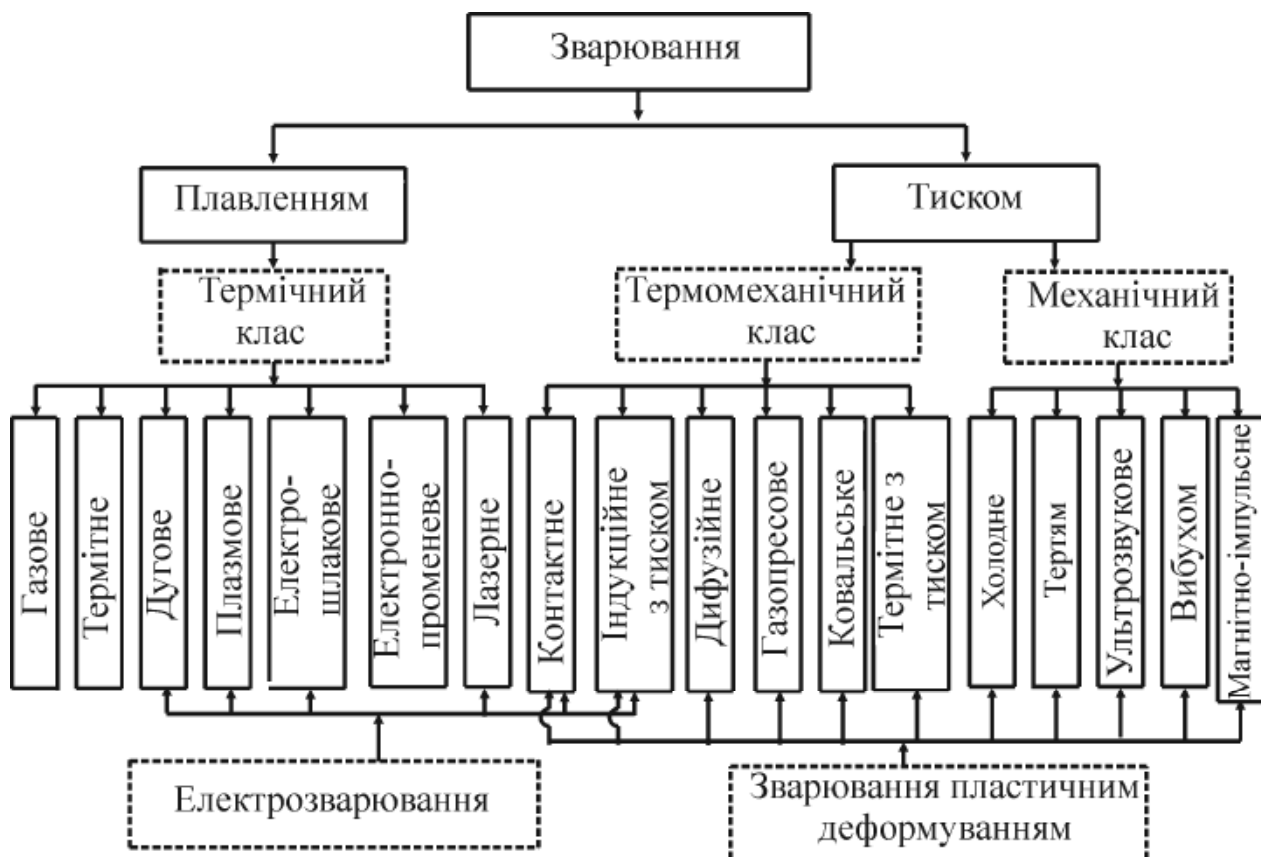


Рис. 1.1. Класифікація видів зварювання

Існує багато схем технологічного процесу з'єднання металів у твердому стані, які розрізняються за видом напруженого й температурного стану, що створюється у з'єднуваних деталях; за схемою деформування, а також за характером захисного середовища й способами нагрівання і стискання.

При будь-яких способах зварювання у твердому стані з'єднання утворюється внаслідок деформаційного або термдеформаційного впливу на матеріали з'єднуваних деталей в зоні контакту. Незалежно від характеру й інтенсивності цього впливу природа утворення з'єднання єдина. Відмінності полягають у кінетиці проходження окремих стадій процесу, що визначається умовами нагрівання, характером та інтенсивністю деформації матеріалів, ступенем локалізації деформації та особливостями розвитку релаксаційних процесів у приконтактній зоні.

Відповідно до джерела нагрівання поверхні заготовок або джерела тиску розрізняють такі способи зварювання:

- **електричне зварювання тиском** – розігрівання з використанням тепла електричного струму в місці контакту (контактне зварювання);

- **індукційне зварювання** – розігрівання внаслідок електромагнітної й високочастотної індукції;

- **дифузійне зварювання** – зварювання без пластичного деформування завдяки стисканню й нагріванню заготовок (перехід атомів через поверхню дотику заготовок у межах кількох шарів кристалічних ґрат);

- **ковальське зварювання** – нагрівання в електричній або газовій печі або в горні;

- **газопресове зварювання** – нагрівання з використанням теплоти, що виділяється при згорянні газів (температура нагрівання багатополумєневими пальниками близька до температури плавлення) і стиснення осьовою силою;

- **термітне з тиском**, при якому для нагрівання металу використовується терміт, що являє собою порошкоподібну суміш металевого алюмінію або магнію і залізної окалини;

- **холодне зварювання** – зварювання при кімнатній температурі і для більшості матеріалів нижче температури рекристалізації зі значною об'ємною пластичною деформацією і малим ступенем її локалізації в зоні контакту з'єднуваних матеріалів;

- **зварювання тертям** – нагрівання внаслідок механічної роботи – тертя між з'єднуваними частинами;

- **ультразвукове** – розігрівання внаслідок механічної роботи тертя при ультразвукових коливаннях (здійснюється в мікрооб'ємах);

- **зварювання вибухом** – з'єднання плоских поверхонь металевих заготовок унаслідок їх співудару під час вибуху заряду вибухової речовини, розташованого на поверхні однієї зі зварюваних деталей.

2. КОНТАКТНЕ ЗВАРЮВАННЯ

2.1. Види контактного зварювання

Контактне зварювання – це зварювання із застосуванням тиску, причому нагрівання здійснюється теплом, що виділяється при проходженні електричного струму через з'єднані частини, які перебувають у контакті (ГОСТ 2601–74).

З'єднання деталей при цьому відбувається внаслідок утворення зв'язків між атомними агрегатами в зоні їх контакту.

Контактне зварювання дуже широко застосовується в промисловому виробництві, що обумовлено такими його перевагами:

- високою продуктивністю, що визначається можливістю вести процес зі споживанням великої електричної потужності;
- широкою можливістю автоматизації складально-зварювальних робіт, що дає змогу порівняно просто вбудовувати машини контактного зварювання (або зварювальну частину машини) у потокові складально-зварювальні лінії;
- високою і стабільною якістю зварювання, що практично не залежить від кваліфікації зварника;
- відсутністю потреби у спеціальних технологічних матеріалах (присадний дріт, флюси, газу тощо);
- відносно високою культурою виробництва й сприятливими умовами праці.

Усі способи контактного зварювання ґрунтуються на генеруванні тепла Джоуля під час проходження електричного струму між електродами зварювальної машини в металі деталей (до температури плавлення або температури пластичного стану) і на контактних опорах електрод – деталь і деталь – деталь і пластичному деформуванні нагрітого металу. Нагрівання й деформування забезпечують зближення контактних поверхонь деталей на відстань, достатню для виникнення нерозривних міжатомних металевих зв'язків.

Контактне зварювання класифікують (рис. 2.1, 2.2) таким чином:

- за технологічним способом отримання з'єднання – точкове (рис. 2.1, а), шовне (рис. 2.2, б), стикове (рис. 2.2, в), рельєфне (рис. 2.2, г), за методом Ігнатьєва (рис. 2.2, д);
- за конструкцією з'єднання – внапусток (рис. 2.2, а, б, в) або стикове (рис. 2.2, г);
- за станом металу в зоні зварювання – з розплавленням металу і без розплавлення;
- за способом підведення струму – одно- і двостороннє;
- за родом зварювального струму та формою імпульсу струму – постійним, змінним (промислової, збільшеної або зменшеної частоти), струмом уніполярним (струмом однієї полярності зі змінною силою в імпульсі);

- за кількістю з'єднань, що виконуються одночасно, – одноточкове, багатоточкове, зварювання одним або декількома швами;
- за наявністю додаткових сполучних компонентів (клею, ґрунту, припою тощо);
- за характером переміщення роликів при шовному зварюванні – безперервне (з постійним обертанням роликів) або шагове (із зупинкою роликів на термін зварювання).

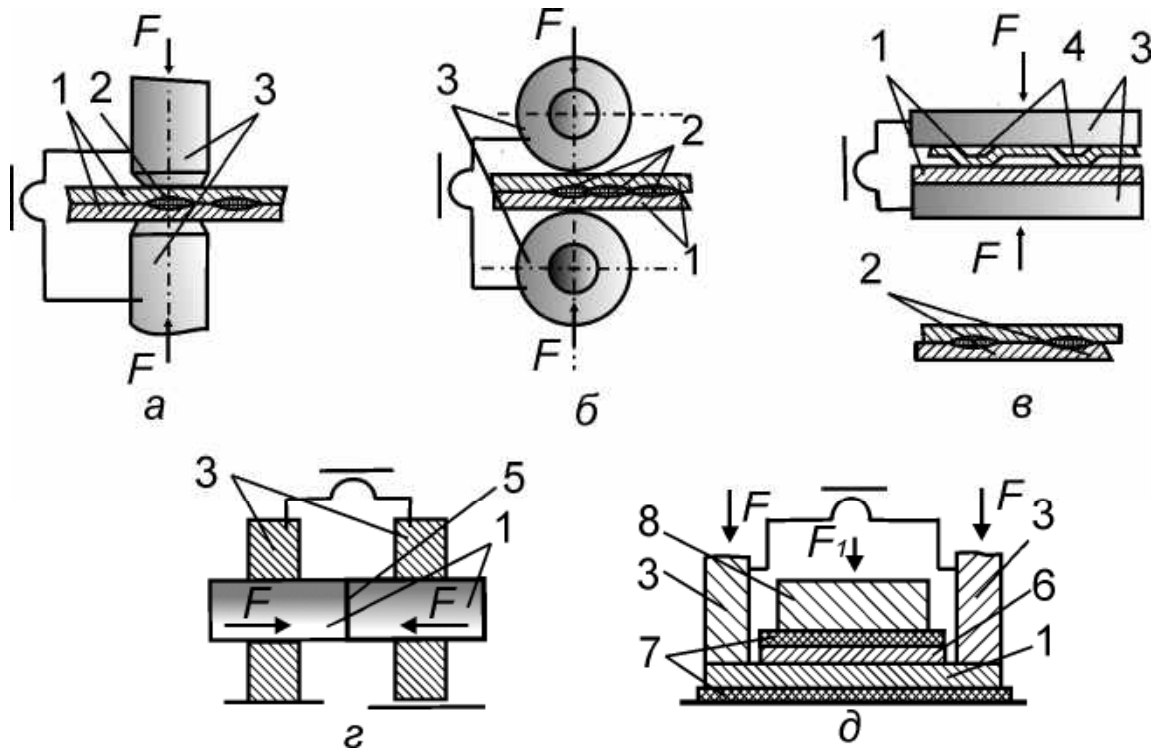


Рис. 2.1. Основні способи контактного зварювання:
 а – точкове; б – шовне; в – рельєфне; г – стикове;
 д – за методом Ігнат'єва (пресове)

Точкове зварювання – спосіб контактної зварювання, при якому деталі зварюються по окремих обмежених ділянках контакту (по кількох точках).

При точковому зварюванні (рис. 2.1, а) деталі 1 складають внапусток, стискають електродами 3 (зусилля F), до яких підімкнено джерело електричної енергії (наприклад, зварювальний трансформатор). При короткотривалому проходженні зварювального струму деталі нагріваються до утворення зони взаємного розплавлення деталей, яке називається ядром 2. Нагрівання зони зварювання супроводжується пластичним деформуванням металу в зоні контакту деталей (навколо ядра), де утворюється ущільнювальний пояс, що надійно захищає рідкий метал від випліскування й навколишнього повітря.

Після вимкнення струму розплавлений метал ядра швидко кристалізується, унаслідок чого утворюються металеві зв'язки між з'єднаними деталями. Утворення з'єднання при точковому зварюванні відбувається з розплавленням металу.

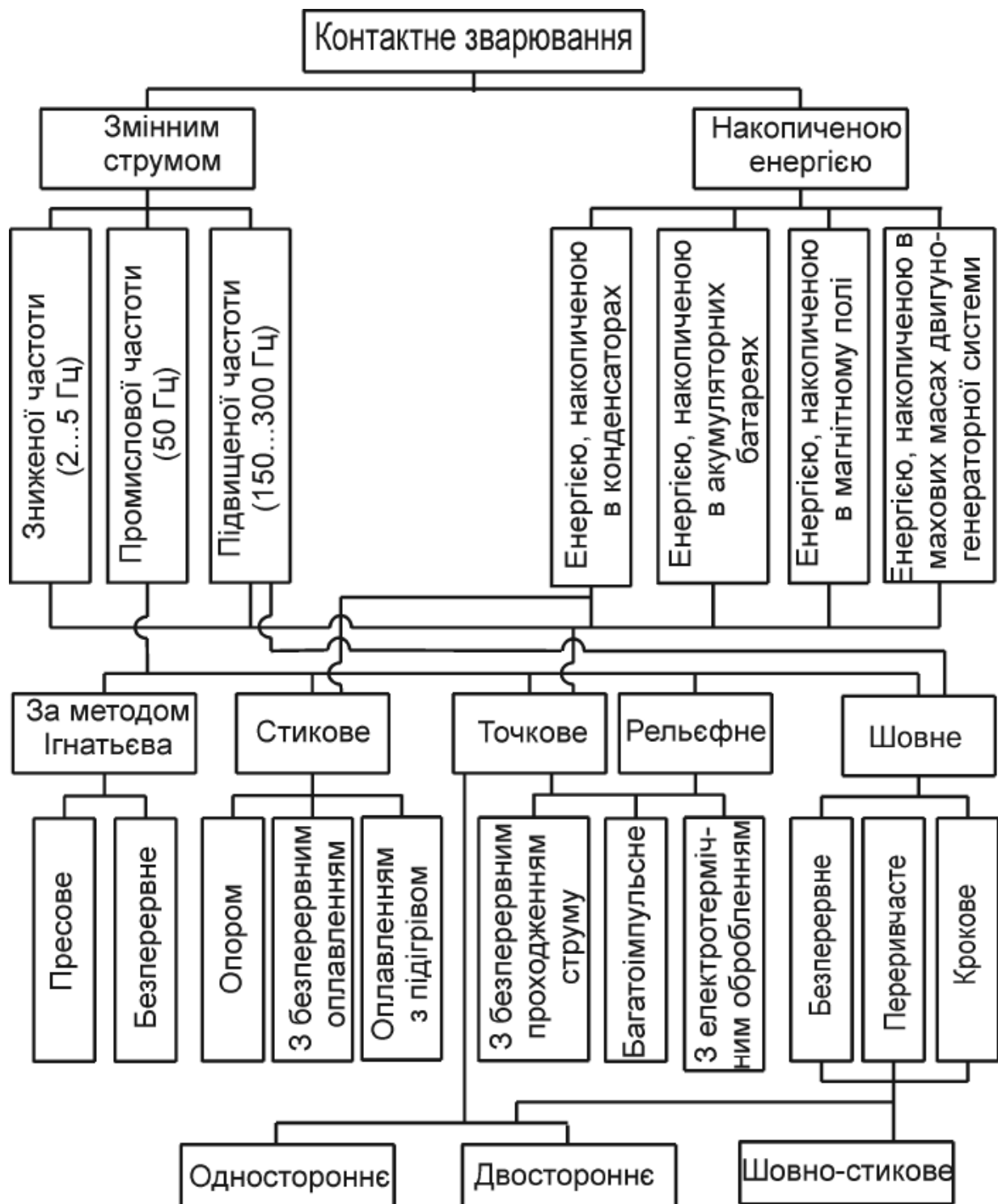


Рис. 2.2. Класифікація видів контактного зварювання

Нагрівання при точковому зварюванні здійснюють імпульсами змінного струму промислової частоти 50 Гц (рідше підвищеної частоти 1000 Гц), а також імпульсами постійного або уніполярного струму.

За способом підведення струму до деталей, що зварюються, розрізняють двостороннє й одностороннє зварювання (рис. 2.3).

У промисловості найбільш поширеним є точкове зварювання з під-

веденням струму з обох боків деталей – односточкове зварювання.

У важкодоступних місцях або за необхідності підвищення продуктивності праці використовується схема з підведенням струму до деталей з одного боку від одного або декількох трансформаторів. Це дво- або багаточочкове зварювання. Для підвищення густини струму в зоні зварювання (рис. 2.3) при односторонньому підведенні струму деталі розміщують на мідних струмопровідних підкладках.

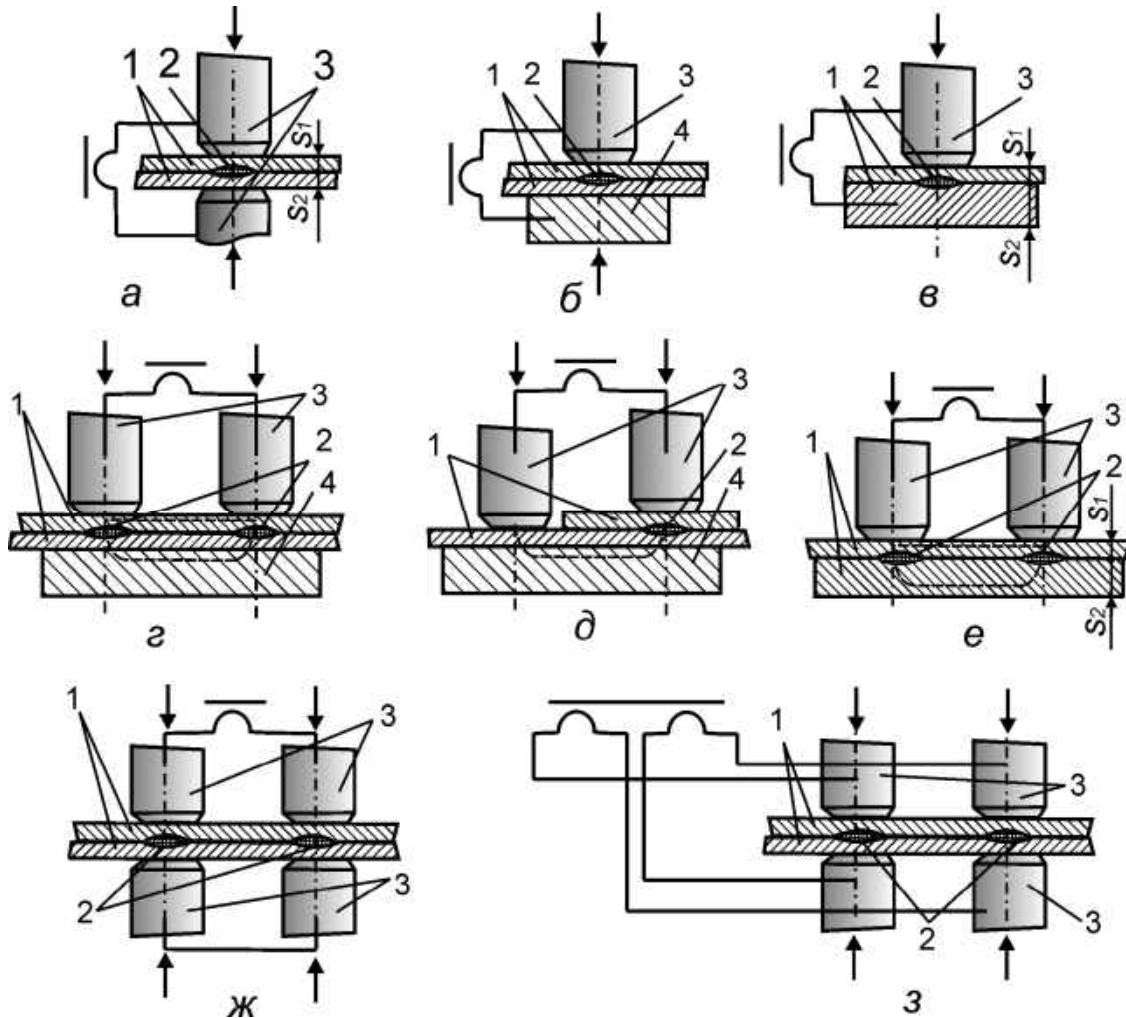


Рис. 2.3. Способи контактного точкового зварювання: а – двостороннє односточкове; б, в – одностороннє односточкове; г, д, е – одностороннє двоточкове; ж, з – двостороннє двоточкове; 1 – деталі, що зварюються, 2 – зварні точки, 3 – електроди, 4 – підкладка

Іноді при точковому зварюванні застосовують комбіновані з'єднання (клеєзварні й зварнопаяні). Клей і припій уводять внапусток для підвищення міцності й корозійної стійкості з'єднань.

Шовне зварювання – спосіб одержання герметичного з'єднання (шва) шляхом утворення ряду точок, що перекриваються.

Відомі деякі різновиди шовного зварювання – двостороннє, односто-

ронне, багатошовне (одночасне зварювання декількох швів на одній машині), шовно-стикове (рис. 2.4).

Підведення струму й переміщення деталей здійснюється з допомогою обертових дискових електродів – роликів 3 (рис. 2.1, б). Як і при точковому зварюванні, деталі 1 складаються внапусток і нагріваються короткочасними імпульсами зварювального струму. Перекриття точок 2 досягається відповідним вибором паузи між імпульсами струму й швидкістю обертання роликів.

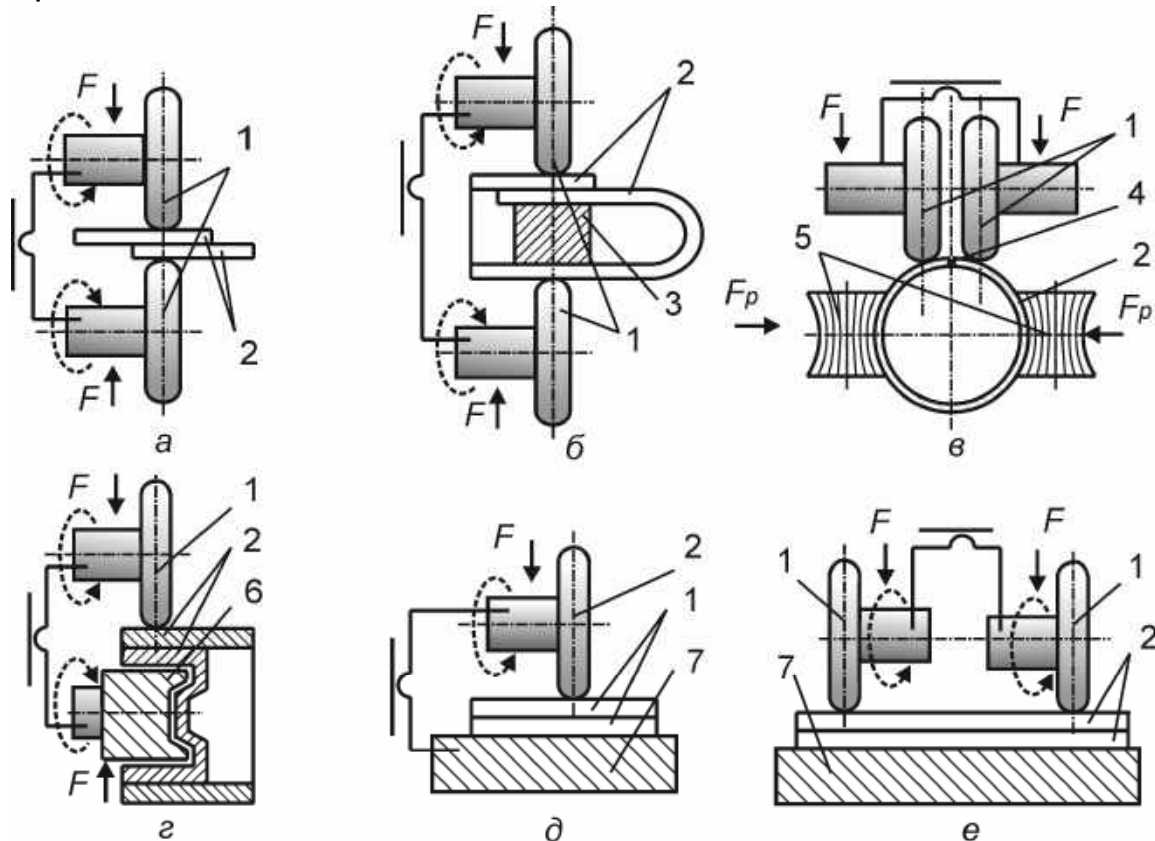


Рис. 2.4. Види шовного зварювання: а – двостороннє двома роликми, б – двостороннє двома роликми зі вставкою, в – шовно-стикове, г – двостороннє з оправкою, д – одностороннє, е – одностороннє двошовне; 1 – ролики, 2 – деталі, що зварюються, 3 – вставка, 4 – стик, 5 – формувальні ролики, 6 – електрод-оправка, 7 – мідна шина

Залежно від того, обертаються ролики безупинно при зварюванні шва чи зупиняються на час проходження зварювального струму, розрізняють безперервне й крокове зварювання.

Відомі деякі різновиди шовного зварювання – двостороннє, одностороннє, багатошовне (одночасно декілька швів на одній машині), шовно-стикове.

Рельєфне зварювання – один із різновидів точкового зварювання. При цьому на поверхні однієї з деталей попередньо формується виступ – рельєф, унаслідок чого при зварюванні в цій зоні підвищуються густина струму і швидкість тепловиділення. При нагріванні рельєф поступово де-

формується і на певній стадії процесу зварювання формується ядро 2, як при звичайному точковому зварюванні. Часто на поверхні деталі виконують кілька рельєфів або один протяжний виступ замкненої форми, наприклад у вигляді кільця. Після проходження зварювального струму одержують одночасно кілька точок або безперервний щільний шов (контурне рельєфне зварювання).

Стикове зварювання – спосіб контактного зварювання, коли деталі з'єднуються по всій площі дотику (по всьому перерізу 5). Деталі 1 (див. рис. 2.1, а) закріплюють у затискачах 3, що підводять струм, один із яких рухомий і з'єднаний із приводом зусилля стискання машини. За ступенем нагрівання металу торців деталей розрізняють стикове зварювання опором та оплавленням.

При стиковому зварюванні опором деталі 1 попередньо стискають зусиллям F , а потім вмикають у мережу зварювальний трансформатор. По деталях проходить зварювальний струм і відбувається поступове нагрівання стику деталей до температури, близької до температури плавлення. Потім зварювальний струм вимикають і різко збільшують зусилля осаджування деталей, які деформуються в стику. При цьому із зони зварювання частково видавлюються поверхневі плівки, формується фізичний контакт і утворюється з'єднання.

При стиковому зварюванні оплавленням спочатку на деталі подають напругу від зварювального трансформатора, а потім їх зближують. Під час зіткнення деталей в окремих контактах унаслідок великої густини струму метал контактів швидко нагрівається й вибухово руйнується. Нагрівання торців деталей відбувається внаслідок безперервного утворення й руйнування контактів – перемичок, оплавлення торців. До завершення процесу на торцях утворюються суцільні шари рідкого металу. У цей момент різко збільшують швидкість зближення і зусилля осаджування деталей; торці замикаються, більша частина рідкого металу разом з поверхневими плівками і частиною твердого металу видавлюється із зони зварювання, утворюючи стовщення – облой.

Стикове зварювання як опором, так і оплавленням за станом металу в зоні зварювання відносять до зварювання у твердому стані, хоча в окремих випадках, особливо при стиковому зварюванні оплавленням деталей великих перерізів, стикове з'єднання формується у твердо-рідинній фазі.

Зварювання за методом Ігнат'єва (див. рис. 2.1, б) – зварювання, при якому електричний струм, що нагріває деталі, які зварюються, проходить не перпендикулярно до площини з'єднання, а паралельно до неї. При пресовому зварюванні за цим методом заготовку 6 з інструментальної сталі кладуть на заготовку 1 з маловуглецевої сталі, до якої струм від трансформатора підводиться електродами 3, притиснутими зусиллями F .

Струм проходить рівномірно по всьому перерізу деталей і розігріває

їх. Після закінчення нагрівання деталі стискаються зусиллям F_1 пуансона 8 і зварюються. Щоб уникнути шунтування струму, під пуансоном і нижньою пластиною укладають ізолювальні прокладки 7.

2.2. Джерела тепла при зварюванні

Нагрівання при контактному зварюванні є основним процесом у формуванні температурного поля й утворенні з'єднання.

Загальна кількість теплоти Q , що виділяється в процесі зварювання між електродами завдяки електричному опору відповідно до закону Джоуля – Ленца, визначається як

$$Q = IU t_{зв} = I^2 r_{ee} t_{зв} ,$$

де I – струм, що проходить через деталі; U – напруга джерела живлення; r_{ee} – опір ділянки між електродами; $t_{зв}$ – час проходження струму через деталі, що зварюються.

У цілому опір зони зварювання від одного електрода до іншого можна поділити таким чином:

$$r_{ee} = r_{ед1} + r_{д1} + r_{д1д2} + r_{д2} + r_{ед2} ,$$

де $r_{ед1}, r_{ед2}$ – перехідний опір від електрода до деталі; $r_{д1}, r_{д2}$ – опір стовпчика деталей, що зварюються; $r_{д1д2}$ – перехідний опір від однієї деталі до іншої.

Слід зазначити, що основна теплова енергія виділяється (крім мікрозварювання) на опорі $r_{д1}, r_{ед}$, для випадку зварювання двох однакових деталей $2r_d$ (рис. 2.5).

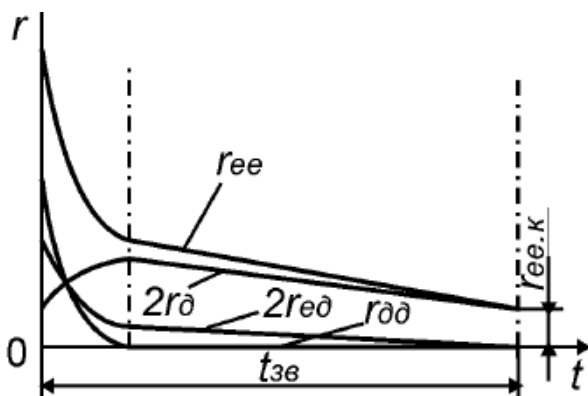


Рис. 2.5. Кінетика змін електричного опору при точковому зварюванні

Перехідний контактний опір $r_{д1д2}$ суттєво впливає на процес зварювання й залежить від багатьох факторів, у тому числі й від фізичних властивостей металу, стану поверхні деталей у місці їх контакту, тиску на електродах та їх форми. Однією з умов отримання якісного зварного з'єднання є стабільна підготовка поверхні деталей.

Для зменшення $r_{ед1}, r_{ед2}$ електроди або затискачі виготовляють із металів, які добре проводять електричний струм. При відповідній підготовці поверхні електродів і деталей і правильному виборі режиму зварювання перехідні опори на теплоутворення впливають мало (залежно від товщини матеріалу й зусилля стиснення втрати Q для точкового та шовного

зварювання становлять 3...7 %, для стикового зварювання опором – 10...15 %).

Для реальних металів опір r_{ee} зазвичай є невеликим (одиниці-десятки мікроомів), час $t_{зв}$ також не можна вибирати великим через можливість одержання рівноважного стану за тепловкладенням. Унаслідок цього для виділення достатньої кількості енергії при контактному зварюванні необхідно застосовувати значні струми I .

Електроконтактне зварювання здійснюється в разі плавлення металу в умовах тиску. Найважливішими процесами, які забезпечують міцність зварного з'єднання, є:

- плавлення й подальша кристалізація металу;
- стиснення металу при нагріванні й охолодженні (плавленні, кристалізації та рекристалізації);
- нагрівання й охолодження металу в зоні термічного впливу (ЗТВ).

Усі три процеси є взаємозв'язаними. Перші два в основному визначають форму, розмір, структуру і властивості металу шва, а третій – структуру і властивості металу ЗТВ.

Режим нагрівання й стиснення залежить від фізико-хімічних властивостей металу, що зварюється. Об'єм зони нагрівання й розплавлення визначається миттєвим температурним полем, яке є функцією неперервно змінного поля електричного струму й тепловіддачі.

Одночасно з виділенням тепла в деталях, що зварюються, відбувається відведення тепла в електроди або затискачі, які виготовляються з матеріалу високої теплопровідності й охолоджуються водою. Тому найбільше нагрівається середина стовпчика металу, де він може розплавитися.

Технологічні властивості машин контактного зварювання відображаються такими показниками:

- діапазон отримуваних зварювальних струмів, зусилля стиснення, швидкість обертання роликів та інші показники, а також наявність циклограм змінення цих показників у часі;
- розміри робочого простору машини (виліт, розхил, переріз консолей), пов'язані з розмірами й конфігурацією вузлів, які можна виготовляти на цій машині;
- стабільність дотримання заданої циклограми зварювання.

Слід ураховувати також й інші показники: продуктивність, електричну ефективність, розміри й масу машини, наявність контрольно-інформативної апаратури та ін.

2.3. Машини для контактного зварювання

Машини для контактного зварювання класифікують за різними ознаками:

- за типом з'єднання під час зварювання – точкові, рельєфні, шовні та стикові;

- за призначенням – універсальні, загального призначення і спеціальні;
- за конструктивними особливостями – стаціонарні та підвісні радіального й пресового типу, з окремими або вмонтованими трансформаторами;
- за родом живлення, перетворення або акумулювання енергії – однофазні змінного струму, трифазні низькочастотні, з випрямленням струму у вторинному контурі, конденсаторні;
- за видом приводу в механізмах тиску – з ручним, вантажним, пружинним, пневматичним, гідравлічним електромагнітним, інколи з іншими типами приводів;
- за ступенем автоматизації – автоматичні, напіваавтоматичні та неавтоматичні.

Класифікацію можна продовжити і за кожним типом машин для різних видів зварювання

Для точкового зварювання застосовуються різні типи машин: змінного струму, низькочастотні, постійного струму, конденсаторні.

Машини змінного струму є найбільш пристосованими для зварювання сталей і титанових сплавів, простішими й дешевшими за інші машини.

У зв'язку з великими швидкостями наростання струму зварювання високоміцних і жароміцних сплавів (особливо з товщиною менше 0,8 мм) зварювання на таких машинах характеризується вибрикуваннями й нестабільністю розмірів точок. Зварювання легких сплавів є занадто енергоємним і характеризується інтенсивним забрудненням поверхонь деталей і електродів у зв'язку з переходом металу електродів на поверхню виробу і навпаки.

Машини змінного струму мають також великі втрати потужності на індуктивному опорі вторинного контуру зварювального трансформатора. При короткому замиканні електродів

$$I_2 = \frac{U_2}{Z_m} = \frac{U_2}{\sqrt{R_m^2 + X_m^2}},$$

де U_2 – напруга холостого ходу на електродах; Z_m – повний опір машини при короткому замиканні; R_m – активний опір машини, у тому числі всіх елементів вторинного контуру; X_m – індуктивний опір машини, у тому числі елементів вторинного контуру.

При зварюванні деталей

$$Z_m = \sqrt{(R_d + R_{ee})^2 + X_m^2},$$

де R_{ee} – опір у зоні зварювання на ділянці електрод – електрод.

Складова частина X_m – індуктивний опір вторинного контуру

$$X_k = 2\pi f L_k,$$

де f – промислова частота змінного струму; L_k – індуктивність вторинного контуру, яка залежить від площі вторинного контуру

$$F_K = W_K h_K .$$

Тут h_K – висота контуру (розхил консолей машини); W_K – довжина контуру (виліт електродів – відстань від корпусу машини до осі електродів). Зі збільшенням F_K збільшується L_K .

Коефіцієнт потужності машини при зварюванні визначається співвідношенням

$$\cos\varphi = \frac{R_m + R_{ee}}{Z_{зв}}.$$

Для зменшення втрат потужності на X_K у машинах змінного струму виліт електродів не перевищує 1200 мм, що унеможлиблює зварювання великогабаритних конструкцій.

У низькочастотних машинах частоту імпульсів зварювального струму зменшено до 5 Гц, що дає можливість збільшити виліт електродів w_k до 2000 мм. Низькочастотні машини мають високу потужність, довгі консолі ($w_k = 1500 \dots 2000$ м), ступеневе змінення зварювального й кувального зусиль стиснення електродів, великий набір режимів зварювання. Такі машини призначено здебільшого для зварювання алюмінієвих і магнієвих сплавів.

Машини постійного струму мають меншу масу, ніж низькочастотні й конденсаторні, але при зварюванні єдиним імпульсом струму вони потребують відносно великої потужності внаслідок втрат у силовому випрямлячі, а також великої витрати охолодної води.

Переваги машин постійного струму: рівномірне завантаження фаз; порівняно з однофазними машинами значно менша споживана потужність, особливо при довгих консолях зварювальної машини; відсутність впливу внесених у зварювальний контур феромагнітних мас на величину зварювального струму.

Для шовного зварювання найбільшого поширення набули однофазні машини змінного струму (МШ) і з випрямленням струму у вторинному контурі (МШВ). Приведення в обертання роликів може здійснюватись на один привідний ролик або в особливо відповідальних випадках – на два. Електродвигуни приводу – постійного або змінного струму. Регулювання кутової швидкості при використанні електродвигунів може здійснюватись механічними безсхідчастими варіаторами швидкостей, магнітними й ковзними муфтами. Переривчасте обертання роликів здійснюється механічними системами з використанням «мальтійського хреста», пневматичними приводами з храповим або зубчастим зчепленням або з кроковим приводом із електромагнітною муфтою.

Машини для стикового зварювання (однофазні) характеризуються потужністю, конструктивним виконанням окремих вузлів, невеликими габаритними розмірами та масою.

З метою поліпшення властивостей металу зварних з'єднань у машинах передбачено можливість здійснення термічного оброблення стиків (відпалу) у губках машини.

Універсальні машини для стикового зварювання можна поділити на три групи:

- автоматичні малої потужності для зварювання опором;
- неавтоматичні середньої потужності з важільним механізмом подачі для зварювання оплавленням та опором;
- автоматичні для зварювання оплавленням.

Третя група об'єднує багато машин середньої й великої потужності, які відрізняються одна від одної способом нагрівання деталей: для зварювання неперервним оплавленням, для зварювання оплавленням з підігрівом, для зварювання імпульсним оплавленням.

Конденсаторні машини оснащено батареєю конденсаторів для накопичення необхідної енергії й утворення потужного короткочасного імпульсу зварювального струму.

Конденсаторні машини не перевантажують електричну мережу, мають стабільну величину зварювального струму (не впливає коливання напруги мережі).

Серед усіх розглянутих типів машин для точкового зварювання конденсаторні машини є найдорожчими.

Конденсаторні машини є найменш енергоємними. Наприклад, для зварювання деталей з алюмінієвих сплавів завтовшки 2,5+2,5 мм (зварювальний струм до 80 кА) конденсаторна машина споживає з електричної мережі 75 кВт, низькочастотна машина – 400 кВт, машина змінного струму – 1500 кВт.

В останні десятиліття ситуація в області контактного точкового зварювання змінилася. Традиційні технології змінили технології, що дають змогу змінювати параметри режиму зварювального процесу в період формування зварювального з'єднання згідно з розрахунковими даними або залежно від умов проходження самого зварювального процесу. Виникли технології адаптивного автоматичного контактного зварювання (інтелектуальне зварювання).

Поява нових технологій та обладнання в області контактного зварювання обумовлена такими причинами:

- застосування нових матеріалів;
- підвищення вимог до якості;
- застосування роботизованої техніки внаслідок масового характеру виробництва;
- нова елементна база;
- широке використання обчислювальної техніки для створення нових типів зварювальної техніки.

Практична робота № 7

ЕЛЕКТРОКОНТАКТНЕ ТОЧКОВЕ ЗВАРЮВАННЯ

Мета роботи: вивчити технологічний процес електроконтактного точкового зварювання; визначити його відмінності; ознайомитися з будовою машини МТ-1606; виконати зварювання зразків з метою знаходження оптимального режиму.

Теоретичні відомості

Загальна схема утворення з'єднання. Увесь процес утворення з'єднання можна поділити на окремі фізичні процеси. Залежно від ролі у формуванні з'єднання ці процеси поділяють на основні й супутні (рис. 2.6).



Рис. 2.6. Основні й супутні процеси при утворенні контактного з'єднання

При точковому зварюванні (рис. 2.7) деталі 1 складають внапусток або з відбортовкою, щільно затискають між електродами 2 зварювальної машини, нагрівають короткочасним (0,01...0,50 с) імпульсом електричного струму великої сили (до десятків кілоамперів) при незначній напрузі (3...12 В), унаслідок чого утворюється з'єднання на окремих ділянках контакту, що називаються точками.

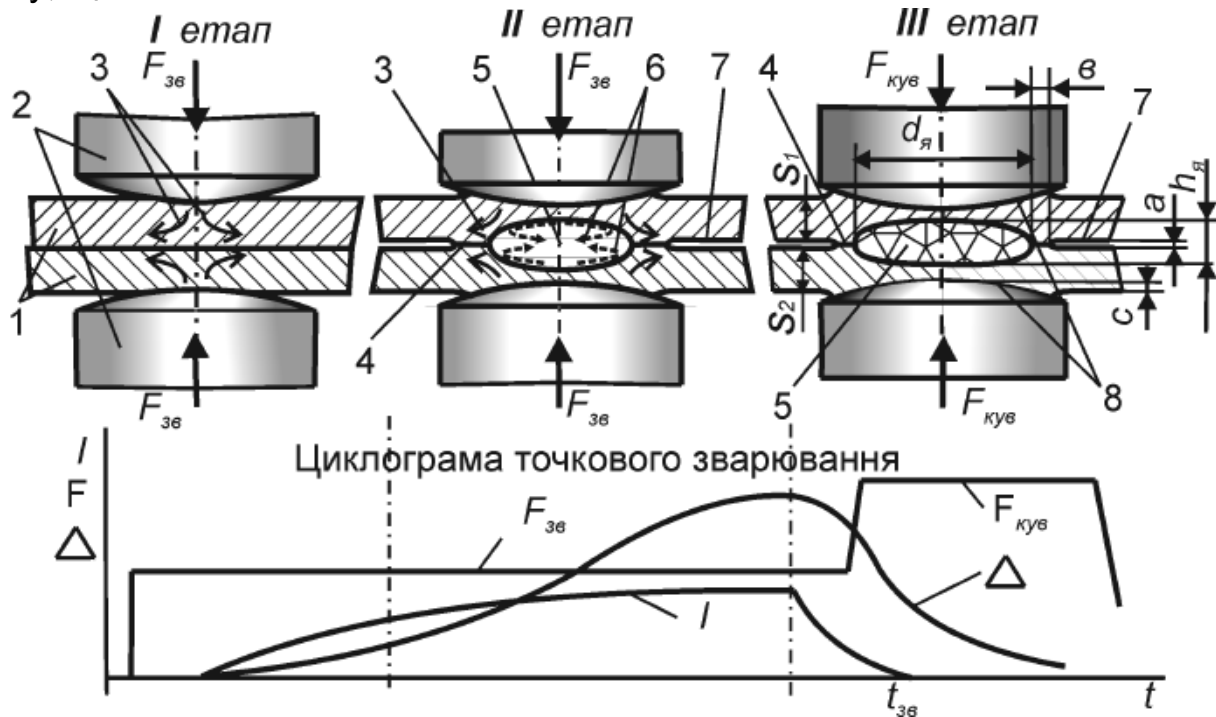


Рис. 2.7. Етапи утворення з'єднання при точковому зварюванні: 1 – деталі, що зварюються; 2 – електроди; 3 – напрямок максимальної деформації; 4 – ущільнювальний пояс; 5 – лите ядро; 6 – напрямок перемішування металу ядра; 7 – зазор між листами; 8 – вм'ятини від електродів; 9 – точка, що закристалізувалася; $F_{зе}$ – зусилля стискання при зварюванні; $F_{кув}$ – зусилля проковування; S_1 , S_2 – товщина листів, що зварюються; $h_я$ – висота ядра; $d_я$ – діаметр ядра; a – величина розходження листів; $в$ – ширина ущільнювального паса; $с$ – глибина вм'ятини; I – зварювальний струм; Δ – переміщення електрода

Перший етап починається з моменту обтиснення деталей зусиллям $F_{зе}$, що спричиняє пластичну деформацію мікрорельєфу в контактах електрод – деталь і деталь – деталь.

Подальше вмикання струму I і нагрівання металу полегшують процеси вирівнювання мікрорельєфу, руйнування поверхонь плівок і формування електричного контакту.

Теплове розширення при точковому зварюванні відбувається в стиснених умовах і супроводжується виникненням нерівномірного розподілу внутрішніх напружень, які разом з постійно діючим зовнішнім зусиллям $F_{зе}$ спричиняють необоротні об'ємні пластичні деформації (напрямок макси-

мальної деформації 3).

Теплове розширення металу в області контакту деталей – деталь є причиною утворення зазору між деталями.

До розплавлення металу зменшення σ_{δ} і надлишок металу внаслідок дилатометричного ефекту компенсуються незначним розведенням електродів, а також витисненням частини металу в зазор, що забезпечує на внутрішньому контакті рельєф – ущільнювальний поясок 4, який обмежує розходження зварювального струму.

На першому етапі супутні процеси через відносно малу деформацію й низьку температуру зони зварювання не набувають великого розвитку.

Другий етап характеризується розплавленням металу й утворенням ядра 5. У міру проходження струму ядро збільшується до максимальних розмірів – за висотою $h_{\text{я}}$ і діаметром $d_{\text{я}}$ (розміри ядра або шва регламентуються в ГОСТ 15878–79, ГОСТ 14098–85 і визначаються з умов забезпечення потрібного рівня міцності зварних конструкцій).

При цьому відбувається перемішування металу 6, видалення поверхневих плівок та утворення металевих зв'язків у рідкій фазі. Ядро виникає в зоні, де досягається найбільша густина струму й меншою мірою впливає теплообмін з електродами.

При розплавленні в замкнутому об'ємі різко збільшується об'єм металу ядра (рис. 2.8), збуджуються електромагнітні сили і, як наслідок, виникає гідростатичний тиск, який визначається загальним балансом напружень у зоні зварювання. Дилатометричний ефект і загальне зменшення σ_{δ} компенсуються подальшим розсуванням електродів і витисненням в зазор деформованого металу. Це сприяє утворенню не тільки рельєфу, який обмежує розходження зварювального струму, але й герметизації литого ядра, запобігаючи вибризуванню металу та його контакту з атмосферою.

Внутрішня межа металу паса має температуру, близьку до температури плавлення, і низьке значення σ_{δ} ; відповідно температура зовнішньої межі є набагато нижчою, а значення σ_{δ} більшим. Метал пояса перебуває в об'ємно-напруженому стані, при цьому напруження прагнуть збільшити зазор між деталями. Такий характер об'ємної деформації приконтатної області деталей спричиняє «осідання» поверхневих шарів металу й утворення вм'ятини 8 на поверхні від електродів.

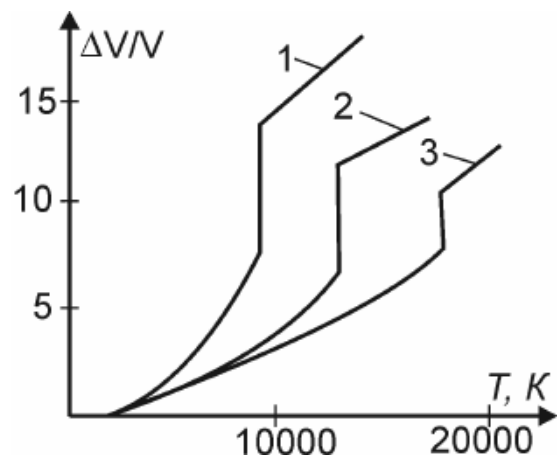


Рис. 2.8. Змінення об'єму металу залежно від температури:

1 – алюміній; 2 – сталь; 3 – титан

З появою розплавленого ядра виникає небезпека вибрикування, унаслідок теплопровідності нагрівається пришовна зона, змінюється вихідна структура металу, спостерігається масоперенесення в контакті електрод – деталь (супутні процеси).

Третій етап починається після вимкнення зварювального струму – відбувається інтенсивна кристалізація ядра ($h_{я}$, $d_{я}$), яка завершує утворення нерознімного з'єднання деталей у місці дотику. Метал точок має дендритну структуру.

Під час кристалізації продовжуються теплопередання в пришовну зону і змінення структури металу в ній, відбувається усадка металу, унаслідок чого в ньому утворюються усадкові пухкості й раковини; у ядрі виникають розтягальні напруження, які є причиною утворення тріщини і під впливом яких можливим є руйнування неміцної точки.

Для зниження рівня залишкових напружень і запобігання усадковим тріщинам і раковинам потребуються значні зусилля $F_{кув}$.

Висока якість зварювання й максимальна продуктивність процесу для конкретної товщини, форми й матеріалу виробів визначаються правильністю вибраного режиму зварювання (типовий електротермодеформаційний цикл зварювання, див. рис. 2.7).

Якість з'єднань також залежить від техніки зварювання, форми електродів, якості складання й підготовки поверхні, зварювального устаткування, системи контролю та інших конструктивно-технологічних факторів.

Параметри режиму точкового зварювання. Основними параметрами режиму точкового зварювання є:

- зварювальний струм $I_{зв}$ (амплітудний або діюче його значення);
- тривалість або час проходження струму $t_{зв}$;
- зусилля стиснення деталей електродами $F_{зв}$;
- зусилля й тривалість проковування $F_{кув}$, $t_{кув}$;
- діаметр робочої поверхні електрода d_e або радіус сферичної поверхні електрода R_e .

Вихідними даними для визначення перелічених параметрів є фізико-механічні властивості металу та товщина зварюваних деталей.

Режими можна визначити розрахунково-експериментальним методом або експериментально.

Залежно від властивостей матеріалів для точкового зварювання рекомендуються так звані м'які або жорсткі режими.

Форма й розташування зони розплавлення металу в місці зварювання визначаються виділенням тепла і тепловідведенням в електроди й деталі. Зі зміненням тривалості струму (зміненням жорсткості режиму) вплив тепловиділення й тепловідведення на формування з'єднань змінюється.

М'які режими характеризуються малою густиною струму

(70...160 А/мм), великою тривалістю імпульсу (0,5...3 с) при відносно малому тиску (15...40 МПа).

Жорсткі режими характеризуються великою густиною струму зварювання (160...400 А/мм), малим терміном циклу зварювання (0,1...1,5 с), великим тиском (до 150 МПа).

При точковому (рельєфному й шовному) зварюванні на жорстких режимах форма й розташування литої зони обумовлюються розподілом густини струму в контакті деталь – деталь. Густина струму залежить від товщини зварюваних деталей і розмірів робочої поверхні електродів. У зв'язку з тим, що зварювання ведеться при малій тривалості проходження струму, тепловідведення практично не впливає на формування зони розплавлення.

При зварюванні на м'якому режимі форма й розташування литої зони залежать від тепловідведення в електроди й деталі, що зварюються. Лите ядро (рис. 2.9) розташовується практично на однаковій відстані від зовнішніх поверхонь деталей, тому в разі зварювання деталей з різною товщиною ядро зміщується в деталь з більшою товщиною. У зв'язку з більшою тривалістю нагрівання при використанні м'яких режимів розміри зони термічного впливу й пластичного пасу є більшим, ніж у разі жорстких режимів.

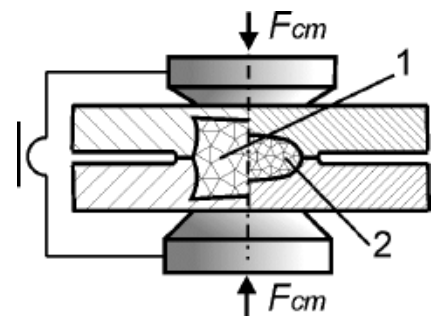


Рис. 2.9. Форма ядра при зварюванні на м'яких (1) і жорстких (2) режимах

При зварюванні на жорсткому режимі лите ядро розташовується більш симетрично відносно площини з'єднання деталей. Незначне тепловідведення в електроди при зварюванні на жорстких режимах деталей однакової товщини дає змогу отримати велику висоту литої зони.

М'які режими застосовують переважно при зварюванні вуглецевих і низьколегованих сталей, жорсткі – корозійностійких сталей, алюмінієвих і мідних сплавів.

Зі зменшенням товщини деталей густина зварювального струму підвищується. Матеріали з низьким питомим опором потребують більшого струму, ніж матеріали з високим питомим опором.

При високій теплопровідності й температуропровідності металу зварювання здійснюють на більш жорстких режимах, тобто зменшують час проходження зварювального струму та збільшують його силу.

Зусилля тиску електродів залежить від товщини зварюваних деталей і механічних властивостей металу, який зварюється. Зі збільшенням коефіцієнта лінійного розширення й опору пластичної деформації треба збільшувати тиск на електродах і встановлювати більш м'які режими.

Вибір основних розмірів зварного з'єднання також залежить від товщини деталей, що зварюються. Діаметр ядра розплавленого металу ($d_{я}$)

вибирають за співвідношенням

$$d_{\text{я}} = 2\delta + 3,$$

де δ – товщина металу, що зварюється, мм.

При зварюванні деталей різної товщини розміри з'єднання вибирають за меншою товщиною.

Розмір напуску деталей, що зварюються, вибирають залежно від властивостей зварюваного металу. Для металів і сплавів з високим електричним опором (сталі, титанові сплави) напуск є меншим і становить $(2,5...3,5)d_{\text{я}}$, а для металів з меншим електричним опором – у межах $(2,8...3,5)d_{\text{я}}$.

Глибина проплавлення деталей, що зварюються, для титанових сплавів становить 20...95 % від товщини деталей, для алюмінієвих і магнієвих сплавів – 20...70 %, для інших – 20...80 %.

Мінімальна відстань між точками збільшується зі збільшенням товщини металу й становить $(3,3...4)d_{\text{я}}$.

Глибина вм'ятини з боку електрода (на рис. 2.7 позначено а) має бути не більше 20 % від товщини металу.

Щодо вибору основних параметрів режиму **контактного точкового зварювання** існує багато рекомендацій у вигляді таблиць (табл. 2.1, Д.2.1), номограм, графіків. Ці режими орієнтовні й потребують перед зварюванням перевірки й часто корегування з урахуванням відповідних умов (підготовка поверхні, складання, склад устаткування та ін.).

Таблиця 2.1

Орієнтовні режими точкового зварювання
низьковуглецевої холоднокатаної сталі

Зварювані товщини	Режим									
	d_e , мм	Жорсткий			Середній			М'який		
		$P_{\text{зв}}$, Н	$I_{\text{зв}}$, кА	$t_{\text{зв}}$, с	$P_{\text{зв}}$, Н	$I_{\text{зв}}$, кА	$t_{\text{зв}}$, с	$P_{\text{зв}}$, Н	$I_{\text{зв}}$, кА	$t_{\text{зв}}$, с
0,6+0,6	4,0	1250	7,0	0,1	1000	6,0	0,1	1000	5,5	0,2
0,8+0,8	4,5	1800	9,0	0,12	1250	8,5	0,12	1250	7,0	0,3
1,0+1,0	5,0	2250	10,5	0,16	1500	9,5	0,2	1500	7,5	0,4
1,2+1,2	6,0	3000	11,0	0,2	1800	10,0	0,24	1800	8,0	0,44
1,5+1,5	6,5	3500	13,0	0,24	2500	10,5	0,3	2500	8,5	0,54
1,8+1,8	7,0	-	-	-	3000	11,5	0,4	3000	9,5	0,5
2,0+2,0	7,0	-	-	-	3500	12,5	0,44	3500	10,0	0,6
2,5+2,5	8,0	-	-	-	3500	13,5	0,5	3500	11,5	0,8

Корегування проводять на зразках-свідках з використанням залежностей параметрів литого ядра від параметрів режиму (рис. 2.10). Наприклад, якщо діаметр недостатній, збільшують зварювальний струм $I_{\text{зв}}$. Для запобігання вибризуванню збільшують $F_{\text{зв}}$, d_e , R_e . Якщо ядро має тріщини, збіль-

шують F_k , наближаючи збільшення за часом до моменту вимкнення струму, а також уповільнюють кристалізацію, модулюючи задній фронт струму.

Зусилля прикладають до проходження сплаву через ТІК; час t_k збільшують при збільшенні товщини і зниженні теплопровідності металів, що зварюються (на жорстких режимах і високих швидкостях кристалізації його зменшують).

Якість і, зокрема, міцність зварного з'єднання залежать від розмірів литого ядра ($h_{я}$, $d_{я}$), а також від стану металу, ступеня зменшення його міцності у шві та в зоні термічного впливу, виду навантаження, рівня дефектів.

Параметри режиму по-різному впливають на діаметр ядра і, відповідно, на міцність (рис. 2.10). Зі збільшенням $I_{зв}$ або $t_{зв}$, коли інші параметри є постійними, міцність підвищується спочатку швидко, потім повільніше з утворенням ядра. Але при надмірних $I_{зв}$ і $t_{зв}$ розміри ядра починають зменшуватися внаслідок посилення внутрішніх вибризувань, появи різних дефектів.

Зі збільшенням $F_{зв}$ і d_e міцність також спочатку підвищується у зв'язку зі збільшенням діаметра ядра, а потім починає знижуватися через різке збільшення площі контактів, зниження густини струму.

Зі зменшенням товщини деталей густина зварювального струму підвищується. Матеріали з низьким питомим опором потребують більшого струму, ніж матеріали з високим питомим опором. При високій теплопровідності й температуропровідності металу зварювання проводять на більш жорстких режимах, тобто зменшують час проходження зварювального струму та збільшують його силу.

Якщо зварюють деталі різної товщини, то робочі параметри режиму вибирають за найтоншою з них. Зварювання деталей з різною товщиною (при співвідношенні товщини менше 1:3) є ускладненим (рис. 2.11, а) через відсутність надійного проплавлення більш тонкої деталі ($s_1 < s_2$). Щоб запобігти цьому, рекомендується застосовувати жорсткі режими зварювання (див. рис. 2.9) або з боку тонкої деталі використовувати електроди з меншим перерізом або ці електроди виготовляти із металу з меншою теплопровідністю, ніж з боку товстої деталі.

При зварюванні деталей з різних матеріалів (рис. 2.11, б) через неоднакове виділення й відведення тепла діаметр ядра та глибина проплавлення збільшуються в деталях з більш високим питомим опором і меншим коефіцієнтом теплопровідності (деталь 2).

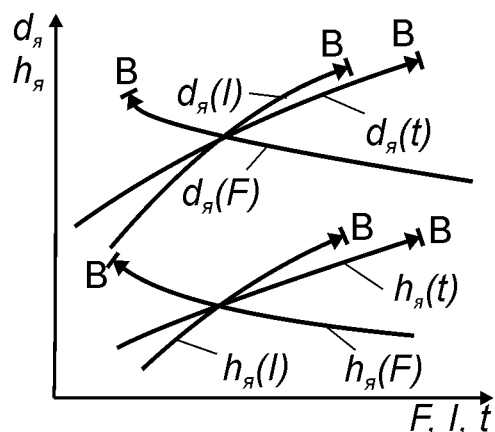


Рис. 2.10. Змінення діаметра ядра $d_{я}$ та проплавлення $h_{я}$ залежно від параметрів режиму зварювання; В – кінцевий виплеск

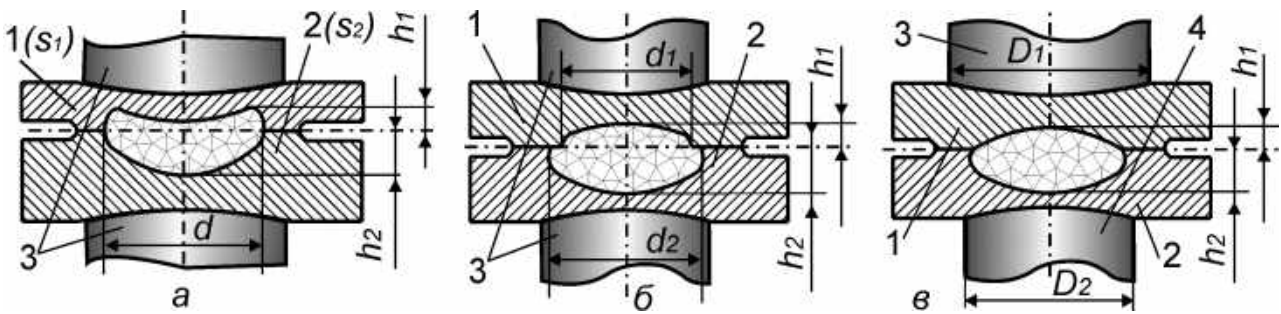


Рис. 2.11. Формування зварної точки при відмінності:
 а – у товщинах деталей; б – у їх питомому опорі; в – у діаметрах зварювальних електродів

При зварюванні деталей із застосуванням різних розмірів і форм контактних поверхонь (рис. 2.11, в) ядро зміщується до електрода з меншою контактною поверхнею (електрод 2), де густина струму є більшою.

Стан поверхні (контактний опір) деталей суттєво впливає на розподіл тепла при зварюванні (рис. 2.12) і, отже, на розміри й міцність точок.

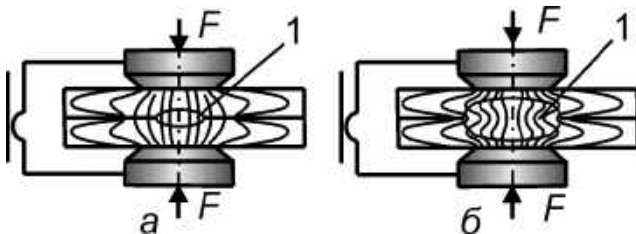


Рис. 2.12. Схема ліній струму при точковому зварюванні: а – добре очищені деталі; б – деталі покриті окисами; 1 – лите ядро при однаковій тривалості нагрівання; F – зусилля стиснення

Для забезпечення стабільності контактного опору деталі перед зварюванням зазвичай зачищають (травленням або механічним обробленням) або покривають тонкою плівкою окисів з невеликим і постійним за величиною опором.

Технологічний процес виготовлення зварних вузлів. Технологічний процес виготовлення зварних вузлів і виробів точковим зварюванням складається з таких операцій: виготовлення деталей-заготовок, підготовка їх поверхонь до зварювання, складання, прихвачування, зварювання, виправлення, механічне оброблення та антикорозійний захист.

Деталі заготовки вирізають із листового металу ножицями (дисковими, гільотинними або вібраційними), з допомогою штампів, плазмовим струменем або газовим полум'ям.

Основною метою підготовки поверхні під контактне точкове зварювання є забезпечення мінімального й стабільного опору в зварювальному контакті електрод – деталь і стабільного невисокого опору в контакті деталь – деталь (допустимий контактний опір ділянки зварювання становить 150 мкОм). Поряд з цим необхідно забезпечити постановку великої кількості зварних точок на зварюваній деталі без зачищення робочої поверхні електродів.

Перед зварюванням поверхні деталей зачищають з обох боків на ширину 30...50 мм, де буде виконуватися точкове зварювання, з допомогою металевих щіток, дробострумних, піскострумних установок.

Місця зварювання можна зачищати також хімічними засобами: протиранням різними розчинами або промиванням у ваннах з розчинами різних складів, або травленням у розчинах лугів, кислот зі спеціальними добавками, що керують швидкістю травлення.

Якість підготовки контролюють візуально згідно з еталонними зразками або вимірюванням величини електричного опору двох стиснених деталей мікрометрами типу Ф-415 або іншими приладами.

Складання й прихвачування деталей проводять у такій послідовності: попереднє складання, підгонка деталей, підготовка поверхні, остаточне складання, розмітка місць прихвачування й зварювання, прихвачування.

Залежно від типу виробництва, особливостей конструкції та технічних умов складання можна виконувати різними способами: за розміткою, за шаблонами або першим виробом, за складальними отворами, у пристроях (універсальних, спеціалізованих і спеціальних).

Використання складально-зварювальних пристроїв сприяє отриманню заданих розмірів вузлів і досягненню взаємозамінності, спрощенню технології зварювання і зниженню трудомісткості складально-зварювальних робіт, зменшенню деформацій зварюваних виробів або запобіганню їм.

Зварений виріб виправляється від кінцевих деформацій (викривлення) механічною або термічною правкою. Суть правки полягає в наданні виробу нових деформацій, що знищують первинні, які виникли від зварювання. Механічна правка виробу виконується вручну важким молотком або на верстатах і пресах, а термічна – місцевим нагріванням виробу газовим полум'ям.

Для точкового зварювання застосовують різні типи машин: змінного струму, низькочастотні, постійного струму, конденсаторні. Потужність машин – від 5 до 1000 кВт.

Машини змінного струму є найбільш поширеними в усіх галузях машинобудування, вони є простішими й дешевшими за інші машини.

Для точкового зварювання крім стаціонарних машин застосовуються пересувні й переносні точкові машини та переносні пристрої до нерухомих машин (кліщі, скоби, зварювальні пістолети), що дає змогу зварювати вироби великих розмірів.

Машину змінного струму МТ-1606 призначено для точкового зварювання конструкційних і високолегованих сталей, титанових сплавів завтовшки від 0,8 до 6,5 мм. Можливим також є зварювання деяких кольорових мідних сплавів (латуні, бронзи та ін.) завтовшки до 1,2 мм.

Технічні дані

Номінальна первинна напруга, В	380
Номінальна потужність, кВ·А	95
Номінальний первинний струм, А	250
Номінальний ПВ, %	20
Межі регулювання вторинної напруги, В	2,9...5,7
Кількість ступенів регулювання вторинної напруги	8
Діапазон зварюваних товщин, мм:	
низьковуглецевої сталі на жорсткому режимі ...	0,8+0,8 до 2,5+2,5
на м'якому режимі	до 6,5+6,5
Номінальне зусилля на електродах	
(при тиску стисненого повітря 0,44 МПа), Н	6300
Продуктивність машини при зварюванні деталей	
із маловуглецевої сталі завтовшки 1 + 1, точ./хв	200
Номінальний зварювальний струм, кА	16

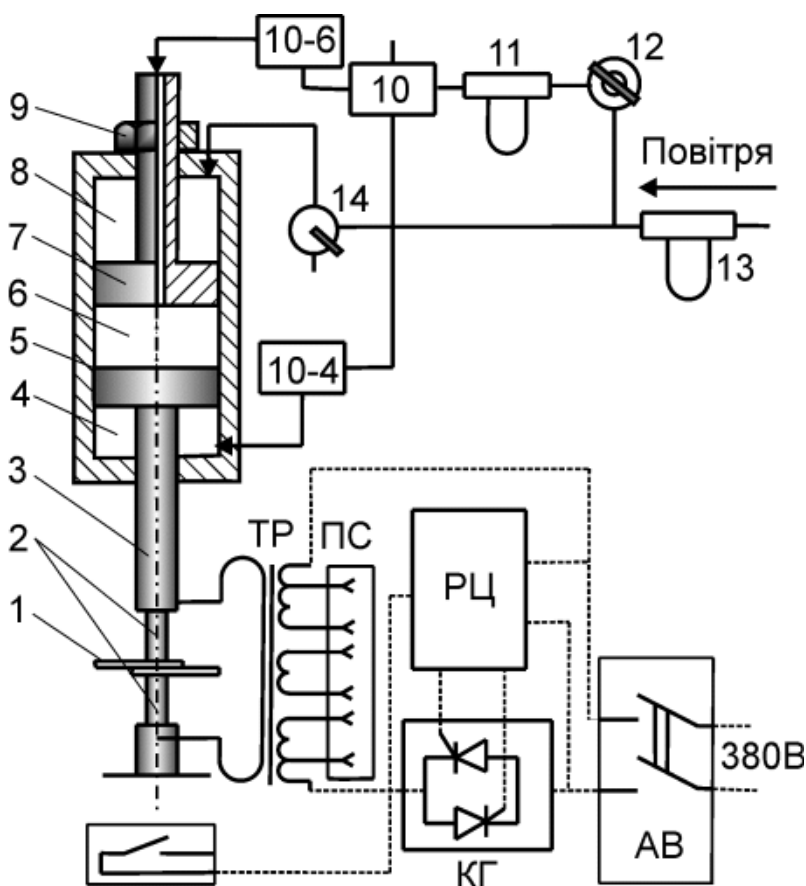


Рис. 2.13. Принципова схема машини
MT-1606

Пневматична система (рис. 2.13) забезпечує стиснення й утримання деталей 1, що зварюються, у стисненому стані під час усього циклу зварювання.

Повітря з мережі через повітряний фільтр 13, регулятор тиску 12, маслороспилювач 11 та електромагнітний пневмоклапан 10 проходить залежно від положення золотника клапана через дроселі (10-6, 10-4), що регулюють швидкість подання повітря в порожнину циліндра:

- у нижню порожнину циліндра 4, здійснюючи піднімання нижнього поршня до упору у верхній поршень 7;

- у середню порожнину 6 (через верхній шланг і шток верхнього поршня), здійснюючи опускання нижнього поршня і стиснення деталей.

шланг і шток верхнього поршня), здійснюючи опускання нижнього поршня і стиснення деталей.

Робочий тиск повітря встановлюють з допомогою регулятора 12, контролюють – за манометром.

Верхній поршень призначено для налаштування ходу нижнього. Налаштування ходу здійснюється з допомогою регулювальної гайки 9 на штоці верхнього поршня. Для налаштування робочого ходу верхнього електрода у пневмоциліндр (над верхнім електродом) необхідно подати повітря, відкривши кран керування 14.

Верхній поршень опуститься до упору у верхню кришку циліндра регулювальної гайки.

Кран керування положенням верхнього поршня 5 призначено для подання й випускання повітря з верхньої порожнини циліндра. При випусканні повітря верхній поршень піднімається вгору до упору в кришку циліндра, і електроди розходяться на максимальну відстань.

З нижнім поршнем через шток зв'язаний верхній електродотримач 3, на якому укріплено верхній електрод 2. Нижній електродотримач та електрод – нерухомі.

Мастилорозпилювач 11 змащує рухомі частини. Мастило з мастилорозпилювача захоплюється повітрям, що рухається, і змазує клапан, пневмоциліндр і поршні.

Електрична схема машини. Джерелом живлення МТ-1606 є трансформатор для контактного зварювання ТР, який складається з магнітопроводу броньового типу, первинних і вторинної обмоток. Вторинна обмотка має один виток із товстої мідної шини. Змінюючи перемикачем ступені ПС кількість секцій первинних котушок, увімкнених в електричну мережу, ступінчасто регулюють потужність машини.

Автоматичний вимикач АВ вимикає машину, якщо в мережі машини виникне коротке замикання або вона перегріється.

Тиристорний контактор КТ має два тиристори, які увімкнені зустрічно-паралельно, що дає можливість пропускання на первинну обмотку трансформатора змінного струму. Тиристори відкриваються тоді, коли на їх керувальні електроди подаються імпульси керування від регулятора циклу зварювання.

На машинах такого типу є можливість плавного регулювання потужності машини внаслідок синхронного зміщення за фазою імпульсів керування відносно хвиль півперіодів змінного струму.

Регулятор циклу РЦ, що забезпечує автоматичне керування машиною, являє собою електронно-релейний пристрій, що вмикає і вимикає в певній послідовності електромагнітний пневмоклапан і тиристорний контактор, завдяки чому в потрібний момент здійснюються стискання деталі, умикання й вимикання струму, підйом верхнього електрода.

У машині МТ-1606 електродотримачі, електроди й тиристорний контактор охолоджуються проточною водою. Вода, що подається на охолодження тиристорів, проходить через гідроклапан. Якщо подання води при-

пиняється, то гідроклапан розмикає керувальне коло тиристора, і зварювальний струм не вмикається.

Порядок роботи на машині. Тривалість загального циклу зварювання однієї точки $t_{\text{ц}}$ складається з тривалостей операцій стиснення деталей $t_{\text{см}}$, зварювання $t_{\text{зв}}$, проковування $t_{\text{к}}$ і паузи $t_{\text{п}}$ (рис. 2.14). Стиснення деталей відбувається при натисканні на педальну кнопку КП.

Стиснене повітря через електромагнітний пневмоклапан подається в середню порожнину циліндра, при цьому нижній поршень, зв'язаний з верхнім електродотримачем та електродом, опускається вниз.

Після стабілізації зусилля стиснення (певний проміжок часу $t_{\text{см}}$) регулятор циклу подає сигнал на керувальні електроди тиристорів, на електроди подається зварювальний струм, коло замикається через стовпчик металу, затиснутого між електродами. Після утворення зварного з'єднання струм вимикається.

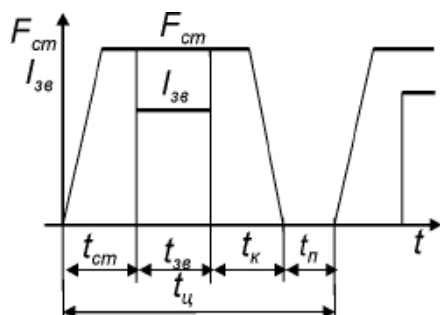


Рис. 2.14. Циклограма точкового зварювання на машині МТ-1606

Після вимкнення струму на час кристалізації розплавленого металу зварної точки (з метою зменшення зварювальних напружень і деформацій) деталі деякий час залишають під тиском (проковування).

Після закінчення проковування регулятор циклу розмикає коло живлення електромагнітного пневмоклапана, положення золотника змінюється і повітря переходить у нижню порожнину циліндра. Нижній поршень піднімається вгору, звільняючи зварювані

деталі. Електроди під час паузи, необхідної для зміни деталей, будуть розведені, а потім цикл зварювання повторюється.

Для виконання зварювання однієї точки необхідно: перемикач роду роботи встановити в положення «Одиночний цикл», один раз натиснути й відпустити педаль.

Для виконання великої кількості точок можна працювати в режимі «Автоматична робота». Педаль керування при цьому необхідно тримати весь час у натиснутому положенні.

Підготовка машини до роботи:

1. Подати повітря в машину, для чого увімкнути компресор, підняти тиск у ресивері до 5 атм і відкрити вхідний вентиль на фільтрі машини.

2. Налаштувати машину на необхідний режим зварювання:

а) хід верхнього електрода вибирають залежно від конфігурації зварюваних вузлів і деталей, установлюють з допомогою гайки, що нагвинчується на шток верхнього поршня (при налаштуванні ходу користуються краном керування, який після налаштування необхідно встановити в праве положення);

б) силу стиснення деталей вибирають залежно від товщини й роду матеріалу, що зварюється, налаштовують гвинтом повітряного регулятора і контролюють за манометром; сила має бути такою, щоб забезпечити хороший контакт між деталями й електродами (залежність зусилля стиснення на електродах від тиску на манометрі наведено в таблиці на правій стінці машини);

в) ступінь потужності (що визначає величину струму) вибирають залежно від товщини й роду матеріалу, що зварюється, установлюють з допомогою трьох ножових перемикачів, які знаходяться справа всередині машини (залежність номера ступеня потужності від положення перемикачів указано в таблиці на правій стінці машини);

г) час стискання, зварювання, проковування, паузи встановлюють з допомогою перемикачів регулятора циклу, розташованого справа в нижній частині машини; час кожної операції регулюють у межах 1–198 періодів, тобто в межах 0,02...3,96 с через 0,02 с (період змінного струму частотою 50 Гц), на лівих перемикачах установлюють одиниці періодів, на правих – десятки.

Ступінь потужності й силу стиснення вибирають залежно від товщини й роду матеріалу, що зварюється.

Увімкнути рубильник мережі й автоматичний вимикач.

Випробувати роботу машини без зварювального струму, для чого витягти один з ножів перемикача потужності, натиснути на педаль керування і після правильного відпрацювання циклу зварювання вставити ніж на місце.

Методика роботи

1. Ознайомитися із суттю контактного точкового зварювання.
2. Визначити особливості формування ядра зварної точки.
3. Визначити вплив параметрів режиму на параметри зварного з'єднання.
5. Ознайомитися з будовою машини МТ-1606.
6. Провести тренувальне зварювання відповідно до «Порядку роботи на машині».
7. Установити режими зварювання (за вказівкою викладача).
8. Виконати зварювання зразків, перевірити на міцність зварні з'єднання.
9. Скласти звіт, виконати аналіз отриманих результатів.

Обладнання й матеріали

1. Пост для контактного зварювання.
2. Машина для контактного точкового зварювання МТ-1606.
3. Розривна машина.
4. Зварювальні матеріали: листові зразки з вуглецевої та низьколегованої сталі завтовшки 0,5...1,2 мм.

Зміст звіту

1. Схема контактної точкового зварювання.
2. Особливості формування ядра точки, параметри режиму та їх вплив на параметри зварного з'єднання.
3. Принципова схема машини МТ-1606. Технічні дані, специфікація основних вузлів.
4. Результати досліджень (табл. 2.2).
5. Графік залежності $F = f(t_{зв})$.
6. Аналіз отриманих результатів. Висновки (обґрунтування оптимального режиму зварювання).

Таблиця 2.2

Протокол режиму зварювання й випробування зразків

Марка основного металу _____ Товщина _____							
Вид з'єднання _____							
Діаметр контактів електродів, мм _____							
Номер зразка	Тиск за манометром	Зусилля за манометром	Ступінь потужності	Час зварювання $t_{зв}$, С	Зусилля руйнування F , кН	Характер руйнування	Примітки
1							

Контрольні запитання

1. Де виділяється тепло при точковому зварюванні?
2. Який цикл зварювання однієї точки, які її характерні розміри?
3. Основні параметри режиму точкового зварювання.
4. Як впливають параметри режиму на якість з'єднання?
5. Як уникнути вибрикування металу без зниження міцності точки?
6. Як змінити параметри режиму зварювання, якщо товщина зварюваних листів: збільшилася, зменшилася?
7. Для чого потребується проковування?
8. Які фактори визначають величину й положення зварного ядра при електроконтактному зварюванні?
9. Яким є призначення вузлів електричної схеми, пневмосхеми?
10. Як налаштувати точкову машину на максимальний зварювальний струм?
11. Електроконтактне паяння та його особливості й переваги.

Практична робота № 8

ЕЛЕКТРОКОНТАКТНЕ СТИКОВЕ ЗВАРЮВАННЯ

Мета роботи: вивчити технологічні процеси електроконтактного точкового зварювання і паяння опором, визначити їх відмінності; ознайомитися з будовою машини МТ-1606; виконати зварювання зразків з метою знаходження оптимального режиму.

Теоретичні відомості

Технологічний процес електроконтактного стикового зварювання. Утворення з'єднання при стиковому зварюванні відбувається в процесі спільної пластичної деформації нагрітих електричним струмом торців деталей при осаджуванні.

Залежно від форми й величини перерізу деталі в місці з'єднання, властивостей металу, можливостей виробництва, вимог експлуатації до якості зварних з'єднань, а також від типу самого виробництва (серійне, масове тощо) електроконтактне стикове зварювання виконується двома способами – опором та оплавленням (рис. 2.15).

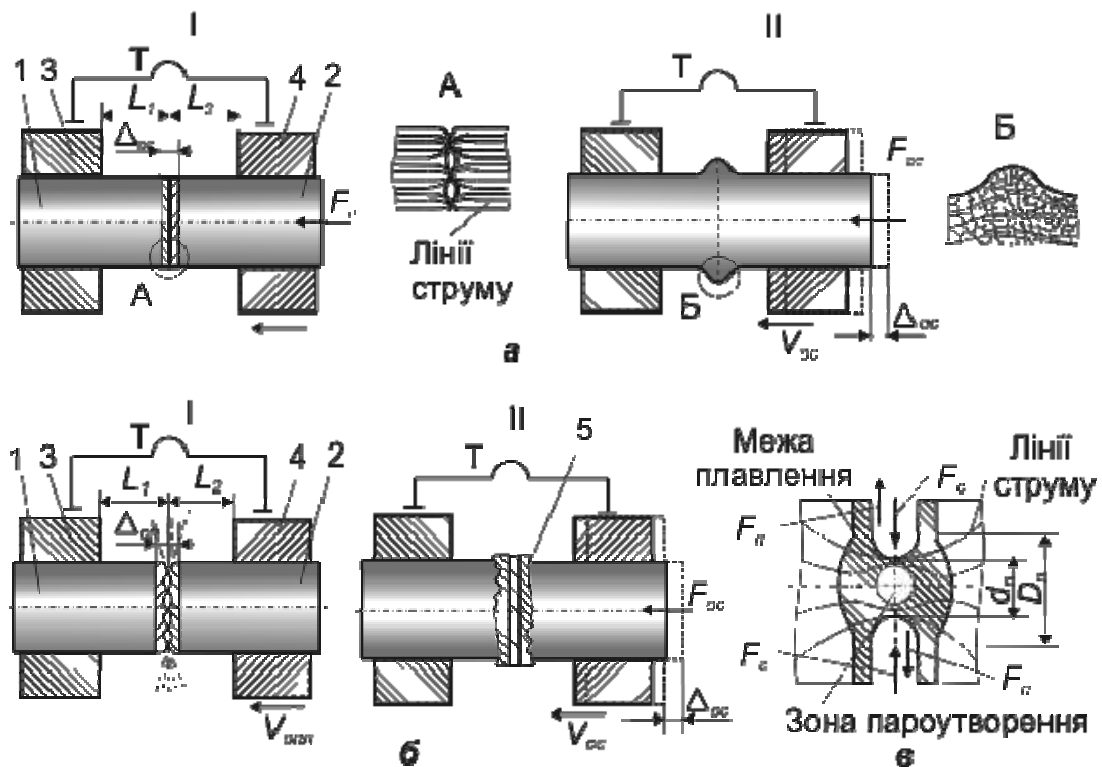


Рис. 2.15. Схема стикового зварювання: а – опором; б – безперервним оплавленням; в – перемичка розплавленого металу при оплавленні; I – стик до зварювання; II – стик після зварювання

Стикове зварювання опором та оплавленням відбувається практично за єдиною схемою і складається з двох етапів – нагрівання торців деталей та осадження.

Перший етап при стиковому зварюванні опором (рис. 2.15, а) значною мірою аналогічний процесам, що проходять в контакті деталей – деталь при точковому зварюванні до початку розплавлення. При стиковому зварюванні оплавленням (рис. 2.15, б) нагрівання деталей відбувається до утворення на торцях шару розплавленого металу внаслідок локального розплавлення й руйнування перемичок (рис. 2.15, в). Другий етап супроводжується деформацією нагрітих поверхонь – осаджування.

Основними процесами при стиковому зварюванні, як і при точковому зварюванні, є:

- нагрівання й охолодження металу;
- пластична деформація;
- видалення оксидних плівок.

Основні процеси спричиняють кілька супутніх процесів, а саме, змінення структури та властивостей металу, теплове розширення й усадку металу, масоперенесення в контакті електрод – деталь.

Процеси теплового розширення металу й масоперенесення в контакті електрод – деталь зазвичай істотно не впливають на якість з'єднань.

Умови утворення міжатомних зв'язків визначаються станом поверхонь і для методів зварювання опором та оплавленням є різними.

Стикове зварювання опором. Спочатку деталі (1, 2) фіксують у струмопідвідних затискачах-електродах (3, 4) зварювальної машини, забезпечуючи встановлену довжину випуску їх із затискачів (L_1, L_2), потім щільно стискають між собою зусиллям F_H і вмикають електричний струм. Метал нагрівається до пластичного стану, після чого зусиллям стиснення F_{oc} деформується на задану величину осаджування Δ_{oc} .

Нагрівання деталей при стиковому зварюванні відбувається внаслідок генерування теплоти на електричних опорах при проходженні через них електричного струму. Кількість теплоти можна визначити за рівнянням

$$Q_{ee} = \int_0^{t_{3\theta}} i_{3\theta}^2(t) r_{ee}(t) dt, \quad r_{ee} = r_{e\partial 1} + r_{\partial 1} + r_{\partial 1\partial 2} + r_{\partial 2} + r_{e\partial 2},$$

де $i_{3\theta}(t)$ – миттєве значення зварювального струму, який звичайно змінюється під час зварювання; $r_{ee}(t)$ – загальний опір металу, що знаходиться між електродами в момент часу $t \leq t_{3\theta}$; $r_{e\partial 1}, r_{e\partial 2}$ – перехідний опір від електрода до деталі; $r_{\partial 1}, r_{\partial 2}$ – опір установлювального вильоту зварюваних деталей (L_1, L_2 на рис. 2.15, а); $r_{\partial 1\partial 2}$ – перехідний опір від першої деталі до другої.

Роль опорів, що входять у це рівняння, при стиковому зварюванні інша, ніж при точковому (рис. 2.16). Після вмикання зварювального струму мікроконтакти швидко нагріваються, знижується опір металу пластичному деформуванню, полегшуються умови руйнування плівок і при відповідних критичних температурах, характерних для певного металу,

опір $r_{\partial 1 \partial 2}$ знижується практично до нуля, а $r_{e \partial 1}$, $r_{e \partial 2}$ – до відносно малих величин.

У зв'язку з тим, що $r_{e \partial 1}$, $r_{e \partial 2}$ знаходяться далеко від зони зварювання, вони на її нагрівання істотно не впливають.

Контактний опір при стиковому зварюванні опором через відносно малий тиск зазвичай у 1,5–2 рази є більшим, ніж при точковому зварюванні.

У загальному балансі теплоти частка тепла, що виділяється на контактному опорі між деталями, не перевищує 10...15 %. Однак тепло виділяється у вузькій приконтактній зоні за невеликий проміжок часу і спричиняє швидке підвищення в ній температури, яка зберігається і після зникнення опору $r_{\partial 1 \partial 2}$ до кінця циклу зварювання, тому що ця зона нагріта сильніше від інших ділянок. Інтенсивність тепловиділення в контакті визначається початковим тиском. При зниженні тиску інтенсивність тепловиділення підвищується, але погіршується рівномірність нагрівання по перерізу, що пов'язано з випадковим розташуванням ділянок контактування, а це є серйозним недоліком процесу зварювання опором.

Нагрівання при зварюванні опором можна розглядати як накладення двох процесів: 1) нагрівання безконтактного стрижня теплотою Q_1 , що рівномірно виділяється на власному опорі по всій його встановлювальній довжині, з урахуванням втрат в електроді й на випромінювання; 2) додаткового нагрівання теплотою, що виділяється в стику і поширюється в сторони від нього:

$$Q_1 = I_{зв}^2 r_{\partial} t_{зв} = k_{\pi} I_{зв}^2 t_{зв} \rho_T \ell_0 / S,$$

де $I_{зв}$ – зварювальний струм; $t_{зв}$ – тривалість струму; k_{π} – коефіцієнт втрат; ℓ_0, S – установлювальна довжина та площа перерізу деталей, що зварюються; ρ_m – питомий електроопір (залежить від температури нагрівання).

Торці деталей у приконтактній зоні підігріваються до температури $T_{зв}$, нижчої за температуру плавлення металу $T_{пл}$ ($T_{зв} = 0,8...0,9 T_{пл}$).

Основна роль пластичної деформації полягає в забезпеченні електричних контактів (переважно протягом першого етапу нагрівання) і видаленні оксидів для утворення металевих зв'язків у стику (другий етап циклу зварювання).

Деформація відбувається під дією зусилля стиску, що створюється приводом зварювальної машини. Для утворення початкового електричного контакту достатньо невеликого тиску (5...10 МПа), при якому зазвичай від-



Рис. 2.16. Змінення електричного опору при стиковому зварюванні

бувається лише мікропластична деформація рельєфу поверхні торців. При малому тиску контактний опір великий, і його роль у тепловиділенні підвищується. Для видалення оксидів та утворення зв'язків потребується відносно більша об'ємна пластична деформація деталей, яка спричиняє інтенсивне витиснення переважно приконттактних нагрітих шарів металу і оксидів із зони зварювання.

При стиковому зварюванні в більшості випадків використовується вільна схема об'ємної деформації, при якій метал плине без будь-якого зовнішнього обмеження.

Об'ємну пластичну деформацію в умовах стикового зварювання часто характеризують коефіцієнтом площі $k_{пл}$ – відношенням кінцевої й початкової площ перерізу торців. При м'яких режимах зварювання збільшуються довжина зони термічного впливу і $k_{пл}$, при жорстких режимах $k_{пл}$ зменшується, тому що деформація локалізується на відносно короткій ділянці зварюваних деталей. При зварюванні опором допускається максимальне значення $k_{пл} < 4$. Така деформація зазвичай не забезпечує повного видалення оксидів. У той же час подальше збільшення $k_{пл}$ призводить до порушення монолітності металу зони зварювання. Значного збільшення області всебічного стиску, активізації витиснення оксидів і відновлення поверхні для утворення металевих зв'язків досягають при використанні схеми примусового формування стику в спеціальних затискачах, між якими локалізується деформація.

У процесі стикового зварювання про величину деформації роблять висновок за вкороченням деталей через осаджування $\Delta_{ос}$.

Зусилля осадження $F_{ос}$ збільшується при збільшенні перерізу зварюваних деталей, жароміцності металів і швидкості осадження. Чим більше швидкість осадження $V_{ос}$, тим менше ймовірність того, що у стику залишаться оксиди. Надмірне збільшення $V_{ос}$ іноді погіршує якість зварювання через утруднену пластичну деформацію.

На процес утворення з'єднання при стиковому зварюванні вирішальний вплив чинять оксидні плівки на торцевій поверхні деталей, які утруднюють міжатомну взаємодію й перешкоджають формуванню міцних металевих зв'язків. Оксидні плівки мають бути видалені із зони з'єднання або роздроблені в процесі пластичної деформації при осаджуванні.

При стиковому зварюванні торці відкриті для взаємодії з атмосферою. Умови руйнування та видалення оксидів при стиковому зварюванні залежать від температури торців, градієнта температур, властивостей оксидів і металів.

При зварюванні опором унаслідок порівняно малої пластичної деформації відбувається лише часткове руйнування й видалення оксидів. Відновлення поверхні (видалення з поверхні торців оксидів) становить при цьому не більше 60...70 %, що в загальному випадку означає відносно низьку пластичність з'єднань.

Підготовка деталей до стикового зварювання полягає в наданні їм торцям певної форми й ретельному очищенні їх поверхонь. Торцеві поверхні обробляють механічним різанням з допомогою ножиць, пилок, на метало-різальних верстатах або іншими засобами.

Параметри режиму стикового зварювання опором. Головними параметрами режиму стикового зварювання є струм зварювання $I_{зв}$ або густина струму $i_{зв}$, тривалість проходження струму $t_{зв}$, зусилля стиснення F_H ($F_{ос}$) або програма змінення зусилля під час зварювання (рис. 2.17), установлювальна довжина випуску деталей із затискачів L , зусилля затискання деталей у затискачах-електродах, припуск на осаджування $\Delta_{ос}$ (укорочення деталей при зварюванні).

Орієнтовні значення параметрів режиму вибирають після аналізу утворення з'єднання, особливостей матеріалу, що зварюється, і форми деталей, а також можливостей зварювального обладнання.

Зварювальний струм або його густина визначають з урахуванням площі перерізу і властивостей металу, що зварюється.

Для визначення $i_{зв}$, $t_{зв}$ використовують залежність

$$i_{зв} \sqrt{t_{зв}} = k \cdot 10^3,$$

де k – коефіцієнт, що для сталей дорівнює 8...10, для алюмінію – 20, для міді – 27.

Надмірне збільшення $i_{зв}$ може призвести до вибрикування металу, зменшення $t_{зв}$ спричиняє нерівномірне нагрівання деталей по перерізу, а збільшення посилює окиснювальні процеси.

Установлювальна довжина деталі L звичайно становить $(1,5...2,0)d$, де d – діаметр деталі, яку зварюють. При стиковому зварюванні різнорідних металів з метою забезпечення рівномірного нагрівання установлювальна довжина кожної деталі є різною. Для деталей із металу з більшою теплопровідністю установлювальна довжина має бути більшою.

Зусилля затискування деталей у губках зварювальної машини для запобігання просковзуванню має бути в 2–3 рази більшим, ніж зусилля осаджування.

Зусилля при нагріванні вибирають з умови забезпечення оптимального поширення температур у деталях.

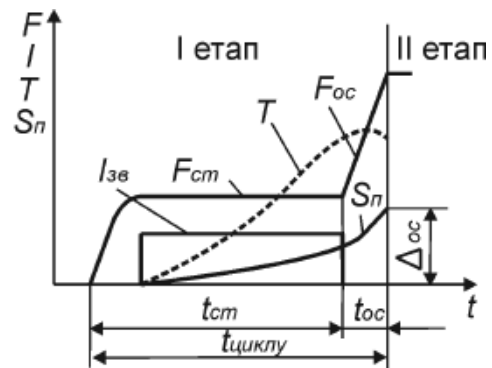


Рис. 2.17. Циклограма стикового зварювання опором:

$F_{ст}$, $F_{ос}$ – зусилля стиснення й осаджування; $I_{зв}$ – струм зварювальний; $t_{н}$, $t_{ос}$ – тривалість нагрівання, осаджування; $S_{п}$ – переміщення рухомого затискача

Зусилля осаджування визначається величиною припуску на осаджування – величиною пластичного деформування металів, а також якістю очищення стиків від оксидів. Зусилля осаджування збільшується при збільшенні перерізу зварюваних деталей жароміцності металів і швидкості осаджування.

Швидкість осаджування призначають з урахуванням її впливу на окиснення металу. Чим більше швидкість осаджування V_{oc} , тим менше ймовірність того, що зі стику не будуть видалені оксиди. Надмірне збільшення V_{oc} іноді погіршує якість зварювання через утруднену пластичну деформацію.

Припуск на осаджування Δ_{oc} містить припуски на осаджування під струмом та осаджування без струму, коли з'єднання ще знаходиться під дією зусилля осаджування.

Стикове зварювання оплавленням. Зварювання оплавленням відбувається у дві стадії: розігрівання металу стиків до оплавлення й подальше осаджування.

Деталі спочатку затискають в електродах-затискачах, потім на них подається напруга від зварювального трансформатора і тільки після цього повільно переміщують одну з деталей назустріч іншій з потрібною швидкістю для їх зіткнення.

Основна технологічна роль оплавлення полягає в нагріванні деталей до утворення на торцях шару розплавленого металу, а також відповідного розподілу температур у пришовній зоні для проведення подальшого осаджування з метою видалення розплаву й оксидів в облой.

Нагрівання при оплавленні в основному відбувається під дією теплоти, яка виділяється в контактному опорі $r_{\partial 1 \partial 2}$ (рис. 2.18), що визначається перемичками розплавленого металу, які знаходяться в іскровому проміжку. Частина теплоти, що виділяється у власному опорі деталей $r_{\partial 1}$, $r_{\partial 2}$ унаслідок відносно малої середньої густини струму, є невеликою і зазвичай не враховується в теплових розрахунках.

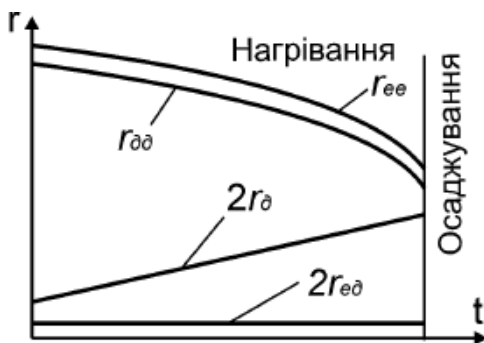


Рис. 2.18. Змінення електричного опору при стиковому зварюванні оплавленням

Механізм нагрівання при оплавленні можна описати таким чином. Під час зближення деталей при увімкненій напрузі й малому тиску між твердими або рідкими локальними ділянками поверхні торців утворюються електричні контакти. Нагрівання контактів відбувається струмом, що спричиняє їх швидке плавлення й утворення перемичок з рідкого металу (див. рис. 2.15, в). Перемички швидко руйнуються. Тривалість існування перемичок не перевищує 0,001...0,005 с. Форма й розміри

перемичок визначаються дією двох основних протилежно спрямованих сил: сил від поверхневого натягу F_n , що прагнуть при зближенні деталей зменшити зазор між торцями й збільшити діаметр перемички d_n , і електромагнітних сил F_c (пропорційних квадрату зварювального струму), що прагнуть стиснути й розірвати перемичку. Стискання перемички приводить до збільшення в ній густини струму і швидкості нагрівання. При досить великій густині струму метал у центрі перемички переходить у пароподібний стан і спричиняє її вибух.

Розплавлений метал викидається із зазору у вигляді іскор (зі швидкостями понад 60 м/с), що приводить до укорочування деталей.

Перемички в стадії формування до моменту руйнування є джерелами нагрівання (унаслідок теплопровідності) металу пришовної зони.

Для процесу оплавлення характерними є висока локальна густина струму в перемичках і мала середня густина струму в усьому перерізі деталей.

У деяких випадках при високій напрузі, малій тривалості існування перемичок, невеликій роботі виходу електронів і великій індуктивності контуру машини як додаткове джерело теплоти (крім перемичок) можуть стати дугові розряди, які нагрівають метал до більш високих температур. Дугові розряди виникають у періоди повного роз'єднання торців. При цьому запасена в магнітному полі енергія спричиняє перенапругу, пробій і появу електричної дуги. Виникнення наступної перемички шунтує дугу, і вона гасне.

Звичайно на початку оплавлення розподіл температури на оплавлених торцях є нерівномірним, причому ступінь нерівномірності в міру нагрівання зменшується. Середня температура на торцях зростає поступово доти, доки їх поверхні не покриються більш-менш рівномірним шаром розплавленого металу. Це забезпечується при сталому процесі оплавлення, коли перемички послідовно й багаторазово з великою частотою виникають по всій площі торців деталей.

На стійкість процесу оплавлення впливають: ефект саморегулювання, запас електричної потужності машин, попереднє підігрівання деталей перед оплавленням, геометрія з'єднань, локальна інтенсивність процесу, рід струму (змінний або постійний) та інші фактори.

Саморегулювання є основною умовою стійкого оплавлення. Для підтримання стійкого оплавлення, запобігання короткому замиканню, а також для довільного припинення оплавлення зниження r_{d1d2} має бути компенсоване швидким наростанням струму і підвищенням корисної потужності, що обмежує збільшення перерізу перемичок і полегшує їх руйнування. Таким чином, стійке оплавлення є можливим, якщо змінення зварювального струму й корисної потужності при зниженні опору r_{d1d2} мають однаковий знак.

При оплавленні для зближення деталей у стадії нагрівання викорис-

товують як «жорсткі», так і «нежорсткі» режими, що визначаються зміною параметрів процесу зварювання. Поширення набули переважно заздалегідь задані «жорсткі» програми переміщення рухомої плити машини.

При стиковому зварюванні оплавленням деформація характеризується Δ_{oc} , F_{oc} і швидкістю осаджування V_{oc} .

Параметри режиму зварювання оплавленням. Головними параметрами режиму зварювання оплавленням є швидкість оплавлення $V_{опл}$ та осаджування V_{oc} , напруга холостого ходу трансформатора U_{xx} , густина струму $i_{зв}$ або струм зварювання-оплавлення $I_{зв}$, припуски на оплавлення $\Delta_{опл}$ та осаджування Δ_{oc} , тривалість (час) оплавлення $t_{опл}$ та осаджування під струмом t_{oc} , зусилля осаджування $F_{зв}$, установлювальна довжина деталей L (рис. 2.19).

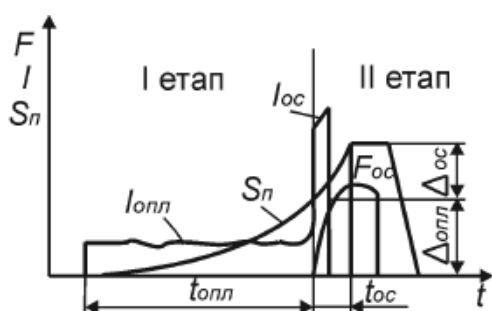


Рис. 2.19. Циклограма стикового зварювання оплавленням:

F_{oc} – зусилля осаджування;
 $I_{опл}$, I_{oc} – струм оплавлення та осаджування;
 $t_{опл}$, t_{oc} – тривалість оплавлення й осаджування;
 S_n – переміщення рухомого затискача;
 $\Delta_{опл}$, Δ_{oc} – припуски на оплавлення й осаджування

підвищенням температури торців.

Для стійкого рівномірного оплавлення миттєва швидкість зближення деталей має відповідати миттєвій швидкості оплавлення (швидкості фактичного вкорочення).

Густина струму, що має забезпечувати процес стійкого оплавлення, підвищується у випадку збільшення λ металу і $V_{опл}$, знижується при зварюванні з підігрівом, а також при зварюванні деталей з великим перерізом.

Припуск на осадження Δ_{oc} вибирають із умов видалення нагрітого металу й оксидів зі стику. Величина Δ_{oc} має бути достатньою для повного закриття зазору, витиснення окисненого й розплавленого металу і для деякої пластичної деформації нагрітого металу з метою усунення кратерів (див. рис. 2.15, в). При цьому значення Δ_{oc} залежить головним чином від

Швидкість оплавлення $V_{опл}$ залежить від теплофізичних властивостей металів, що зварюються, і умов оплавлення; впливає на температурне поле, рівномірність розподілу температур, рельєф поверхні торців, ступінь окиснювання металу торців, якість з'єднання; її вибирають із умов отримання необхідного розподілу температур у деталях.

Миттєва швидкість оплавлення визначається тепловою потужністю (кількістю теплоти, що виділяється в секунду), яка розвивається в іскровому проміжку при оплавленні; вона збільшується зі збільшенням теплової й корисної потужності, зі зменшенням градієнта температури і з

рельєфу поверхні торців. При збільшенні перерізу зварюваних деталей, збільшуються розміри перемичок і кратерів, відповідно збільшується Δ_{oc} . При зварюванні з підігрівом деформація поширюється на більшу довжину деталей і Δ_{oc} також збільшується.

Тиск осаджування, який вибирають залежно від металу, що зварюється, і ступеня нагрівання деталей, збільшується при збільшенні перерізу зварюваних деталей, жароміцності металів і швидкості осаджування.

Швидкість осаджування V_{oc} вибирають з урахуванням її впливу на окиснення металу при осаджуванні й видалення оксидів і перегрітого металу зі стику. Чим вище швидкість осаджування V_{oc} , тим менше ймовірність, що оксиди залишаться у стику. Надмірне збільшення V_{oc} іноді погіршує якість зварювання через утруднену пластичну деформацію.

Напругу холостого ходу вибирають мінімальною, щоб забезпечити стійке оплавлення.

Установлювальна довжина деталей

$$L = (L_1 + L_2) = \Delta_{опл} + \Delta_{oc} + \Delta_k,$$

де Δ_k – кінцева відстань між затискачами.

Для круглих стрижнів і товстостінних труб $L = (0,7 \dots 1)d$, де d – діаметр деталей, що зварюються. Якщо L є малою, то має місце велике відведення тепла в електроди, зменшення зони інтенсивного нагрівання, що потребує збільшення тиску осаджування. Зі збільшенням L збільшується потрібна потужність і зменшується жорсткість деталей.

Технологічний процес паяння металів опором. Паянням називають процес з'єднання металів у твердому стані припоями, які при температурі паяння змочують поверхні, що паяються, заповнюють зазор між ними і при кристалізації утворюють паяний шов.

Технологія паяння – це комплекс послідовно виконуваних операцій, основними з яких є підготовка поверхні деталей, що з'єднуються, складання, паяння й оброблення деталей після паяння. Незалежно від застосовуваного способу паяння для одержання якісних паяних з'єднань є необхідним:

1. Ретельне очищення перед паянням поверхонь з'єднуваних деталей від забруднень та оксидних плівок. При паянні вони перешкоджають взаємодії між основним металом і розплавленим припоєм і, отже, утворенню спаїв.

2. Дотримання при складанні деталей під паяння встановлених сполучних зазорів.

3. Видалення окисної плівки з поверхонь основного металу, що з'єднується, і припою в процесі паяння. Для одержання паяного з'єднання недостатньо перед процесом паяння очистити поверхні металів, що з'єднуються, необхідно також забезпечити надійні умови видалення окисної плівки безпосередньо в процесі паяння.

4. Рівномірне нагрівання поверхонь з'єднуваних деталей до температури паяння. При паянні потрібно забезпечити однакові умови взаємодії, з одного боку, між флюсом (газовим середовищем), припоєм та основним металом, а з іншого – між розплавленим припоєм та основним металом.

Флюси та їх роль. Процес взаємодії твердого металу, що паяється, з розплавленим припоєм може відбуватися активно тільки після видалення з їх поверхні окисної плівки, що перешкоджає утворенню між ними металевого зв'язку. Тому місце паяння очищується механічним і хімічним засобами, а в процесі паяння застосовують флюси, які додатково очищують поверхню металу від оксидних і жиркових плівок, а також запобігають окиснюванню металу при нагріванні.

Одночасно зі здатністю видаляти окисну плівку й захищати основний метал і припій від окиснювання необхідно, щоб флюс задовольняв таким вимогам: при температурі паяння мав достатню плинність у рідкому стані, сприяв формуванню шва, не змінював свого складу, протягом усього процесу зберігав флюсувальні властивості, легко видалявся після паяння. Залишки флюсу не мають корозійно впливати на метал, який паяють.

Флюс, нанесений на припій і з'єднувані поверхні, при нагріванні плавиться, розтікається, змочує їх і при деякій температурі, яку називають мінімальною температурою дії флюсу, вступає в хімічні взаємодії, унаслідок чого видаляється окисна плівка. З підвищенням температури інтенсивність цієї взаємодії підсилюється. Верхньою межею температурного інтервалу дії флюсу є температура, при якій істотно знижується його активність унаслідок випарювання окремих компонентів, і починається окиснювання основного металу й припою під флюсом. Інтервал між мінімальною й максимальною температурами дії флюсу називають температурним інтервалом дії флюсу.

Композиція флюсів. Залежно від фізико-хімічних властивостей металів, що паяються, і припою застосовують такі компоненти флюсу: солі, кислоти, окиси, а також речовини органічного походження. Флюси можуть бути однорідними речовинами, наприклад тетраборнокислий натрій (зневоднена бура) $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$ або хлористий цинк ZnCl_2 , і складними, що складаються з двох і більше компонентів (з основи, розчинника окисної плівки й активної або основної флюсувальної речовини).

У наявних складних флюсах, що застосовуються для високотемпературного паяння, основою найчастіше є стійкі при нагріванні солі або системи солей, наприклад $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$, KCl-NaCl , KCl-LiCl та ін.

Паяльний флюс повинен мати флюсувальні властивості як стосовно основного металу, так і припою, що мають різний хімічний склад і властивості взаємодіяти з окисною плівкою на поверхні основного металу й припою, і у рідкому стані змочувати їх. Цього можна досягти або підбором флюсувальних речовин, активних до окисної плівки основного металу й

припою, або введенням декількох флюсувальних речовин. Адгезія розплавленого флюсу до основного металу має бути меншою, ніж розплавленого припою, що досягається відповідною композицією флюсу.

Застосовувані сьогодні флюси за складом можна поділити на такі групи: 1) флюси на основі сполук бору; 2) флюси на основі фтористих сполук металів; 3) флюси на основі хлористих сполук металів; 4) окисні флюси; 5) флюси на основі каніфолі та інших органічних сполук.

До першої групи належать флюси, що складаються з тетраборнокислого натрію, борної кислоти, борного ангідриду, а також флюси більш складного складу на основі цих речовин.

Тетраборнокислий натрій одержують шляхом зневоднювання гідрату тетраборнокислого натрію $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ (бури). При нагріванні до 80°C відбувається видалення 80 % кристалізаційної води. Повне зневоднення настає при температурі $350\text{--}400^\circ\text{C}$. Тетраборнокислий натрій плавиться при температурі близько 740°C , але до 800°C він залишається дуже в'язким, тому паяння із застосуванням його як флюсу може виконуватися тільки при температурах, вищих за 800°C .

Механізм флюсування. Теорія флюсування щодо паяння майже не розроблена. Відповідно до наявних уявлень механізми взаємодії активних компонентів флюсів у процесі паяння зводять до такого:

1. Хімічна взаємодія між активною флюсувальною речовиною й окисною плівкою, унаслідок чого плівка зв'язується в сполуки, розчини у флюсі, утворюючи порівняно легкоплавкі шлаки.

2. Хімічна взаємодія між активною флюсувальною речовиною й металом, унаслідок чого відбувається руйнування й поступове відривання окисної плівки від основного металу й перехід її в шлаки.

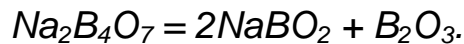
3. Адсорбційне зниження міцності окисної плівки внаслідок розплавлення припою і здрибнювання її на частинки колоїдних розмірів.

4. Розчинення окисної плівки основного металу й припою у флюсі.

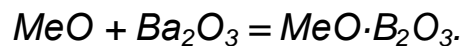
Якщо процес флюсування при паянні розглядати схематично, то він проходить у такій технологічній послідовності. При нагріванні основного металу відбувається поступове руйнування наявної на його поверхні окисної плівки внаслідок видалення кристалізаційної води й розкладання нестійких сполук. Окисна плівка при цьому трохи розпушується. Після розплавлення флюсу відбувається змочування ним окисної поверхні основного металу, створюються умови для взаємодії активних компонентів флюсів з поверхнею основного металу й припою.

Після розтікання флюсу й змочування ним основного металу відбувається диспергування окисної плівки. Одночасно через неоднакову здатність флюсу розчиняти до окисів різних металів відбувається вибіркове їх розчинення. Плівка поступово руйнується флюсом, стає більш пористою із сильно розвиненою поверхнею. Однак розчинення окисів у флюсі відбувається повільно й не приводить до порушення зв'язку між металом та окис-

ною плівкою. Для цього необхідним є більш активний процес, що спричиняє або перебудову в структурі окисної плівки, що перебуває в контакті з розплавленим флюсом, унаслідок чого порушується її зв'язок з основним металом, або відрив окисної плівки через поширення реакції під шар окисної плівки. У першому випадку, коли активна флюсувальна речовина взаємодіє з окисною плівкою, процес флюсування відбувається одночасно по всій поверхні основного металу й припою. Таке флюсування є характерним для флюсів, що містять борати. Так, тетраборнокислий натрій при флюсуванні розкладається з виділенням борного ангідриду, який є активним компонентом флюсів:



При флюсуванні він впливає на окисну плівку основного металу й припою, головним чином хімічно зв'язуючи окиси в комплекси за реакцією



Якщо в процесі флюсування відбувається реакція між активною флюсувальною речовиною і паяльним металом, то окисна плівка видаляється в основному внаслідок її механічного руйнування. Флюс проникає через мікропори і мікротріщини в плівці й реагує з основним металом. Унаслідок цієї реакції частинки окисної плівки відриваються й переходять у шлаки.

Склад і властивості припоїв. Як припої для паяння металів застосовуються як чисті метали, так і сплави. Щоб задовольняти умови процесу паяння й забезпечити одержання якісних паяних з'єднань, припої мають відповідати таким вимогам:

1. Мати температуру плавлення нижче температури плавлення металів, що паяються.
2. При температурі паяння добре змочувати основний метал, заповнювати сполучні зазори.
3. Забезпечувати одержання міцних і корозійностійких паяних з'єднань.
4. Мати близький з металом, що паяється, коефіцієнт термічного розширення.
5. Якщо можливо, не містити дефіцитних компонентів.
6. Мати загальнодоступну технологію виробництва й застосування.

У машинобудуванні найбільшого поширення набули припої на основі міді, срібла та нікелю.

Недоліком міді як припою є порівняно висока температура плавлення (1083 °С), що обумовило її застосування головним чином при грубому паянні сталевих виробів.

Широке застосування латунних припоїв для паяння мідних сплавів і сталей пояснюється їх відносно низькою температурою плавлення, вузьким інтервалом кристалізації, великою розчинністю цинку в міді і недефі-

цитністю. Температура паяння сталей латунними припоями – 850...950 °С.

При паянні сталі латунню, що містить 60 % Си, міцність паяних з'єднань є вищою від міцності припою й підвищується зі збільшенням вмісту у шві та припої р-фази.

Найбільшого поширення набули припої латуні Л63 і Л68, їх використовують для паяння з'єднань, що працюють у порівняно напружених умовах, при яких потребується висока пластичність шва.

Основний недолік латунних припоїв полягає в частковому випаровуванні цинку при паянні внаслідок високого тиску його пари. Чистий цинк кипить при температурі 906 °С. У латунях температура випаровування цинку підвищується й дорівнює 1000 °С при 50 % Си, 1200 °С при 75 % Си і 1400 °С при 85 % Си. З латуней цинк випаровується у вигляді білого окису цинку Zn, що має температуру плавлення 1975 °С. Температура випаровування цинку з латунних припоїв відрізняється від їх температури плавлення всього лише на ~100 °С. Перегрівання латунних припоїв при паянні – досить небажане явище, тому що погіршуються властивості паяних з'єднань (виникає пористість).

Недоліком латуні Л63 як припою крім зниженої плинності в рідкому стані і схильності до вигорання цинку є також погане затікання в зазор.

Паяння опором. При цьому способі паяння нагрівання здійснюється теплом, що виділяється електричним струмом при проходженні через деталі, що паяються, і струмопідвідні елементи. Паяння опором найбільше застосовується для з'єднань, що мають відносно малу протяжність.

Для паяння опором деталі, що з'єднуються, мають бути розташовані таким чином, щоб до них можна було прикласти тиск, не спричиняючи їх викривлення при температурі паяння.

Паяння опором можна проводити на точкових, стикових і роликкових контактних зварювальних машинах. Спеціальні машини для паяння опором принципово нічим не відрізняються від зварювальних.

Зона паяння може нагріватися різними способами:

– струм проходить через обидві деталі, які встановлено між електродами (рис. 2.20, а);

– струм проходить через одну деталь, а інша нагрівається від першої внаслідок теплопровідності (рис. 2.20, б);

– струм проходить через вугільну пластину, установлену між електродами й виробом, від якої внаслідок теплопровідності нагрівається зона паяння (рис. 2.20, в).

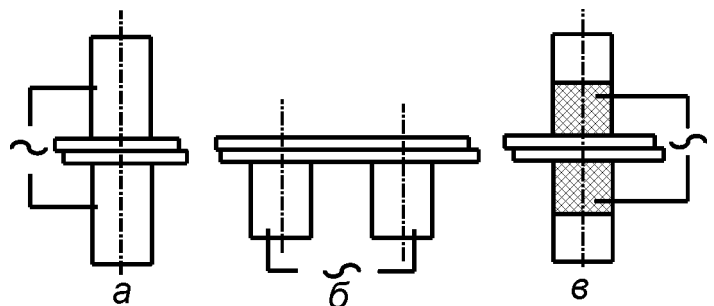


Рис. 2.20. Способи нагрівання деталей при контактному паянні

Оскільки в контактних зварювальних машинах застосовується струм низької напруги, то тверді флюси при паянні є непридатними, тому що вони є ізоляторами. Паяння опором зазвичай виконується без флюсів та інших засобів захисту основного металу й припою від окиснювання, тому що нагрівання проходить дуже швидко, а припій захищений від окиснювання основним металом. Якість паяних з'єднань виходить високою при мінімальному жолобленні деталей. Припій у вигляді фольги завтовшки 0,05...0,15 мм наносять на з'єднувальні поверхні гальванічним шляхом, металізацією та ін.

Переваги паяння опором на контактних машинах – висока продуктивність і можливість спостерігати за процесом формування паяного з'єднання. Недолік – труднощі підведення контактних затискачів до місця паяння, що не дає змоги застосувати його для деталей складної конфігурації.

У цій роботі паяння зразків виконується припоями на машині МС-301.

Режим паяння визначається умовою нагрівання, тривалістю витримки при T_n , умовами охолодження. Температура T_n звичайно вибирається на 30...50 °С вище $T_{пл}$ припою. Витримка при T_n має бути такою, щоб припій встиг розплавитися, заповнити зазори й утворити галтели. Режим охолодження вибирається таким, щоб не допустити сильного окиснювання металу й утворення тріщин від термічних напружень, уникнути пористості шва, що виникає при швидкому затвердінні припою.

Режим паяння встановлюють дослідним шляхом залежно від товщини з'єднуваних деталей, властивостей основного металу і припою.

Машину для стикового зварювання МС-301 призначено для електростикового зварювання опором деталей зі сталей і деяких кольорових металів і сплавів. На машині можна також виконувати паяння металів опором.

Технічні дані

Номинальна потужність, кВт	5
Напруга живлення, В	380
Переріз зварюваних деталей, мм ² :	
сталь.....	50
мідні сплави	8...20
Максимальне зусилля стискання, кН	3
Кількість ступенів регулювання	6
Вторинна напруга, В	1...1,8
Зварювальний струм, кА	6,8...12,2

У верхній частині корпусу розташовано трансформатор для контактного зварювання (ТК) броньового типу з перемикачами ступеня потужності ПС1 і ПС2 (рис. 2.21).

На передній стінці машини встановлено сигнальну лампочку, кнопки «Стоп» і «Відпалювання», ножиці для обрізання деталей.

На верхній плиті корпусу кріпиться нерухомий затискач важільно-ексцентрикового типу 1. Рухомий затискач 2 установлено на хиткому важелі 3, ексцентрикова вісь якого закріплена в отворах на передній і задній стінках корпусу.

Деталі стискаються із зусиллям осадження $F_{зв}$ при переміщенні до упору важеля 4, кривошип якого, стискаючи пружину 5, передає зусилля через гвинт 7 з кульовим шарніром 6 на рухомий затискач 2.

Зусилля, передане на деталі, установлюється затягуванням пружини 5 гайкою 8. Початкова відстань між затискачами L регулюється гвинтом 6. На рухомому затискачі встановлено штовхач 9, яким регулюється припуск на осаджування під струмом $\Delta_{ос.см}$.

При натисканні кнопки «Пуск» (КП), розташованої на ручці важеля, блок контакторів (БК) підмикає первинну обмотку зварювального трансформатора до мережі. Зварювальний струм вимикається кінцевим вимикачем (ВК), що спрацьовує від штовхача 9 при досягненні заданого осадження, або кнопкою «Стоп» (КС) вручну.

Для відпалювання деталей необхідно натиснути кнопку відпалювання (КВ). Струм вмикається тільки на час, протягом якого ця кнопка перебуває в натиснутому положенні (рис. 2.22).

При налаштуванні машини для зварювання опором залежно від перерізу й матеріалу зварюваних деталей установлюють: ступінь потужності; зусилля стиснення деталей $F_{зв}$; припуск на осаджування під струмом $\Delta_{ос}$; установлювальну довжину деталей L .

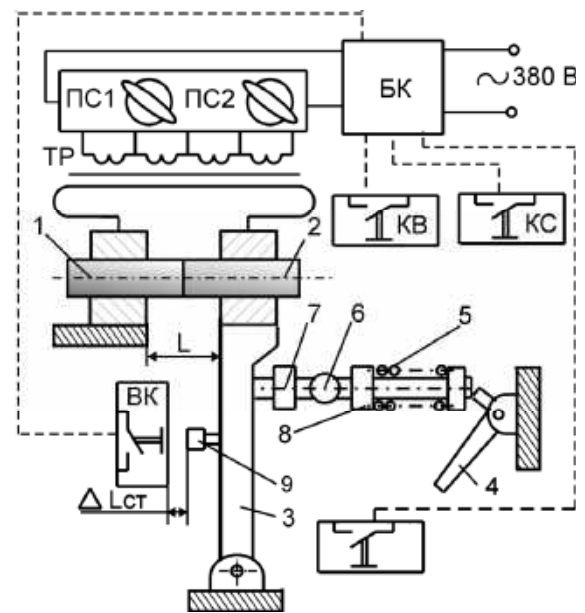


Рис. 2.21. Принципова схема машини МС-301

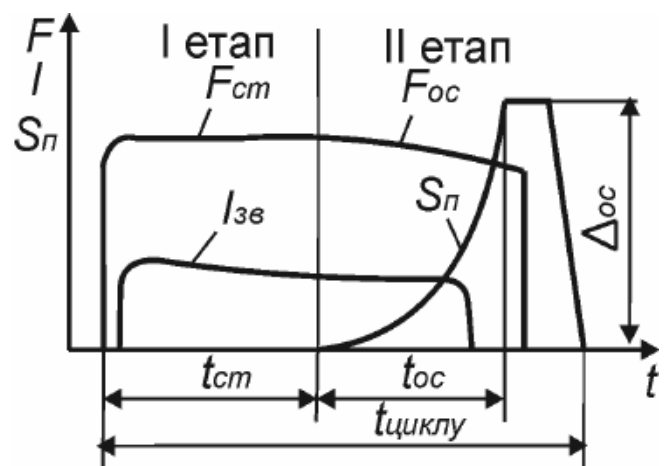


Рис. 2.22. Циклограма стикового зварювання на машині МС-301: $F_{ст}$, $F_{ос}$ – зусилля стиснення та осаджування; $I_{зв}$ – струм зварювальний; $t_{ст}$, $t_{ос}$ – тривалість стиснення, осаджування; $S_п$ – переміщення рухомого затискача

Порядок роботи на машині. При зварюванні опором:

1. Налаштувати машину відповідно до заданого режиму.
2. Відвести важіль у крайнє від себе положення.
3. Установити деталі в затискачах без зазору.
4. Відвести важіль від упору на себе.
5. Визначити положення рухомого затискача відносно лінійки, укріпленої на верхній плиті корпусу.
6. Кнопкою «Пуск» увімкнути зварювальний струм і зварити деталі.
7. З допомогою лінійки проконтролювати розмір припуску на осаджування.
8. Звільнити деталі, які зварювали, від затискачів.

При паянні опором:

1. Установити необхідний ступінь потужності.
2. Покрити торці деталей і пластинку припою флюсом.
3. Установити в затискачах деталі із зазором між ними 1,5...2,0 мм.
4. Помістити пластинку припою в зазор і з допомогою важеля затиснути її між деталями.
5. Кнопкою «Пуск» увімкнути струм і після повного розплавлення припою вимкнути струм кнопкою «Стоп», не допускаючи перегріву припою.
6. Звільнити деталі, які зварювали, від затискачів.

Методика роботи

1. Ознайомитися із суттю електроконтактного стикового зварювання. Визначити особливості формування стику.
2. Ознайомитися із суттю паяння опором, визначити особливості формування стику.
3. Визначити вплив параметрів режиму на параметри зварного з'єднання.
4. Ознайомитися з будовою машини МС-301.
5. Провести тренувальне зварювання відповідно до «Порядку роботи на машині».
6. Установити режими зварювання, паяння (за вказівкою викладача), виконати зварювання (паяння) зразків, перевірити на міцність зварні з'єднання.
7. Скласти звіт, виконати аналіз отриманих результатів.

Обладнання й матеріали

1. Пост для контактного стикового зварювання.
2. Машина для електроконтактного стикового зварювання опором МС-301.
3. Розривна машина.
4. Зварювальні матеріали: деталі з вуглецевої та низьколегованої сталі діаметром 6...8 мм; флюс для паяння – $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ (бура); припій для паяння – фольга Л-63.

Зміст звіту

1. Схема електроконтактного стикового зварювання.
2. Особливості формування стику, параметри режиму та їх вплив на параметри зварного з'єднання.
3. Технічні дані, специфікація основних вузлів.
4. Принципова схема машини МС-301.
5. Результати досліджень (табл. 2.3).
6. Аналіз отриманих результатів. Висновки (обґрунтування оптимального режиму зварювання).

Таблиця 2.3

Протокол режиму зварювання й випробування зразків

Марка основного металу _____ Переріз зразків _____ Марка припою _____ Марка флюсу _____ Вид з'єднання _____						
Номер зразка	Зусилля стиснення $F_{зв}$, кН	Ступінь потужності	Час зварювання $t_{зв}$, с	Зусилля руйнування F , кН	Характер руйнування	Примітки
1						

Контрольні запитання

1. Як відбувається виділення тепла при електроконтактному стиковому зварюванні?
2. Укажіть порядок операцій при стиковому зварюванні опором та оплавленням.
3. Укажіть основні параметри режиму зварювання опором та оплавленням.
4. Яким є розподіл температур у зоні нагрівання при зварюванні опором та оплавленням?
5. Перелічіть основні вузли механізму стиснення машини МС-301 та укажіть їх призначення.
6. Перелічіть основні вузли електричної схеми машини МС-301 та укажіть їх призначення.
7. Розкажіть про технологічний процес паяння металів.
8. Укажіть склад та властивості флюсів.
9. Укажіть склад та властивості припоїв.
10. Назвіть основні параметри режиму паяння опором.
11. Укажіть порядок операцій при паянні опором на машині МС-301.

Практична робота № 9

ЕЛЕКТРОКОНТАКТНЕ ШОВНЕ ЗВАРЮВАННЯ

Мета роботи: ознайомитися з технологічним процесом шовного електроконтактного зварювання та пристроєм МШ-1601; відповідно до завдання вибрати режими зварювання, налаштувати машину й зварити зразки; випробувати шви на герметичність і вибрати оптимальні режими зварювання.

Теретичні відомості

Суть процесу шовного контактного зварювання. З певним наближенням шовне зварювання можна розглядати як особливий випадок точкового, коли відстань між точками (1) є мінімальною (рис. 2.23). При шовному зварюванні листових деталей (2, 3) використовуються електроди у формі дисків (4, 5), що підводять струм, передають зусилля зварювання $F_{зв}$ і переміщують деталі з потрібною швидкістю внаслідок обертання навколо власної осі ($V_{об}$).

Характер утворення з'єднання при точковому й шовному зварюванні, особливо при кроковому, є аналогічним. Як і при точковому зварюванні, пропускання струму через деталі спричиняє в зоні, рівновіддаленій від контактних поверхонь роликів, розплавлення металу, з якого після затвердіння формується зварний роликівий шов. З'єднання формується у рідкій фазі безперервними або переривчастими швами з підведенням струму з обох боків деталей або з одного (рис. 2.4).

Під час шовного зварювання частина вторинного струму машини шунтується – проходить уздовж зони розплавлення крізь точки, що виникли раніше ($I_{ш1}$), та ущільнювальний поясок попереду ролика-електрода ($I_{ш2}$) (рис. 2.23, а).

Шунтування значною мірою порушує симетрію електричного струму і

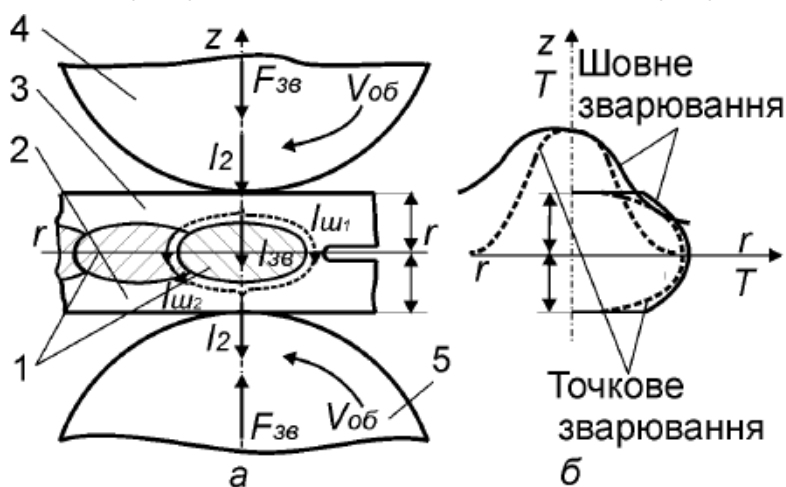


Рис. 2.23. Шовне зварювання: а - шунтування струму, що зварює; б - розподіл температур

при малій відстані між точками може привести до зменшення густини струму $I_{зв}$ і розмірів литого ядра. Це явище є особливо помітним при зварюванні металів з низьким питомим опором. При зварюванні металів з підвищеним питомим опором або під час зварювання на великих швидкостях частка вторинного струму I_2 , що шунтується, є незначною.

Струм шунтування зменшується в процесі зварювання внаслідок нагрівання шунта й зменшення r_{ee} .

При шовному зварюванні герметичних з'єднань через підвищену температуру точки, звареної раніше, струм шунтування є незначним, особливо при великій швидкості і безперервному обертанні роликів.

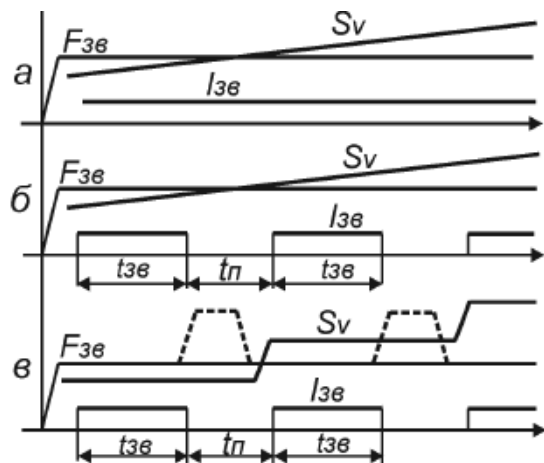
Явище шунтування має також і позитивне значення. Під дією струму шунтування відбувається додаткове нагрівання зварного шва, яке знімає частину напружень, а також допомагає деякій дифузії елементів.

На рис. 2.23, б зображено розподіл температури при роликовому зварюванні міцно-щільного з'єднання і точковому зварюванні, виконаних у приблизно однакових умовах, тобто при однакових розмірах литого ядра, величині струму, тиску електродів і тривалості імпульсу струму. Порівняння показує, що в першому випадку особливо значно нагрівається метал, що видавлюється з-під роликів.

Унаслідок підвищення температури металу, де формується нове лите ядро, підвищення тепла Джоуля на контактних опорах (електрод – деталь і деталь – деталь) є суттєво меншим, ніж при точковому зварюванні. Тому швидкість кристалізації ядра зменшується, що значно зменшує величини залишкових напружень у зварній конструкції.

Зварювання можна здійснювати при безперервному (рис. 2.24, а) і переривчастому вмиканні струму (рис. 2.24, б, в). При безперервному поданні струму й обертанні роликів кристалізація металу, розплавленого при зварюванні, буде закінчуватися вже після переміщення роликів, що, як і передчасне зняття тиску, буде причиною погіршення якості зварювання. При цьому різко підвищується швидкість зварювання, але знижується стійкість електродів і збільшуються деформації. У такому режимі можна зварювати шви невеликої довжини і у невідповідальних конструкціях.

Рис. 2.24. Циклограма шовного зварювання: а – з безперервним вмиканням $I_{3в}$, з безперервним обертанням роликів S_v , постійним $F_{3в}$; б – з імпульсним вмиканням струму $I_{3в}$ ($t_{3в}$, t_n – тривалості зварювання та паузи) з безперервним обертанням роликів S_v , постійним $F_{3в}$; в – з імпульсним вмиканням струму $I_{3в}$, з кроковим обертанням роликів S_v , постійним $F_{3в}$ або з проковзуванням шва F_k



Найбільшого поширення набуло зварювання із вмиканням струму окремими імпульсами. У цьому випадку точка утворюється при проходженні кожного окремого імпульсу. Під час паузи між імпульсами роликів і деталі встигають частково охолонути, тому стійкість роликів підвищується,

зменшується ширина зони термічного впливу, знижуються залишкові деформації. Для одержання герметичного шва переривчастим способом тривалість імпульсу струму $t_{зв}$, паузи t_n і швидкість обертання роликів $V_{об}$ вибирають таким чином, щоб точки перекривали одна одну на 30...50 %. При великій швидкості переміщення деталей і малій частоті імпульсів можна одержати міцні, але негерметичні шви.

При зварюванні деяких матеріалів, що дають значну усадку при затвердінні, наприклад алюмінієвих сплавів, рекомендується крокове (переривчасте) зварювання (див. рис. 2.24, в), яке полягає в тому, що в період подання зварювального струму дискові електроди (ролики) є нерухомими відносно виробу, а переміщення виробу відбувається внаслідок періодичного повороту електродів на невеликий кут у паузах між імпульсами струму. Зупинка роликів у момент пропускання струму прискорює кристалізацію точки, сприяє ущільненню швів, інтенсивному охолодженню деталей і робочої поверхні роликів і зменшує їх спрацювання. При цьому стабілізуються контакти, усувається проковзування роликів, знижується температура в контакті електрод – деталь, зменшується хімічна взаємодія металів електрода й деталі.

Тиск на електродах може бути постійним (див. рис. 2.24, а, б) або збільшуватися наприкінці зварювання (див. рис. 2.24, в). Останнє дає змогу здійснювати проковування точки.

Особливості теплового процесу при шовному зварюванні призводять до налипання частинок зварюваного металу на роликах, особливо при зварюванні легких сплавів, а це потребує зачищення роликів через кожний оберт.

Частинки прилиплого металу є сильно окисненими й значно погіршують тепло- та електропровідність контакту електрод – деталь, що призводить до ще більш значного перегрівання і навіть пропалювання зовнішніх шарів металу зварного з'єднання.

З метою зменшення нагрівання зовнішніх шарів металу й налипання застосовується шовне зварювання з так званим кроковим рухом.

У металі пришовної зони внаслідок впливу термомеханічного циклу шовного зварювання відбуваються зміни вихідної структури та механічних властивостей. Тут можна виявити ділянки гартування, відпускання, перегрівання, рекристалізаційні та ліквідаційні зони. Розвиток процесів, що спричиняють подібні явища, можна частково регулювати зміною швидкості зварювання, струму і зусилля зварювання, а також охолодженням деталей та електродів. Нерівномірність хімічного складу та структурного стану металу швів і зон термічного впливу виправляють термічним обробленням зварної конструкції.

Пластичне деформування металу при шовному зварюванні має деякі особливості (рис. 2.25). Перша точка виникає за схемою формування з'єднання під час точкового зварювання, коли частина нагрітого металу

витискується з-під електродів у зазор між деталями завдяки тепловому розширенню металу, що знаходиться між електродами. При зварюванні наступних точок перед роликком метал деформується в зазор, як і при точковому зварюванні, а за роликком метал витісняється під ролик. Такий характер пластичної деформації спричиняє появу серпоподібного рельєфу на поверхні швів.

Черед відносно високу теплоємність зони з'єднання при шовному зварюванні загальний ступінь пластичної деформації і розміри ущільнювального пояска є більшими. Це дає можливість трохи зменшити час зварювання і зусилля порівнянно з режимами точкового зварювання. З іншого боку, деформація поверхневого шару металу призводить до прискореного спрацювання роликків.

Пластична деформація може вплинути на щільність шва. Так, при зварюванні наступних точок унаслідок повторного нагрівання й пластичного деформування металу раковини в попередніх точках можуть заповнюватися деформівним металом. А коли цього не відбувається, наприклад під час затвердіння рідкого металу, що має тривалий інтервал кристалізації, для запобігання виникненню пухкостей, гарячих тріщин і зменшення залишкових напружень і ущільнення литого ядра застосовується крокове обертання електродів.

Параметрами режиму шовного зварювання є сила зварювального струму $I_{зв}$, тривалість проходження струму $t_{зв}$ і паузи t_n , стискальне зусилля електродів $F_{зв}$, швидкість зварювання $V_{зв}$ і розміри електродів.

Силу зварювального струму вибирають залежно від товщини, фізико-хімічних властивостей металу деталей і швидкості зварювання (на 15...25 % вищої, ніж при точковому зварюванні).

Інші параметри також вибирають залежно від товщини й матеріалу зварюваних деталей, а також від вимог до зварного шва (наприклад, забезпечення герметичності шва).

Оптимальні режими шовного зварювання різних металів і сплавів зазвичай підбираються експериментально. Ці режими наведено в спеціальних виробничих інструкціях.

На режим зварювання істотно впливають теплофізичні, хімічні й механічні властивості металів, тип і параметри кристалічних ґрат, інтервал кристалізації і температурний інтервал крихкості, властивості оксидних плівок та ін.

Питомий електроопір (ρ_0) багато в чому визначає зварювальний струм і тип машини. Чим меншим є ρ_0 , тим більшим має бути $I_{зв}$, і навпаки.

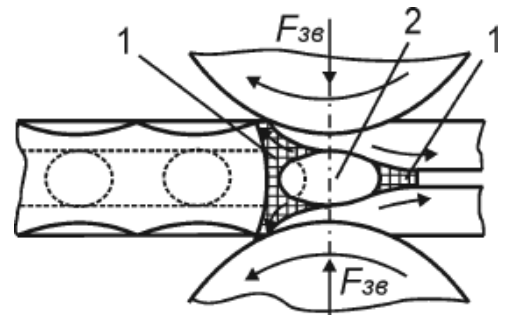


Рис. 2.25. Напрямок пластичної деформації: 1 – зона інтенсивної деформації; 2 – метал, що розплавився

Наприклад, при зварюванні алюмінієвих сплавів потребуються значно більші струми, ніж при зварюванні сталей.

Коефіцієнт теплопровідності (λ) і зв'язаний з ним коефіцієнт температуропровідності (a) обумовлюють температуру в контакті електрод – деталь й розсіювання теплоти в пришовній зоні. Зі збільшенням λ зменшують $I_{зв}$, використовують більш жорсткі режими.

Температура плавлення сплаву ($T_{пл}$) впливає на витрати теплоти, значення $I_{зв}$, а також на температуру в контакті електрод – деталь та інтенсивність масоперенесення.

Зі збільшенням коефіцієнта лінійного розширення (α) та умовного опору пластичній деформації (σ_{∂}) металу підвищується схильність до внутрішніх вибризувань, підвищується рівень залишкових напружень і деформацій. При зварюванні металів з більшими значеннями σ_{∂} доводиться різко збільшувати $I_{зв}$, установлювати більш м'який режим.

Інтервал кристалізації і температурний інтервал крихкості (ТІК) визначають схильність до утворення гарячих тріщин. Чим ширше інтервал, тим більше схильність до гарячих тріщин.

Тип і параметр кристалічних ґрат, температура плавлення визначають спорідненість при зварюванні різнорідних сплавів, кінцеву структуру і властивості металу ядра.

Властивості деяких металів змінюються з підвищенням температури (ρ_0 , λ , a). Для компенсації цього впливу нерідко вводять попереднє підігрівання додатковим імпульсом струму (для підвищення ρ_0 , зменшення λ і a). Це дає змогу знизити $I_{зв}$ і полегшити формування з'єднань.

Електричні й фізико-механічні властивості поверхневих плівок впливають на тепловиділення в контактах і масоперенесення.

Машину МШ-1601 призначено для електроконтактного шовного зварювання маловуглецевих і легованих сталей.

Технічні дані

Максимальна потужність, кВт	75
Номинальний зварювальний струм, кА	16
Вторинна напруга, В	2,14...4,28
Кількість ступенів регулювання потужності	8
Швидкість зварювання, м/хв	0,8...45
Робочий хід верхнього електрода, мм	50
Номинальний виліт електродів, мм	400
Стискальне зусилля електродів, Н	5000
Товщина зварюваного листа, мм	0,5...1,5

Машина МШ-1601 (рис. 2.26) складається зі зварювального трансформатора (ТЗ) з перемикачем ступенів потужності (ПС), універсального верхнього електродного пристрою 3, нижнього електродного пристрою для

поперечного (поздовжнього) зварювання 2, приводу обертання 14 верхніх роликів, пневматичної системи із приводом стиснення 4, блока керування (БК).

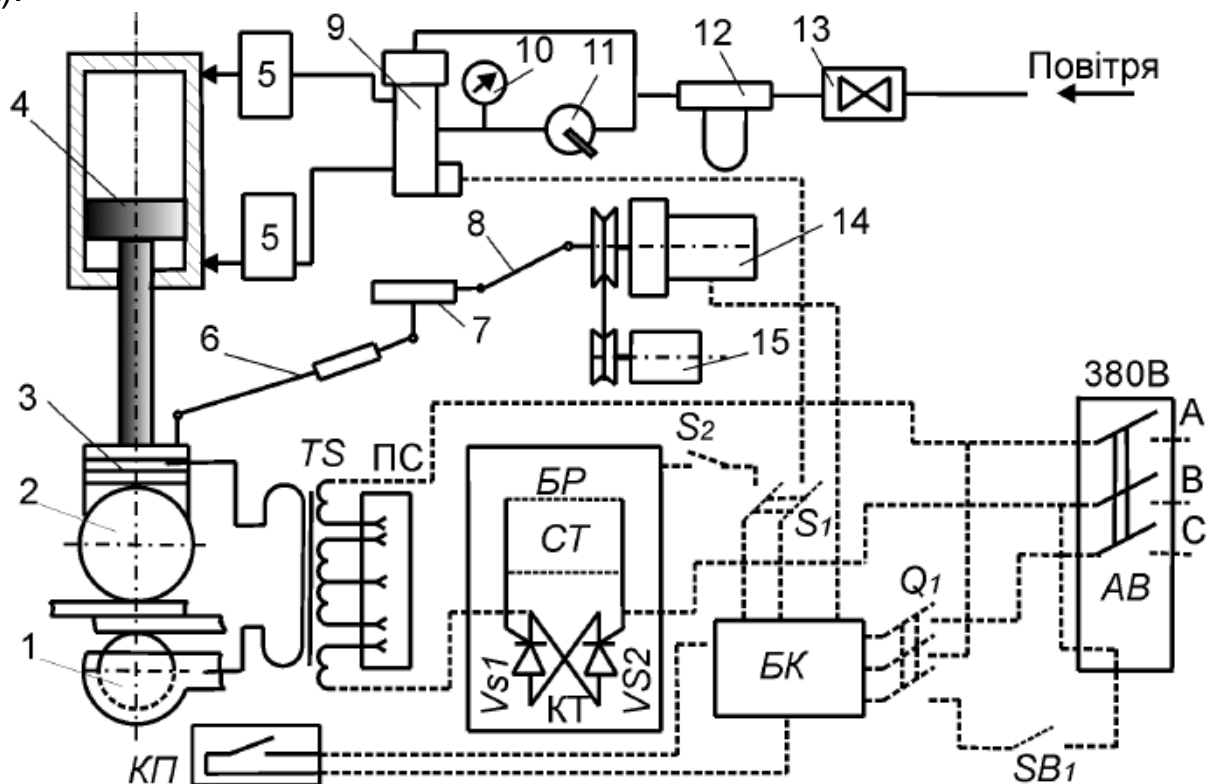


Рис. 2.26. Принципова схема машини МТ-1606

Машина має систему охолодження частин, що підводять струм, проточною водою з водопроводу. Охолоджують зварювальний трансформатор, верхній струмовідвід, верхній струмопровідний вал і верхній зварювальний ролик, нижній струмопровідний вал і нижній зварювальний ролик.

Привід обертання верхнього ролика. Для обертання верхнього ролика застосовується привід, у якому між електродвигуном і робочим механізмом встановлено електромагнітну муфту ковзання, яка дає змогу змінювати швидкість обертання вихідного вала муфти при незмінній швидкості електродвигуна. Як датчик швидкості застосовується тахогенератор 15, що клинопасовою передачею зв'язаний з вихідним валом муфти.

Швидкість обертання вихідного вала муфти регулюється ступінчасто з допомогою перемикача. Обертання вихідного вала муфти передається на верхній ролик через карданний вал 8, черв'ячний редуктор 7, телескопічний карданний вал 6 і редуктор верхнього електродного пристрою 3.

Пневматичний привід стиснення. Опускання, піднімання верхнього ролика і стиснення деталей здійснюються з допомогою пневматичного приводу 4. Стиснене повітря надходить через вхідний вентиль 13 і вологовіддільник 12 на регулятор тиску 11 (вихідний робочий тиск контролюють

за манометром 10) і далі на електромагнітний пневмоклапан 9 для переміщення його золотника.

При поданні напруги на керувальну котушку пневмоклапана повітря надходить у верхню камеру пневмоциліндра, унаслідок чого поршень зі штоком опускається і відбувається стиснення деталей між роликками. При цьому повітря з нижньої камери виходить в атмосферу через золотник пневмоклапана. При знеструмленому пневмоклапані повітря надходить у нижню камеру, унаслідок чого верхній ролик піднімається.

Швидкість подання повітря в камери пневмоциліндра регулюється дросельними клапанами 5.

Електрична схема машини. Первинна обмотка трансформатора має відгалуження, підведені до перемикача ступенів потужності (ПС), з допомогою якого можна приєднувати до мережі напругою 380 В різну кількість витків. Вторинна обмотка *TS*, зібрана з трьох мідних дисків, що охолоджуються водою, має один виток і приєднана через струмопровідні втулки до струмопровідних валів верхнього й нижнього роликів. Залежно від ступеня потужності напруга на вторинній обмотці змінюється в межах 2,3...4,4 В.

Первинна обмотка *TS* приєднується послідовно до мережі через тиристорний контактор КТ (*VS1*, *VS2*). Тиристорний контактор забезпечує синхронне вмикання зварювального струму відповідно до фази напруги мережі і парної кількості півхвиль у кожному імпульсі. Кожний із двох тиристорів проводить струм тільки в одному напрямку.

Щоб забезпечити проходження змінного струму через первинну обмотку *TS*, тиристири увімкнено зустрічно-паралельно. Зварювальний струм існує доти, доки на керувальні електроди тиристорів подаються керувальні імпульси. Зміщуючи ці імпульси за фазою відносно кожного півперіоду, можна плавно регулювати зварювальний струм.

Режим роботи переривника задає електронний блок регулювання (*БР*). Блок регулювання забезпечує задану тривалість імпульсів зварювального струму і пауз між ними. Для зменшення впливу коливання напруги в мережі на роботу переривника *БР* живиться через стабілізатор *СТ*.

Послідовність роботи пневматичного приводу, приводу обертання ролика, переривника забезпечується релейним *БК* машини.

Підготовка машини до роботи:

1. Увімкнути пневматичну систему (13) і увімкнути охолодження.
2. Витягти ножі з перемикача ступенів (ПС).
3. Закрити двері машини, увімкнути рубильник мережі й автоматичний вимикач (*AB*). При відкритих дверях контакти кнопки блокування дверей *SB1* розімкнуті і *AB* не вмикається.
4. Подати напругу на блок керування (*БК*), пакетні вмикачі (*AB*, *Q1*) установити в положення «Вмик.».
5. Установити в положення «У циклі» пакетний вимикач «Вмикання

двигуна», у положення «Униз» – тумблер S1 («Ролик»), вимкнути тумблер S2 («Зварювальний струм»).

6. Установити стискальне зусилля роликів (редуктор 11), потрібне для зварювання деталей.

7. Перевірити напрямок обертання ведучих зварювальних роликів.

8. Установити перемикачем задану швидкість обертання верхнього ролика (швидкість зварювання).

9. Відрегулювати дросельні клапани (5), що забезпечують плавне опускання верхнього ролика.

10. Випробувати механізми машини в роботі, натиснувши на педальну кнопку (КП).

11. Вимкнути пакетний вмикач.

12. З допомогою трьох ножів установити необхідний ступінь потужності.

13. Увімкнути пакетний вмикач Q1 («Напруга»).

14. На переривнику увімкнути пакетний вмикач «Ланцюги керування».

15. Установити в задане положення потенціометр «Нагрівання», що дає змогу плавно регулювати зварювальний струм.

16. Установити перемикачами задану тривалість імпульсу зварювального струму й паузи. Ціна поділки шкали цих перемикачів – один період дорівнює 0,02 с.

17. На машині увімкнути тумблер «Зварювальний струм». Після того, як засвічується червона лампочка на переривнику (приблизно через 5 хв після вмикання), машина готова до роботи.

Порядок роботи на машині МШ-1601:

1. Між роликами встановлюють деталі й натискають на кнопку КП. При цьому релейний БК вмикає пневмоклапан та електродвигун приводу обертання. Верхній ролик опускається, і деталі стискаються між роликами.

2. Педальну кнопку відпускають. При цьому БК вмикає живлення електромагнітної муфти і замикає кола керування переривником, яким вмикається зварювальний струм за програмою, заданою БР.

3. Для припинення зварювання педальну кнопку натискають повторно, при цьому вмикається зварювальний струм, знеструмлюються пневмоклапан і привід обертання верхнього ролика, який піднімається, звільняючи зварені деталі.

4. При відпусканні кнопки КП машина повертається у вихідне положення.

Якщо деталі встановлено між роликами неправильно, то необхідно, не відпускаючи педальної кнопки, вимкнути тумблер «Зварювальний струм» і поставити тумблер «Ролик» у положення «Уверх», а потім зняти ногу з педалі. При зварюванні коротких швів пакетний вмикач «Вмикання двигуна» установлюють у положення «Постійно».

Указівки до практичної частини роботи

Шовне зварювання переривчастим швом з заданим кроком розташування зварних точок. Для отримання такого шва за таблицею режимів зварювання визначають стискальне зусилля роликів, ступінь потужності, тривалість зварювального імпульсу t_i , тривалість паузи t_n і для вибраного кроку l визначають швидкість зварювання:

$$V_{зв} = \frac{l}{t_i + t_n}.$$

Швидкість зварювання дорівнює коловій швидкості обертання верхнього ролика, що залежить від установленної кількості розподілів m на шкалі регулятора швидкості:

$$V_{зв} = m \Delta V_{зв}, \quad m = \frac{l}{\Delta V_{зв} (t_i + t_n)},$$

де $\Delta V_{зв}$ – збільшення швидкості зварювання на один ступінь регулювання (одна поділка шкали).

Для встановленого на машині приводу ПМСП-4 кількість ступенів регулювання швидкості дорівнює 58, $\Delta V_{зв} = 1,25$ мм/с.

За шкалою регулятора швидкості зварювання встановити кількість поділок m і виконати зварювання зразка. Змінити на зразку крок l і за наявності розбіжності із заданим кроком унести виправлення в режим зварювання, змінюючи швидкість $V_{зв}$ або тривалість паузи t_n .

Методика роботи

1. Ознайомитися із суттю шовного зварювання.
2. Установити особливості формування зварного шва.
3. Визначити вплив параметрів режиму на параметри зварного з'єднання.
4. Установити вплив властивостей зварюваного матеріалу на якість зварного з'єднання.
5. Ознайомитися з будовою машини МТ-1601.
6. Провести тренувальне зварювання відповідно до «Порядку роботи на машині МШ-1601».
7. Зварити зразки переривчастим швом із заданим кроком (рис. 2.27). Змінюючи крок зварювання, виконати кілька зварних швів. Герметичний шов можна одержати, якщо величини перекриття ядер точок будуть не меншими від 25 % $d_{я}$. Оптимальний діаметр ядра $d_{я}$ залежить від товщини зварюваних деталей: $d_{я} = 4\delta$. У цьому випадку для герметичного шва крок l має бути не менше 3δ .

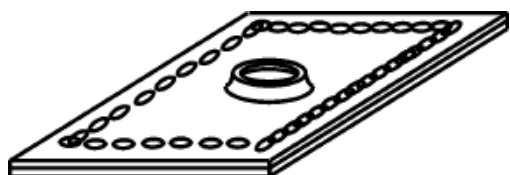


Рис. 2.27. Зразок для перевірки на герметичність

8. Перевірити зразки на герме-

тичність гасокрейдом випробуванням і вибрати оптимальний режим зварювання герметичного шва.

9. Скласти протокол випробувань.

Обладнання й матеріали

1. Пост для шовного зварювання.
2. Машина для шовного зварювання МШ-1601.
3. Пластини з низьковуглецевої сталі розміром 50x50 і завтовшки 1...2 мм.
4. Крейда та гас для контролю герметичності зварного шва.

Зміст звіту

1. Суть процесу контактного шовного зварювання.
2. Особливості формування шва.
3. Основні параметри режиму шовного зварювання та їх вплив на параметри зварного з'єднання.
4. Принципова схема машини МТ-1601. Технічні дані, специфікація основних вузлів.
5. Протокол режиму зварювання й випробування зразків (табл. 2.4).
6. Вибір та обґрунтування режиму зварювання герметичного шва.
7. Висновки.

Таблиця 2.4

Протокол режиму зварювання й випробування зразків

Номер зразка	Матеріал _____ Товщина матеріалу _____ Ширина ролика _____							Результати досліджень
	Режим зварювання							
	F_{cm}	Ступінь потужності	t_i	t_n	m	l	$V_{зв}$	Випробування на герметичність
1								

Контрольні запитання

1. Опишіть способи контактного шовного зварювання.
2. Розкажіть про характер утворення з'єднання при шовному зварюванні.
3. Наведіть основні циклограми шовного зварювання.
4. Якими є особливості пластичного деформування при шовному зварюванні?
5. Перелічіть основні параметри режиму шовного контактного зварювання.
6. Як впливають параметри режиму на якість з'єднання?
7. Як впливають властивості металів на параметри режиму?
8. Укажіть призначення основних вузлів машини МШ-1601.
9. Укажіть порядок налаштування машини на заданий режим.

3. ОСОБЛИВОСТІ ТОЧКОВОГО ЗВАРЮВАННЯ РІЗНИХ З'ЄДНАНЬ

Зварювання деталей великої товщини є утрудненим через значну жорсткість деталей, низьку стійкість електродів при великій тривалості імпульсу зварювання. Застосовуються м'які режими зварювання. Для зварювання використовуються потужні трифазні машини. Цикли зварювання застосовують з підвищеними зусиллями стиснення й проковування і з модуляцією переднього фронту імпульсів нагріву. Для зниження температури нагрівання електродів і підвищення їх стійкості застосовують багатоімпульсне зварювання. Під час пауз електроди інтенсивно охолоджуються через їх більш високу теплопровідність.

Зварювання деталей різної товщини. При співвідношенні товщин 1:3 і менше площина теплової рівноваги не збігається зі зварювальним контактом, що ускладнює отримання номінальної розрахункової зони взаємного розплавлення.

При такому зварюванні неоднакове відведення теплоти від розплавленої зони до електродів приводить до сильного розходження струму в товстій деталі і різкого збільшення густини струму на периферії контакту деталей. Неоднакове віддалення зони розплавлення від робочої поверхні електродів створює в тонкій деталі більш високий градієнт температур і сильніший потік теплоти до електрода. Унаслідок цих явищ ядро розташовується несиметрично відносно стику деталей і зміщується до їх центра (рис. 3.1). Проплавлення тонкої деталі зменшується. При великій різниці у товщині може виникнути повний непровар.

На м'якому режимі ізотерма плавлення переважно зароджується в

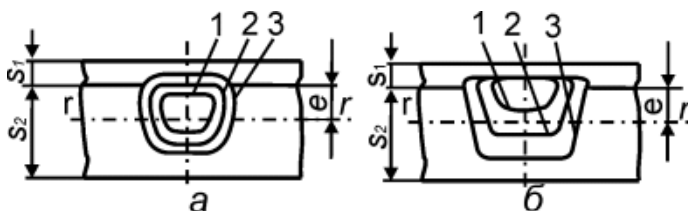


Рис. 3.1. Кінетика формування ядра в деталях різної товщини ($r-r$ – поверхня теплової рівноваги; e – відстань цієї поверхні від зварюваного контакту); a – м'який, b – жорсткий режими зварювання; 1–3 – ізотерми плавлення на початку, посередині та наприкінці зварювання

центрі перерізу пакета (у товстій деталі) і потім рівномірно поширюється в усі сторони. Таким чином, вона лише наприкінці циклу зварювання захоплює тонку деталь (рис. 3.1, a). Процес характеризується нестійкістю глибини проплавлення, великим об'ємом рідкого металу товстої деталі, посиленою деформацією тонкої, підвищеним зношенням електродів.

На жорсткому режимі на початку процесу ізотерма плавлення рівномірно захоплює приконтатні області тонкої й товстої деталей. Потім під впливом тепловідведення ізотерма зміщується в товсту деталь, до площини теплової рівноваги (рис. 3.1, b). При необхідному збільшенні

струму виникає внутрішнє і зовнішнє виплескування. Однак при звичайній схемі зварювання жорсткий режим є кращим.

Для запобігання зміщенню ядра всередину товстої деталі, а також для стійкого проплавлення тонкої деталі існує багато способів, спрямованих на підвищення температури нагрівання тонкої деталі (або підсилюють тепловиділення в ній і в контактній області, або зменшують відведення теплоти).

До способів, що базуються на посиленні відведення тепла, можна віднести змінення розмірів контактної поверхні електрода, застосування електродних металів з меншою теплопровідністю, використання теплових екранів. При способах, що ґрунтуються на змінній схемі відведення теплоти, використовуються зазвичай м'які режими.

До способів, що ґрунтуються на посиленні тепловиділення, належать застосування рельєфів, прошарків, спеціальних електродів, штучне стиснення ліній струму магнітним полем. І тут зазвичай застосовуються більш жорсткі режими.

Теплові екрани, що поміщаються між тонкою деталлю й електродом, акумулюють теплоту в тонкій деталі і часто самі є додатковим джерелом теплоти (рис. 3.2, а). Екрани зазвичай виготовляють із більш тугоплавких, ніж самі деталі, металів з низькою теплопровідністю і завтовшки 0,05...0,30 мм. Комбінуючи склад і товщину екранів, можна зміщувати зону розплавлення в широкі межі: від стійкого формування ядра в контактній області до наскрізного проплавлення тонкої деталі.

Для посилення відведення тепла найчастіше застосовують електроди з різною площею робочої поверхні. Різниця

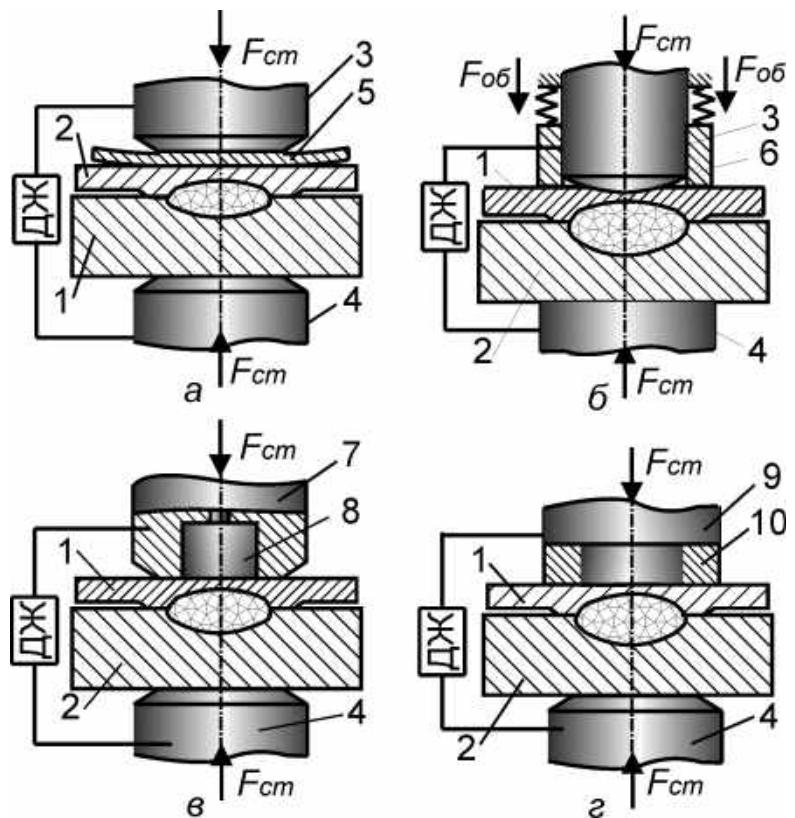


Рис. 3.2. Способи контактної зварювання деталей різної товщини: а – з використанням екранів, б – з обтисненням ущільнювального пояса, в – із вставкою з підвищеною електропровідністю, г – з кільцем зі сплаву з малою теплопровідністю; 1, 2 – зварювані деталі; 3, 4, 7, 9 – електроди, 5 – тепловий екран, 6 – обтиснювальний пристрій, 8 – вставка, 10 – кільце

площ контактів електродів дає змогу зменшити відведення теплоти від тонкої деталі й збільшити – від товстої, тобто одержати необхідний градієнт температур у тонкій деталі.

Чим вищою є тепло- й електропровідність зварюваних металів, тим більшою має бути різниця площ електродів.

Деякого збільшення проплавлення тонкої деталі досягають розміщенням з її боку *електрода з меншою теплопровідністю*, ніж з боку товстої.

Чим більше різниця товщин, тим меншу теплопровідність повинен мати цей метал. Застосування електродів з малою теплопровідністю дає змогу в більшості випадків забезпечити надійне проплавлення.

Для підвищення опору деформації тонкої деталі з її сторони встановлюють *електроди зі сферичною формою робочої поверхні*. Глибина вм'ятини й зазори трохи зменшуються. Однак найбільш ефективним способом є додаткове регульоване стискання периферії зварної точки з допомогою спеціальних електродів.

Обтиснення ущільнювального пояска (рис. 3.2, б) змінює характер термодформаційних процесів, при цьому знижуються контактні опори, збільшується густина струму в тонкій деталі. Загальне зусилля стиснення спеціальним електродним пристроєм поділяють на два зусилля: F_{cm} , що прикладається в центрі, і $F_{об}$, що прикладається до периферійної ділянки точки. Цей спосіб майже повністю виключає виплескування й застосовується на жорстких і м'яких режимах.

При зварюванні на жорстких режимах глибина проплавлення збільшується через можливість значного підвищення густини струму в тонкій деталі на стадії нагрівання й плавлення, а на м'якому режимі – через можливість істотного зниження відведення теплоти від тонкої деталі в електрод шляхом різкого зменшення центрального (зварювального) зусилля порівняно зі звичайним зварюванням. Такий спосіб забезпечує глибину проплавлення тонкої деталі 30...70 %.

Рельєфи на тонкій або товстій деталі дають змогу перерозподілити густину струму. У контакті деталь – деталь густина струму через малу площу торкання рельєфу різко збільшується і мало змінюється в процесі зварювання. Концентрація теплоти в контакті й тонкій деталі підвищується.

Розміщення в контакті деталей прошарків з металів з більш високим питомим опором дає змогу при відносно малій густині струму одержати надійне проплавлення тонкої деталі. Температура в тонкій деталі зростає не тільки через великий опір самих прошарків, але й через додатковий контактний опір між прошарком і деталями.

Густину струму в тонкій деталі підвищують, зменшуючи площу електропровідності самого електрода поблизу його робочої поверхні (штучне звуження ліній струму поблизу робочої поверхні електрода) з допомогою *кільцевої проточки, кільця зі сплаву з малою провідністю* (рис. 3.2, г) або *невеликої центральної вставки* зі сплаву з підвищеною електричною

провідністю (рис. 3.2, в).

Відомі спроби фокусування ліній електричного струму внаслідок взаємодії зварювального струму з його власним магнітним полем. Для цього магнітне поле з боку тонкої деталі підсилюють шляхом розміщення навколо електрода феромагнітних осердь, вставок або інших пристроїв.

Зварювання різних металів ускладнюється через їх різні фізичні й хімічні властивості.

При зварюванні металів з різною тепло- й електропровідністю через неоднакове виділення й відведення тепла лите ядро зміщується в бік деталі з більш високим питомим опором і меншим коефіцієнтом теплопровідності. У таких випадках симетрію можна відновити, регулюючи відведення теплоти в електроди шляхом змінення діаметра робочої поверхні електрода і підбираючи матеріал електрода з відповідною тепло- й електропровідністю.

При зварюванні деталей із застосуванням різних розмірів і форм контактних поверхонь (див. рис. 2.9, в) ядро зміщується до електрода з меншою контактною поверхнею (електрод 2), де більшою є густина струму.

Зварювання різнорідних металів не завжди можливе, особливо при різкій відмінності їх властивостей. У більшості випадків сплави на різній основі є хімічно несумісними, оскільки утворюють в ядрі сплави з несприятливими властивостями (нестійкі хімічні сполуки, механічні суміші). Наприклад, при зварюванні алюмінієвих і магнієвих сплавів, що мають близькі фізико-механічні властивості, у ядрі утворюються крихкі інтерметаліди, внаслідок чого зварні з'єднання руйнуються.

Таке ж явище виникає при з'єднанні сплавів титану зі сталлю, алюмінієвими сплавами і багатьох інших пар металів. При зварюванні сталі з алюмінієм виникають нестійкі інтерметалідні фази заліза з алюмінієм, що значно знижує механічні показники.

Для поліпшення зварюваності різнорідних сталей іноді доцільно вводити в контакт між деталлю й електродами сталеві прокладки (екрани), що є додатковими джерелами теплоти й одночасно зменшують відведення теплоти в електроди.

Крім того, при зварюванні різнорідних металів точковим зварюванням імпульсами уніполярного струму (постійного або струму розрядження конденсаторів) слід ураховувати ефект Пельтьє. Цей ефект полягає у виділенні додаткового або поглинанні такого ж тепла із загального в контакті деталь – деталь. Якщо електрони зварювального струму прямують від металу з відносно вищою енергією власних електронів до металу з відносно меншою енергією власних електронів, то спостерігається підвищення величини загального тепла на величину тепла Пельтьє. Якщо електрони прямують у протилежному напрямку, то загальне тепло між деталями зменшується на величину тепла Пельтьє. Для запобігання виникненню непроварів і суттєвому викривленню форми литого ядра в зв'язку з виявленням

ефекту Пельтьє під час точкового зварювання, наприклад, нержавіючої сталі із низьковуглецевою, потрібно, щоб негативний полюс джерела живлення постійно знаходився з боку нержавіючої сталі.

Способи зварювання різнорідних матеріалів, що утворюють між собою під час розплавлення кілька твердих розчинів, які забезпечують номінальне проплавлення одночасно обох деталей, не відрізняються від способів, що використовуються при зварюванні деталей різної товщини.

Точкове зварювання на лицьових поверхнях. При такому зварюванні прагнуть знизити пластичні деформації з одного боку деталі, що досягається збільшенням площі одного з електродів. Необхідна для зварювання густина струму створюється іншим електродом з нормальними розмірами його робочої поверхні. Режим зварювання вибирають якомога більшої жорсткості.

Зварювання деталей з закритими перерізами виконується з використанням непрямого струмопідведення. Зварювальний струм до місця зварювання підводиться з одного боку через електроди з робочою поверхнею нормальних розмірів, а з іншого – через деталь зі зміщеним контактом. У цих випадках потребується достатня жорсткість нижньої деталі, що створює опору. Параметри режиму зварювання для таких випадків підбирають експериментально. Кращі результати дають більш жорсткі режими.

Зварювання деталей малої товщини (0,01...0,60 мм) характеризується незначним зусиллям стиснення і відносно малою тривалістю зварювального імпульсу. Зі зменшенням товщини знижується стискальне зусилля, а контактні опори збільшуються, тому посилюється чутливість процесу до стану поверхні деталі. Стійкість електродів значно знижується. Точкове зварювання ведеться на жорстких режимах. Робоча поверхня електродів – сферична.

Зварювання матеріалів із захисними покриттями широко використовується в штампозварних конструкціях. Покриття змінює контактний і загальний опір у місці зварювання, отже, змінюються й умови нагрівання. Якщо при зварюванні непокритих сталей опір r_{ee} після короткочасного спаду дещо збільшується й набуває максимуму в момент розплавлення ядра, то при зварюванні металу з відносно легкоплавкими покриттями максимальний опір установлюється пізніше і має менше значення. Це пояснюється великими розмірами площі контакту електрод – деталь і, особливо, деталь – деталь.

Для зварювання таких матеріалів необхідно відповідно змінювати параметри режиму зварювання. При зварюванні оцинкованої низьковуглецевої сталі використовують жорсткі режими, збільшуючи зварювальний струм до 20 %, зусилля на електродах до 40 % і тривалість імпульсу зварювального струму до 90 %, а також істотно збільшуючи тривалість проковування.

Практична робота № 10

ЗВАРЮВАННЯ АКУМУЛЬОВАНОЮ ЕНЕРГІЄЮ. ЕЛЕКТРОКОНТАКТНЕ ТОЧКОВЕ ЗВАРЮВАННЯ НА КОНДЕНСАТОРНІЙ МАШИНІ

Мета роботи: ознайомитися с особливостями зварювання акумульованою енергією; вивчити технологічний процес електроконтактного точкового зварювання на конденсаторній машині; визначити його відмінності; ознайомитися з будовою машини ТК-7; виконати зварювання зразків з метою знаходження оптимального режиму.

Теоретичні відомості

Суть зварювання акумульованою енергією полягає в тому, що енергія накопичується в будь-якому приймачі, а потім безпосередньо або через зварювальний трансформатор короткочасно витрачається на зварювальні операції.

Сьогодні існують чотири способи зварювання акумульованою енергією: конденсаторне; електромагнітне; акумуляторне; кінетичне, або електромеханічне.

Конденсаторне зварювання здійснюється шляхом нагрівання зварюваних деталей короткочасним імпульсом розрядного струму конденсаторів з послідовним прикладанням невеликих стискальних зусиль. Енергія в конденсаторах накопичується під час їх зарядження від джерела постійної напруги (генератора або випрямляча), а потім у процесі їх розрядження використовується у вигляді тепла для зварювання.

Акумулювання енергії при *електромагнітному зварюванні* полягає в тому, що при намагнічуванні сердечника зварювального трансформатора постійним струмом, який пропускається по його первинній обмотці, у магнітному полі створюється певний запас енергії. Якщо струм у первинній обмотці вимкнути, то зникаючий магнітний потік, який перетинає вторинну обмотку зварювального трансформатора, буде передавати у зв'язаний з нею контур акумульовану енергію, що виділяється в контакт зварюваних деталей у вигляді тепла. Для електромагнітного зварювання потребується надійна й дорога комутаційна апаратура, що ускладнює схему машин і знижує їх експлуатаційні якості.

При *акумуляторному зварюванні* енергія запасується в лужних акумуляторах особливої конструкції з підвищеною міцністю, які здатні витримувати часті короткі замикання. Лужні акумулятори мають малий внутрішній опір і при замиканні на зовнішній опір можуть давати короткочасні струми, що в сотні разів перевищують нормальний розрядний струм акумулятора. Машини з накопиченням енергії в акумуляторних батареях практично помітного застосування в промисловості не набули через їх громіздкість та експлуатаційні недоліки.

Кінетичне зварювання базується на акумулюванні енергії в обертовому маховику, розташованому на одному валу з ротором генератора, що живить струмом зварювальну машину. Маховик розганяється електродвигуном, що живиться від силової мережі. Під час зварювання деяка частина збереженої маховиком кінетичної енергії перетворюється на електричну, збільшуючи потужність, що віддається генератором, для зварювання (без перевантаження електромережі).

Машини для зварювання акумульованою енергією порівняно зі звичайними контактними машинами мають такі енергетичні переваги:

- 1) вирівнюють навантаження між фазами електромережі;
- 2) знижують споживану потужність і повністю усувають піки навантаження в електромережі;
- 3) підвищують коефіцієнт потужності електромережі.

Крім енергетичних переваг машини для зварювання акумульованою енергією мають й дуже цінні технологічні переваги:

1) на кожну зварювальну операцію витрачається дозована, постійна і точно контрольована кількість електроенергії, що забезпечує дуже високу стабільність результатів зварювання;

2) незначний час процесу зварювання й висока густина зварювального струму сприяють концентрованому виділенню теплоти в місцях з'єднання, і забезпечують: швидке розплавлення незначних об'ємів металу, що дає змогу отримувати вироби з хорошим зовнішнім виглядом без додаткового оброблення і зварювати між собою метали і сплави з різними теплофізичними властивостями; мінімальну зону термічного впливу в металі;

3) унаслідок точного дозування кількості енергії в місці з'єднання досягається якісне зварювання елементів дуже малої товщини, а також різномірних металів і сплавів, які зазвичай зварюються з великими труднощами або зовсім не можуть бути зварені;

4) завдяки незначному часу процесу зварювання і відносно великій паузі між з'єднанням двох точок точкове зварювання можна виконувати при природному (повітряному) охолодженні електродів;

5) одержувані зварні з'єднання є однорідними, і якість їх практично не залежить від кваліфікації зварника;

6) процес зварювання легко механізується й автоматизується.

Недоліками всіх способів зварювання акумульованою енергією є таке:

1) обмеженість розмірів перерізів і товщини зварюваних деталей;

2) можливість застосування тільки для зварювання відкритих контурів;

3) зварювальна апаратура є спеціалізованою і малоуніверсальною, що обмежує її застосування для ремонту.

Перелічені вище технологічні переваги забезпечують дуже високу

стабільність зварювання, виключаючи при цьому непровари і пропали, чого часто важко і навіть неможливо досягти при інших видах зварювання. Крім того, для отримання якісного зварювання деяких виробів іноді потребується не тільки дозування кількості енергії, але й підбір відповідної форми кривої зварювального струму, чого також легко можна досягти при зварюванні акумульованою енергією.

Найбільшого промислового застосування серед способів зварювання акумульованою енергією набуло конденсаторне зварювання – технологічний процес, при якому нерознімне з'єднання металевих деталей утворюється внаслідок виділення теплоти в місці контакту від струму, що проходить при розрядженні конденсаторів і супутньому стисненні зони зварного з'єднання. Із зони зварювання під дією стискального зусилля P видаляються на периферійні області оксидні плівки, бруд, різні включення, усуваються нерівності, після чого виникають міжатомні зв'язки між чистими поверхнями, що зварюються.

Електроконтактне точкове конденсаторне зварювання набуло промислового застосування при зварюванні деталей малої (0,05...0,5 мм) товщини, деталей різної товщини, а також деталей з багатьох металів: алюмінію й алюмінієвих сплавів, різних мідних сплавів, нікелю й нікелевих сплавів, платини, срібла та його сплавів, різних сталей, вольфраму, молібдену та ін.; можливі численні поєднання різнорідних металів.

Отримання якісного зварного з'єднання в зазначених випадках є можливим тільки завдяки використанню великих зварювальних струмів при значному обмеженні часу зварювання (короткочасні імпульси струму – 0,001...0,010 с), що забезпечує сприятливий розподіл температури в осьовому й радіальному напрямках (див. рис. 3.1).

Відомі дві основні форми конденсаторного зварювання: а) з безпосереднім розрядом конденсаторів на зварювання; б) з розрядом конденсаторів на первинну обмотку зварювального трансформатора. Установку з прямим розрядом конденсаторів застосовують для стикового зварювання дротів і тонких стріжнів. Трансформаторне зварювання використовують для стикового, точкового, рельєфного та шовного мікрозварювання.

Основними особливостями точкового конденсаторного зварювання є:

1) точне дозування в конденсаторах кількості електричної енергії, яка при їх розрядженні обумовлює розплавлення певного об'єму металу зварюваних деталей;

2) короткочасність процесу зварювання, що не потребує охолодження електродів;

3) різко виражена локалізація нагрівання в невеликому розмірі точки, що дає змогу проводити зварювання в точно визначених місцях;

4) відсутність практично помітних вм'ятин та інших слідів зварювання, що забезпечує хороший зовнішній вигляд виробів.

Отримання високої якості з'єднань потребує не тільки правильного розроблення режимів їх зварювання, а й дотримання технологічних правил.

Режим конденсаторного зварювання характеризується такими параметрами:

- зварювальний струм $I_{зв}$;
- час розрядження конденсатора (час зварювання) $t_{зв}$;
- стискальне зусилля зварюваних деталей $P_{см}$.

Режим конденсаторного зварювання виробів визначається:

- 1) матеріалом (хімічний склад, теплоємність, питомий електричний опір);
- 2) геометричними параметрами (товщина, форма);
- 3) станом поверхні (наявність або відсутність плівки окисів, а також антикорозійного покриття);
- 4) технологічними факторами (міцність, зовнішній вигляд).

Крім того, режим конденсаторного зварювання залежить від шунтування струму, яке відбувається при зварюванні виробів двома і більше точками.

Режим точкового конденсаторного зварювання можна підібрати регулюванням таких параметрів:

- 1) ємність конденсаторів C_p ;
- 2) напруга зарядження конденсаторів U_c (для ТКМ-7 $U_c = \text{const}$);
- 3) коефіцієнт трансформації зварювального трансформатора K ;
- 4) діаметр електродного контакту d_e ;
- 5) стискальне зусилля $P_{см}$;
- 6) час зварювання $t_{зв}$.

Оптимальним варіантом режиму конденсаторного зварювання слід уважати такий, при якому використовується менша енергія, накопичена в конденсаторах.

Зварювальний струм залежить від ємності конденсаторів і коефіцієнта трансформації.

Вибір ємності конденсаторів і коефіцієнта трансформації зварювального трансформатора. Орієнтовний підбір режиму зварювання за ємністю виконують дослідним шляхом або за готовими таблицями й графіками. Крім того, такий режим треба коригувати залежно від матеріалу деталей та електродів, а також від конкретних умов.

Коефіцієнт трансформації підбирають з урахуванням електропровідності зварюваного металу: чим вищою є електропровідність, тим більшим має бути коефіцієнт трансформації, оскільки напруги, індуковані при розрядженні у вторинній обмотці зварювального трансформатора, є меншими. При збільшенні ємності струм змінюється незначно, але помітно збільшується тривалість розрядження, тобто час зварювання. При збільшенні коефіцієнта трансформації помітно зменшується зварювальний струм і збільшується час зварювання. При збільшенні індуктивності (збільшенні вильоту електродів) зварювальний струм зменшується.

Вибір діаметра електродного контакту й матеріалу електродів. Діаметр електродного контакту d_e слід вибрати за орієнтовними даними таблиць (табл. 3.1) і графіків (рис. 3.3).

При цьому слід урахувати, що:

- при максимальній для цієї машини накопиченій в конденсаторах енергії $A_k \max$ збільшення діаметра електродного контакту вище граничного значення $d_e \max$ призведе до непроварювання металу максимальної розрахункової товщини δ_{\max} ;

- зменшення діаметра електродного контакту має обмежуватись мінімально допустимими розмірами зварних точок, а також вимогами до міцності й жорсткості робочого кінця електрода.

Вибір стискального зусилля. Від стискального зусилля залежать контактні й власні опори, величиною яких визначаються розподіл та інтенсивність виділення тепла при проходженні зварювального струму. Крім того, стискальне зусилля визначає зону і ступінь пластичної деформації в зварній точці.

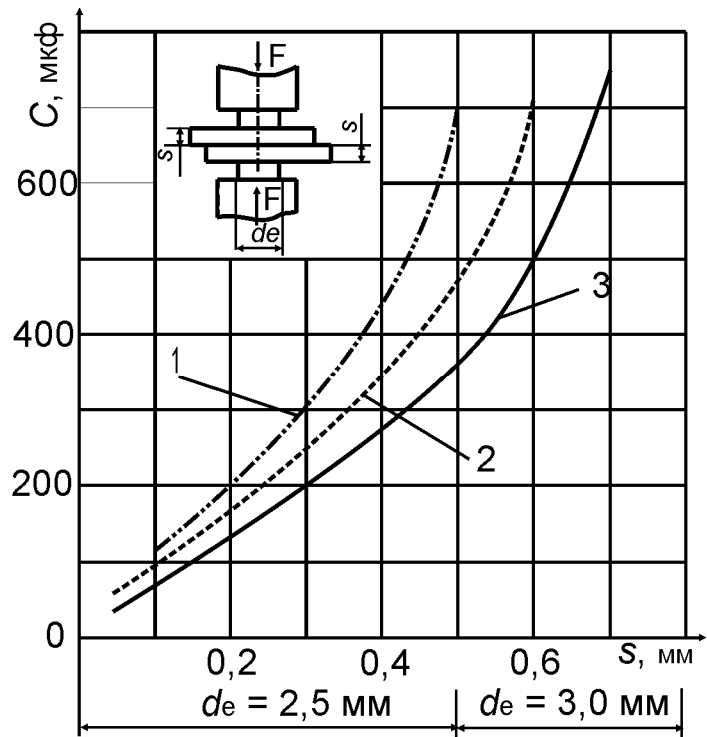


Рис. 3.3. Орієнтовний графік для вибору потрібної ємності C для зварювання на машині ТКМ-7 різних товщин металів: 1 – дуралюміній, 2 – латунь Л-62, низьковуглецева сталь ($U_c = 600 \text{ В}$, $K = 100 \dots 125$)

Таблиця 3.1

Орієнтовні дані для вибору режиму при конденсаторному зварюванні на машині ТКМ-7

Товщина зварюваних матеріалів, мм	Орієнтовні режими при $U_c = 600 \text{ В} \pm 2 \%$		Рекомендовані розміри робочого кінця електродів, мм	
	Осаджувальний тиск, кг	Ємність конденсаторів, мкФ	Діаметр	Довжина
0,02...0,08	до 3,0	10,0...50,0	1,0...1,25	1,5...2,0
0,08...0,15	3,0...6,0	50,0...100,0	1,25...1,50	2,0...2,5
0,15...0,25	6,0...9,0	100,0...200,0	1,50...1,75	2,5...3,0
0,25...0,35	9,0...15,0	200,0...300,0	1,75...2,0	3,0...3,5
0,35...0,50	15,0...25,0	300,0...400,0	2,0...2,25	3,5...4,5
0,50...0,80	25,0...50,0	400,0...800,0	2,5...3,0	4,5...5,0

Під час вибору стискального зусилля слід ураховувати таке:

а) зусилля необхідно збільшувати при збільшенні товщини зварюваних металів;

б) зусилля має збільшуватися з підвищенням опору оксидної плівки на поверхні зварюваних деталей;

в) зусилля може бути тим меншим, чим вищою є електропровідність матеріалу робочих кінців електродів.

Для багатьох марок кольорових і чорних металів завтовшки від 0,02 до 0,5 мм, що зварюються внапуск на малопотужних точкових конденсаторних машинах, достатніми є стискальні зусилля 20...25 кг.

При зварюванні двох деталей різної товщини вирішальне значення має деталь з меншою товщиною, яка не повинна перевищувати можливостей машини, інша ж деталь може мати скільки завгодно велику товщину.

Конденсаторну машину ТКМ-7 призначено для точкового конденсаторного зварювання листових однорідних і різнорідних кольорових і чорних металів (низьковуглецевих і нержавіючих сталей, мідних сплавів (латуней, бронз), нікелю та його сплавів, титанових сплавів та ін.).

Технічні дані

Товщина зварюваних деталей, мм	0,02...0,07
Максимальну товщину вказано для нержавіючих сталей типу Х18Н9Т, якщо один з металів має товщину 0,02...0,45 мм, то його можна в багатьох випадках приварити до металу завтовшки до 35 мм	
Номінальна потужність, Вт	200
Межі регулювання ємностей конденсатора, мкФ	0...140
Напруга живлення, В	220
Вихідна напруга зварювального трансформатора, В	4...8
Напруга на конденсаторах, В	600
Тривалість імпульсу зварювального струму, с	0,001...0,007
Коефіцієнт трансформації зварювального трансформатора	120, 160, 200, 240
Продуктивність при максимальній ємності, зв./год	800
Корисний виліт електродів, мм	150
Зусилля затиску заготовок, Н	10 ... 560
Габарити, мм	700 × 800 × 1400
Маса, кг	190

Основними частинами машини є джерело струму і механізм тиску. Джерело струму складається із зарядного ТРз і розрядного ТРзв трансформаторів, блока випрямлячів ВС, блока конденсаторів Ср, зв'язаних з первинною обмоткою зварного трансформатора ТРзв (рис. 3.4). Кількість заряджених конденсаторів залежить від положення штекера перемикача

ПШс у штепсельних гніздах. Струм регулюють штекерами перемикача ПШт, що під'єднують різну кількість витків первинної обмотки трансформатора ТРЗв. Вторинна обмотка зварювального трансформатора складається з одного витка, кінці якого приєднані до електродів.

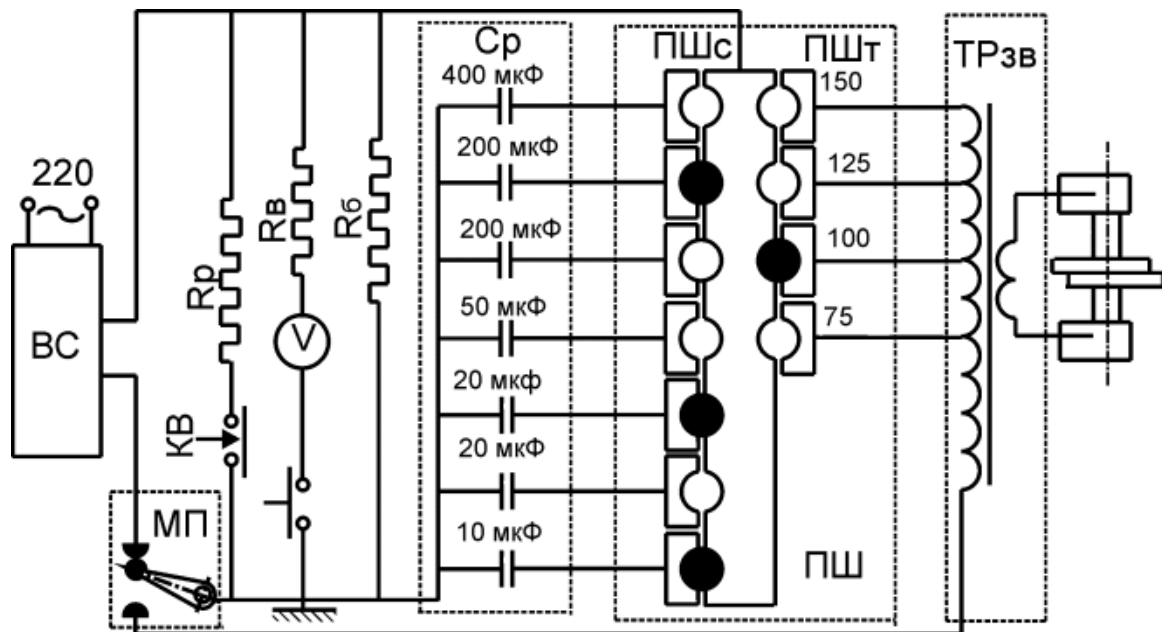


Рис. 3.4. Принципова електрична схема конденсаторної машини ТКМ-7

Механізм тиску являє собою важіль з пересувними тягарями. Важіль шарнірно з'єднаний з кронштейном. Стискальне зусилля електродів змінюється при переміщенні тягаря, розташованого на важелі, або при заміні тягаря. Набір тягарів складається з трьох гир масою 1, 2 і 4 кг. Стиснення електродів тягарем після встановлення заготовок та його зняття здійснюють з допомогою педального механізму. При натисканні на педаль відбувається підйом тяги, при цьому шток з верхнім електродом вільно опускається вниз і стискає заготовки, розташовані на нижньому електроді. При подальшому натисканні на педаль до кінця її робочого ходу відбувається перемикання механічного перемикача МП з зарядження на розрядження конденсаторів унаслідок натискання кінця штовхача на шток, що приводить до проходження в колі зварювального струму.

Конструктивно точкову конденсаторну машину ТКМ-7 оформлено у вигляді металевої шафи з невеликим робочим столом. У середині шафи машини ТКМ-7 на полицях змонтовано блоки конденсаторів, стабілізуювальний випрямний трансформатор і блок селенових випрямлячів.

У верхній внутрішній частині шафи (над полицями) змонтовано зварювальний трансформатор, механічний перемикач, кінцевий вимикач, а також штепсельний пристрій для приєднання машини до мережі живлення. Крім того, усередині шафи проходить тяга, що з'єднує механізм стиснення з педальним механізмом. Над шафою знаходиться механізм для змінення тиску на електродах.

У верхній частині передньої стінки шафи (над робочим столом) встановлено механізм стиснення, сигнальну лампу, вольтметр, вимикач живлення машини, кнопку вольтметра й похідну панель штепсельного перемикача.

Під механізмом стиснення розташований робочий столик.

У нижній частині шафи, під столиком, розташовано ножну педаль для здійснення стиснення між електродами зварюваних деталей і вмикання зварювального струму. Механізм стиснення машини являє собою важіль з пересувними тягарями. Цей важіль з'єднано з цапфами хомутика, закріпленого на штоку механізму зварювання. До наконечника штока з допомогою гнучкої мідної шини приєднано один із кінців вторинної обмотки зварювального трансформатора. У конусне гніздо цього наконечника вставлено верхній електрод.

Нижній електрод складається з тримача з конусним гніздом для посадки змінних електродів, які є аналогічними верхньому електроду. Кінець тримача нижнього електрода кріпиться в гнізді спеціальної траверси з допомогою двох болтів. Для захисту очей оператора від можливих дрібних виплесків металу (при зварюванні) на механізмі стиснення електродів встановлено поворотний захисний прозорий щиток з плексигласу.

Для запобігання випадкам ураження електричним струмом у нижній частині тумбочки передбачено гвинт заземлення.

На рис. 3.4 зображено **електричну схему машини ТКМ-7**. При поданні напруги на вхідні затискачі машини і увімкненні двополюсного вимикача розпочинається зарядження конденсаторів C_p від селенового випрямляча $BС$, приєднаного за двопівперіодною схемою (зарядження максимальної ємності машини триває менше 0,5 с). Кількість конденсаторів, що заряджаються, залежить від кількості штекерів, увімкнених у верхньому ряду штепсельних гнізд перемикача ПШс. Потім при перемиканні рухомої планки перемикача МП з правого положення в ліве відбувається розмикання кола зарядження конденсаторів та їх швидке розрядження на первинну обмотку зварювального трансформатора ТРзв (в останньому регулювання коефіцієнта трансформації здійснюється перестановкою штекерів в одне з положень у нижньому ряду штепсельних гнізд перемикача ПШт).

При цьому індукування у вторинній обмотці трансформатора імпульсу струму обумовлює зварювання деталей, затиснутих між електродами машини.

Після відпускання педалі машини відбувається перемикання рухомої планки перемикача МП з лівого положення в праве, і конденсатори знову заряджаються для зварювання наступної точки. Вольтметр (з додатковим опором R_v) передбачено для періодичного контролю напруги на конденсаторах і перевірки їх справності. У машині ТКМ-7 для виклю-

чення можливості ураження електричним струмом персоналу при огляді її внутрішніх вузлів передбачено електричне блокування, що забезпечує повне розрядження (протягом кількох десятих часток секунди) конденсаторів на розрядний опір R_p , приєднаний через нормально розімкнуті контакти кінцевого вимикача КВ, що замикаються при відкриванні задньої кришки машини. Баластний опір R_b повністю погашає (протягом 25...30 с) залишковий заряд конденсаторів після відімкнення машини від мережі живлення.

Порядок роботи на машині:

1. Протерти отвори в тримачі верхнього й нижнього електродів і траверсі.
2. Вибрати потрібну для зварювання деталей пару електродів (верхній і нижній). Запиляти й відполірувати торцеві поверхні їх робочих кінців. Діаметр і довжина робочої частини електродів і форма нижнього електрода залежать від конфігурації і товщини деталей, що зварюються.
3. Закріпити у відповідних отворах електроди.
4. Перевірити співвісність електродів.
5. Перевірити паралельність контактних поверхонь електродів.
6. Установити й закріпити на важелі тягарі, необхідні для отримання потрібного тиску на зварюваних деталях.
При бажанні можна відрегулювати натяг педалі (відповідно до тиску на електродах).
7. Установити в робоче положення шток з верхнім електродом відповідно до сумарної товщини зварюваних деталей.
8. Установити робочу ємність і коефіцієнт трансформації зварювального трансформатора згідно з товщиною і маркою зварюваного металу.
9. Увімкнути вимикач мережі.

Підготовка деталей до зварювання. Усі деталі, що підлягають зварюванню, необхідно промити і знежирити. Деталі із залишками фарби, мастила, лаків, а також із задирами є непридатними до зварювання.

Не допускається зварювання деталей, що мають вм'ятини й деформовані ділянки в місцях, призначених для зварювання.

Методика роботи

1. Ознайомитися із суттю зварювання акумульованою енергією.
2. Визначити особливості формування ядра зварної точки при конденсаторному зварюванні.
3. Визначити вплив параметрів режиму на параметри зварного з'єднання.
4. Ознайомитися з будовою конденсаторної машини ТКМ-7.
5. Провести тренувальне зварювання відповідно до «Порядку роботи на машині».
6. Установити режими зварювання (за вказівкою викладача), виконати зварювання зразків, перевірити на міцність зварні з'єднання.

7. Скласти звіт, виконати аналіз отриманих результатів.

Обладнання й матеріали

1. Пост для контактного зварювання.
2. Конденсаторна машина ТКМ-7.
3. Розривна машина.
4. Зварювальні матеріали: листові зразки з вуглецевої та низьколегованої сталі завтовшки 0,5...1,2 мм.

Зміст звіту

1. Схема контактної точкового зварювання.
2. Особливості формування ядра точки, параметри режиму та їх вплив на параметри зварного з'єднання.
3. Принципова схема конденсаторної машини ТК-7. Технічні дані, специфікація основних вузлів.
4. Результати досліджень (табл. 3.2).
5. Графік залежності $F = f(t_{зв})$.
6. Аналіз отриманих результатів. Висновки (обґрунтування оптимального режиму зварювання).

Таблиця 3.2

Протокол режиму зварювання й випробування зразків

Марка основного металу _____ Товщина _____						
Вид з'єднання _____						
Діаметр контактів електродів, мм _____						
Номер зразка	Ємність конденсаторів, мкФ	Коефіцієнт трансформації	Зусилля на електродах, Н	Зусилля руйнування F , кН	Характер руйнування	Примітки
1						

Контрольні запитання

1. Особливості контактної зварювання деталей різної товщини.
2. Особливості контактної зварювання різних металів один з одним.
3. Особливості контактної зварювання тонких деталей.
4. Суть контактної зварювання акумульованою енергією.
5. Переваги й недоліки контактної конденсаторної зварювання.
6. Фактори, що визначають величину й положення зварного ядра при електроконтактному зварюванні.
7. Основні параметри режиму електроконтактної конденсаторної зварювання.
8. Вплив параметрів режиму на якість зварювання.
9. Будова зварювальної машини ТКМ-7.

Практична робота № 11

ЕЛЕКТРОКОНТАКТНЕ ТОЧКОВЕ ЗВАРЮВАННЯ МЕТАЛУ МАЛОЇ ТОВЩИНИ НА ІМПУЛЬСНІЙ МАШИНІ ЗМІННОГО СТРУМУ

Мета роботи: ознайомитися з особливостями зварювання металу малої товщини; вивчити технологічний процес електроконтактного точкового зварювання на імпульсній машині змінного струму; визначити його відмінності; ознайомитися з будовою машини ІТМ-05; виконати зварювання зразків з метою знаходження оптимального режиму.

Теоретичні відомості

Останнім часом виникла необхідність у великих обсягах з'єднання точковим зварюванням деталей малої товщини (0,05...0,50 мм), деталей різної товщини, а також деталі з алюмінію та інших кольорових металів і сплавів з високою тепло- й електропровідністю. Отримання якісного зварного з'єднання в зазначених випадках стало можливим тільки завдяки використанню великих зварювальних струмів при значному обмеженні часу зварювання.

Аналіз процесу нагрівання тонких деталей доводить, що для отримання в зоні зварювання сприятливого розподілу температури в осьовому й радіальному напрямках необхідно застосовувати короткочасні імпульси струму. Використання методів подібності для розрахунку режимів точкового зварювання дає змогу визначити час зварювання за формулою

$$t_1 = t_0 (S_1 / S_2)^2,$$

де t_1 , t_0 – оптимальний час зварювання для товщини листа S_1 і S_2 . З формули видно, що при зменшенні S , наприклад, у п'ять разів, час зварювання необхідно зменшити в 25 разів.

Для високоякісного зварювання деталей з тонкого металу необхідним є короткочасний, строго дозований за часом і величиною імпульс зварювального струму, що дає змогу отримати локальне нагрівання до оплавлення в зоні контакту деталей.

Короткочасні імпульси струму тривалістю 0,001...0,010 с можна отримати при використанні акумульованої енергії або від промислової електричної мережі з допомогою спеціального тиристорного переривника (в імпульсних машинах змінного струму).

Імпульсну машину змінного струму ІТМ-05 розроблено в лабораторії зварювання Харківського авіаційного інституту.

Машина розрахована на зварювання деталей з різних металів і сплавів малої товщини в приладобудуванні, радіотехніці, при виробництві засобів зв'язку і в загальному машинобудуванні. Велика робоча зона дає можливість зварювати деталі великих габаритів і складної конфігурації.

Добре зварюються низьковуглецеві й нержавіючі сплави, мідні сплави (латунь Л62, Л68, бронзи), сплави нікелю тощо, а також багато інших сполучень металів.

Живлення струмом здійснюється безпосередньо від мережі змінного струму без накопичення енергії в конденсаторах (безконденсаторне зварювання).

Машина ІТМ-05 забезпечується пропусканням через зварювальний трансформатор одного або частини півперіоду зварювального струму. Тривалість імпульсу становить 0,003...0,010 с. Кінематика машини забезпечує точне регулювання зусилля зварювання, проковування і часу ввімкнення, порівняно невелике зусилля на важіль-стремено (педаць) і зручну позу робочого.

Технічні дані

Товщина зварюваного металу, мм	
сплави заліза	0,05...0,7
сплави міді	0,05...0,5
Можливе приварювання металу завтовшки 0,05...0,5 мм до металу завтовшки до 40 мм	
Тривалість імпульсу струму, с	0,003...0,01
Пікова потужність, кВ·А	20
Межі регулювання потужності, кВ·А	1... 20
Потужність, кВ·А	20
Корисний виліт електродів, мм	130
Зусилля стиснення деталей, кг	до 50
Габарити (з робочим столиком), мм	500 x 620 x 1220
Маса машини, кг	80
Живлення машини, В	380
Механізм стиснення важеля	пружинний

Компонування машини. Конструктивно машину виконано у вигляді металевої шафи з невеликим робочим столиком, ящиком для інструменту й місцевим освітленням.

У верхньому відсіку шафи розміщено всі елементи електричної схеми: зварювальний трансформатор, тиристор, тиратрон, панель керування з пік-трансформатором, панель уводів, елементи ввімкнення.

У середньому відсіку розміщується ящик для інструменту. Нижній відсік шафи не заповнений і відкритий спереду, у ньому знаходиться важіль-стремено для ввімкнення машини.

На лицьовій панелі шафи укріплено зварювальну головку з електро-тримачем та електродами й елементи керування роботою машини.

Тут встановлено вольтметр, сигнальну лампу, потенціометр частоти, перемикач часу й тумблери "Вольтметр", "Зварювання". Крім того, на ли-

цьовій стороні каркаса шафи укріплено поворотну лампу місцевого освітлення та її тумблер "Лампа підсвічування", а тяги й важелі механізму стиснення приховані всередині шафи.

Електрична схема машини ІТМ-5. Джерелом живлення ІТМ-5 є трансформатор TS. Тривалість імпульсу зварювального струму становить 0,003...0,010 с. Для ввімкнення трансформатора на такий малий час передбачається спеціальний тиристорний комутатор VS, який забезпечує ввімкнення і вимкнення зварювального струму й плавне регулювання його величини (рис. 3.5).

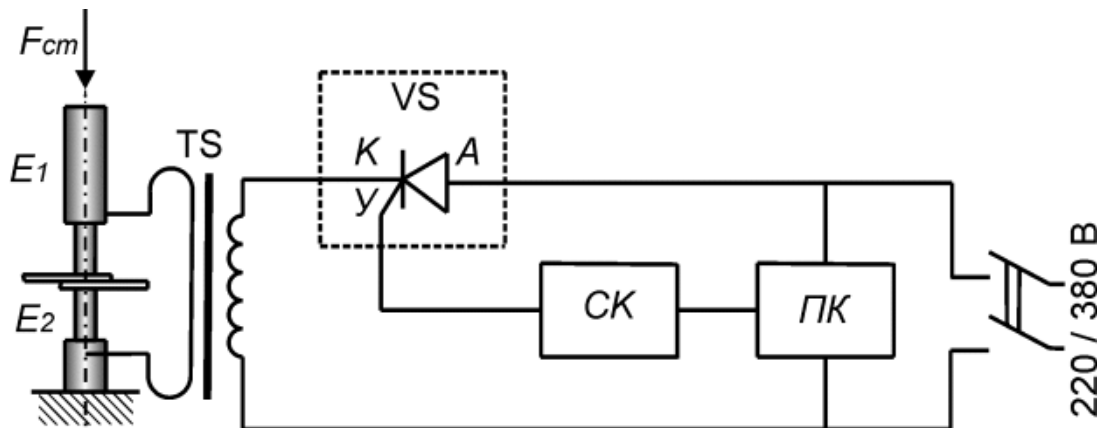


Рис. 3.5. Електрична блок-схема машини ІТМ-5

Тиристор – це електронний напівпровідниковий прилад, який проводить струм тільки в одному напрямку, при цьому на аноді А обов'язково має бути «плюс», на катоді К «мінус» діючої на ньому напруги. Умикається тиристор подачею командного сигналу у вигляді електричного імпульсу на його керувальний електрод У.

До складу електричної схеми керування процесом нагрівання (СК) входять функціональні електричні кола, які забезпечують:

1. Формування командних сигналів у вигляді електричних імпульсів, заданих параметрів (амплітуда, тривалість, частота, форма) та їх синхронізацію з діючою змінною напругою на тиристорі VS (подання командних сигналів здійснюється тільки в момент правильної полярності напруги на електродах тиристора).

2. Блокування командних сигналів після проходження першого зварювального імпульсу. Оскільки тиристор постійно знаходиться під напругою й командні сигнали постійно генеруються, то, щоб забезпечити в процесі циклу зварювання проходження одного імпульсу зварювального струму, необхідно блокувати подання наступних командних сигналів на керувальний електрод тиристора (час блокування має бути більшим від часу циклу зварювання однієї точки). Тиристор буде заблоковано відразу після появи в циклі зварювання одного зварювального імпульсу й автоматично вимикається після закінчення циклу зварювання.

3. Керування стабілізованою напругою.

4. Пуск циклу зварювання при натисканні на педаль увімкнення зварювального циклу.

В основі керування потужністю зварювального імпульсу застосовується спосіб фазового керування діючим значенням зварювального струму, при якому здійснюється затримка увімкнення тиристора відносно початку фази змінної напруги в позитивній або негативній півхвилі.

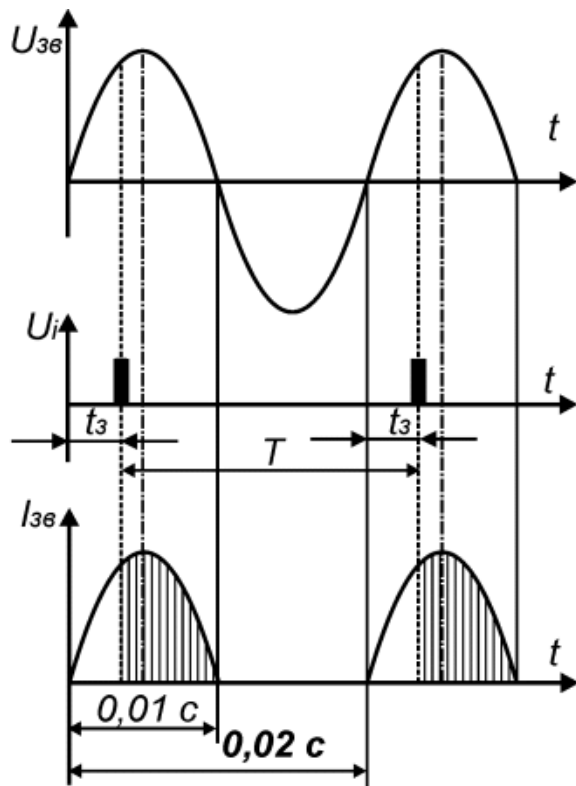


Рис. 3.6. Діаграма напруг і струмів

На діаграмі (рис. 3.6) показано зміну в часі діючої напруги $U_{3в}$ на закритому тиристорі, напруги командних сигналів у вигляді імпульсів U_i , струму зварювальних імпульсів $I_{3в}$.

При синхронізованому поданні імпульсів U_i із затримкою t_3 відносно початку фази діючої напруги $U_{3в}$ тиристор відкривається й починає проводити зварювальний струм (заштрихована область). Змінюючи час затримки в період дії позитивної півхвилі, можна змінювати діюче значення струму зварювального імпульсу.

При синхронізованому поданні імпульсів U_i із затримкою t_3 відносно початку фази діючої напруги $U_{3в}$ тиристор відкривається й починає проводити зварювальний струм (заштрихована область). Змінюючи час затримки в період дії позитивної півхвилі, можна змінювати діюче значення струму зварювального імпульсу.

Параметри режиму зварювання:

- зусилля зварювання;
- зусилля проковування;
- сила зварювального струму;
- час проходження струму;
- форма й площа контактної поверхні електродів.

Налаштування машини ІТМ-5 полягає у виборі необхідного зусилля на електродах і тривалості зварювального імпульсу. Налаштування машини й зварювання необхідно виконувати в такому порядку:

1. Увімкнути тумблер "Мережа" на лицьовій панелі машини.
2. Установити необхідний час зварювання потенціометром "Нагрівання" (залежно від товщини і роду зварюваного металу).
3. Установити необхідне зусилля на електродах з допомогою гвинта головки тиску (контроль тиску проводять за шкалою на голівці тиску).
4. Увімкнути тумблер "Зварювання".
5. Установити деталі між електродами, провести зварювання натисканням на важіль-стремено.

6. Відпустити ручку-стремено, змінити або пересунути деталі й виконати чергове зварювання.

Обладнання й матеріали

1. Пост для контактного зварювання.
2. Імпульсна машина змінного струму ІТМ-05.
3. Розривна машина.
4. Зварювальні матеріали: листові зразки з низьковуглецевої і нержавіючої сталі, мідних сплавів (латунь Л62, Л68, бронза), сплавів нікелю тощо завтовшки 0,05...1,20 мм.

Зміст звіту

1. Кінетика формування ядра точки при зварюванні на машині ІТМ-05.
2. Особливості зварювання деталей різної товщини.
3. Особливості зварювання деталей малої товщини (0,01...0,60 мм).
4. Принципова схема імпульсної машини змінного струму ІТМ-05. Технічні дані, специфікація основних вузлів.
5. Режими зварювання на машині ІТМ-05.
5. Результати досліджень (табл. 3.3).
6. Аналіз отриманих результатів. Висновки.

Таблиця 3.3

Протокол режиму зварювання й випробування зразків

Марка основного металу _____ Товщина, мм _____					
Вид з'єднання _____					
Діаметр контактів електродів, мм _____					
Номер зразка	Нагрівання в поділках	Зусилля на електродах, кН	Зусилля руйнування F , кН	Характер руйнування	Примітки
1					

Контрольні запитання

1. Особливості формування ядра точки на жорсткому режимі зварювання.
2. Які метали і яких товщин можна зварювати на машині ІТМ-5?
3. Суть способу фазового керування діючим значенням зварювального струму.
4. Яку роль відіграє тиристор в електричній схемі машини ІТМ-5?
5. Режими зварювання на машині ІТМ-5.
6. Переваги й недоліки зварювання на машині ІТМ-5.
7. Порядок роботи на машині ІТМ-5.

4. МЕТОДИ ЗВАРЮВАННЯ МЕХАНІЧНОГО КЛАСУ

Необхідною умовою всіх способів зварювання тиском є пластична деформація. Із деформацією пов'язані не лише процеси утворення фізичного контакту, очищення з'єднуваних поверхонь та їх активації, утворення активних центрів, але й процеси об'ємної взаємодії. Тому величина та швидкість деформації визначають формування зварного з'єднання в цілому. За інтенсивністю силової дії способи зварювання тиском умовно поділяють на три групи.

До першої групи відносять способи з низькоінтенсивною силовою дією, що виконуються з низькою швидкістю деформації ($10^{-6} \dots 10^{-4} \text{ с}^{-1}$) унаслідок повзучості. Яскравим прикладом може бути дифузійне зварювання у вакуумі за традиційною схемою.

До другої групи належать способи з середньоінтенсивною силовою дією й середньою швидкістю деформації ($10^{-3} \dots 10^{-1} \text{ с}^{-1}$) – холодне зварювання, зварювання тертям, зварювання прокатуванням та інші способи з вимушеною активною деформацією.

До третьою групи відносять способи з високоінтенсивною силовою дією й високою швидкістю деформації ($10 \dots 10^5 \text{ с}^{-1}$), зокрема, магнітно-імпульсне зварювання, ударне зварювання у вакуумі, зварювання вибухом.

Холодне зварювання – метод отримання нерознімного з'єднання однорідних і різнорідних пластичних металів і сплавів при значній спільній пластичній деформації без зовнішнього нагрівання деталей, що з'єднуються. З'єднання при холодному зварюванні утворюється внаслідок виникнення металевих сил зв'язку між сполучуваними частинами при їх спільній спрямованій пластичній деформації, у процесі якої поверхневі оксидні плівки руйнуються й виносяться із зони контакту, утворюючи при цьому ділянки контакту ювенільних поверхонь. Пластична деформація може відбуватися під дією нормальних до площини з'єднання (рис. 4.1, а, б, в, е) або нормальних і тангенціальних сил (рис. 4.1, г, д). Відсутність зовнішнього нагрівання в технологічному процесі холодного зварювання дає можливість зварювати метали, не погіршуючи їх властивостей, з'єднувати електричні дроти, що мають ізоляцію, і різнорідні метали, не створюючи у стику нестійкого інтерметалідного прошарку, вести процес у вибухо- і вогнебезпечних середовищах, герметизувати посудини, які не можна нагрівати.

Особливий вид холодного зварювання – з'єднання листів прокатуванням на вальцях. Таку технологію використовують, наприклад, при виготовленні теплообмінників для холодильників. На поверхню листів з алюмінієвого сплаву наносять спеціальну фарбу в місцях, де не має бути зварювання, листи складають і виконують загальне прокатування. Унаслідок пластичних деформацій листи зварюються по всій площині, крім зафарбованих місць.

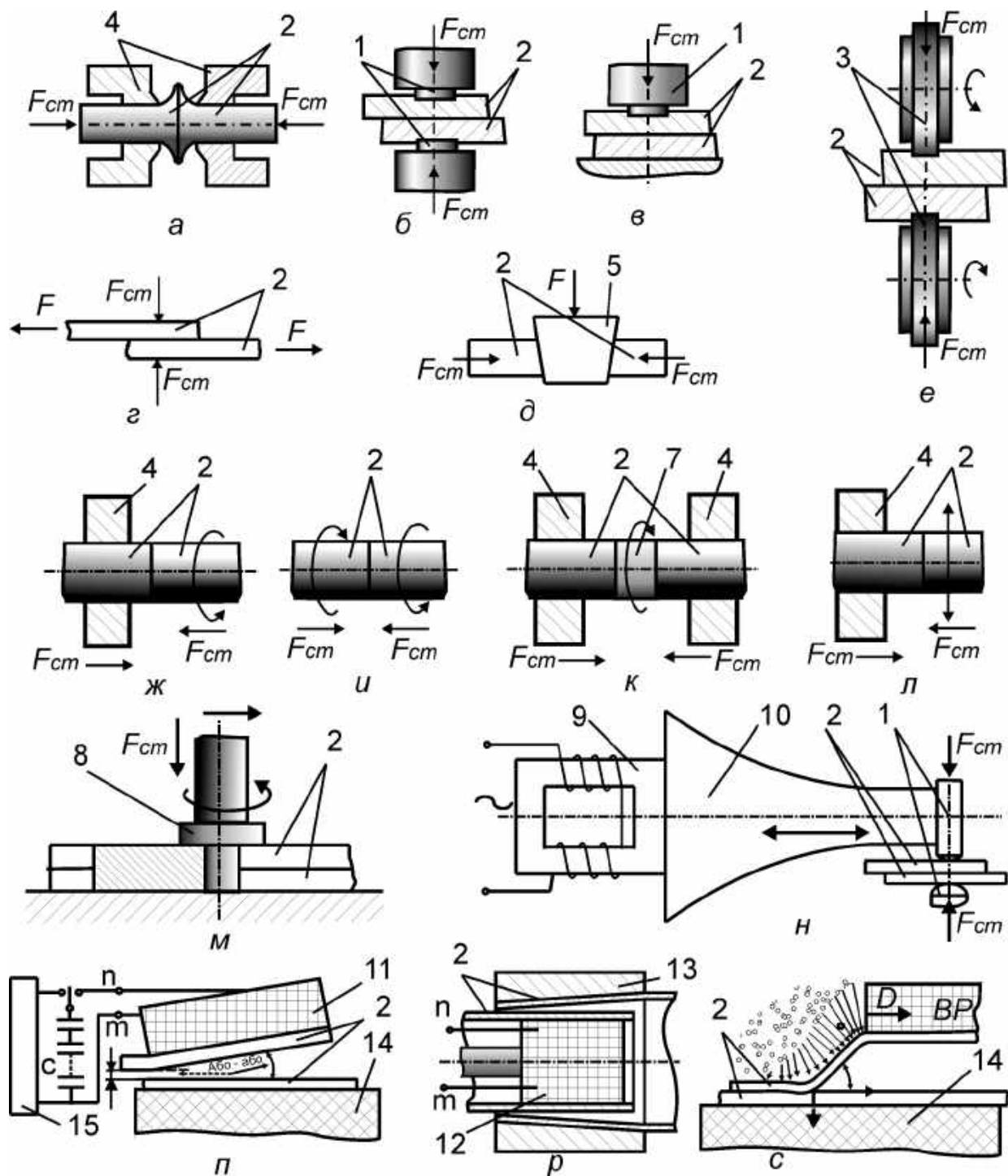


Рис. 4.1. Види холодного зварювання: а – стикове; б, в – точкове; г, д – зсувом; е – шовне; ж, и, к, л – тертям; м – тертям з перемішуванням; н – ультразвукове; п, р – магнітно-імпульсне; с – вибухом; 1 – електроди; 2 – зварювані деталі; 3 – ролики; 4 – затискачі; 5 – клин; 6 – обертові затискачі; 7 – вставка; 8 – інструмент для ЗТП; 9 – перетворювач; 10 – хвилевід; 11 – плоский індуктор; 12 – циліндричний індуктор; 13 – оправка; 14 – опора; 15 – зарядний пристрій; *BP* – вибухова речовина; *D* – детонаційна хвиля

Потім листи відпалюють і затискають у пресі з фігурними виїмками на плитах там, де мають бути трубки теплообмінника. Через ділянки, раніше покриті фарбою, пропускають під тиском рідину. Під внутрішнім тиском ці ділянки набувають форми трубок і утворюють канали теплообмінника.

Зварювання тертям є одним із видів зварювання тиском. У цьому процесі штучне збільшення пластичності матеріалу відбувається внаслідок нагрівання деталей шляхом безпосереднього перетворення механічної енергії на теплоту завдяки роботі сил тертя механічного класу.

Робота, що витрачається під час обертання або зворотно-поступального руху однієї поверхні відносно іншої на подолання сил тертя, перетворюється на тепло, яке виділяється на поверхнях тертя й нагріває прилеглі до них тонкі шари металу до температур, необхідних для утворення зварного з'єднання (рис. 4.1, ж, и, к, л).

Після досягнення потрібної температури відносно переміщення поверхонь має бути якомога швидше (миттєво) зупинено. Нагріті поверхні стискаються зусиллям осаджування (проковування). Об'єм тонкого приповерхневого шару, який нагрівається до температури зварювання, є настільки малим, що весь цикл зварювання продовжується від декількох до 30 секунд.

У процесі тертя пластичний метал стику видавлюється в радіальних напрямках під впливом осьового зусилля і тангенціальних сил, що виникають у стику при обертанні (або зворотно-поступальному русі) однієї деталі відносно іншої. Видавлений метал має характерну для зварювання тертям форму здвоєного правильного кільця, розташованого по обидві сторони площини стику (облой).

При видавлюванні пластичного металу зі стику в радіальних напрямках оксидні плівки, що покривали торцеві поверхні з'єднаних деталей до початку зварювання, руйнуються, а їх уламки, а також продукти згоряння адсорбованих жирових плівок та інші сторонні включення разом з металом видаляються зі стику в облой. Зварне з'єднання утворюється в твердій фазі без розплавлення металу зварюваних деталей.

При зварюванні однойменних металів одного діаметра деформації обох деталей є однаковими, при зварюванні різнойменних – різними. При зварюванні металів з різко відмінними механічними властивостями, наприклад сталі з алюмінієм, одна з деталей (у цьому випадку сталева) може зовсім не деформуватися.

Машини для зварювання тертям, які мають досить великі осьові зусилля і швидкість обертання, забезпечують швидкий запуск і миттєву зупинку руху деталей відносно одна одної.

При **зварюванні тертям із перемішуванням** (ЗТП) металу використовується зварювальний інструмент зі штирем спеціальної форми (рис. 4.1, м). Інструмент обертається зі швидкістю до 15000 об/хв і пере-

міщується вздовж стику. Штир проникає в метал до торкання заплечиком інструмента поверхні зварюваних деталей. Унаслідок тертя штиря і заплечика з металом виділяється теплота, яка доводить метал навколо інструмента до пластичного стану. Під час руху інструмента вздовж стику матеріал деталей, переміщуючись із зони нагрівання в зону охолодження, огинає штир та утворює зварне з'єднання.

Устаткування для ЗТП складається з приводів обертання й вертикального переміщення зварювального інструменту, приводу переміщення в напрямку зварювання, потужної станини та пристроїв для закріплення зварюваних деталей у складеному стані.

Важливою деталлю установок для ЗТП є зварювальний інструмент, від якого залежить формування шва. Штир інструмента може мати різні форми. Штирі можуть мати нарізну поверхню, поверхню з декількома висупами, поперечними й поздовжніми надрізами. Створено інструмент, який дає змогу регулювати в процесі зварювання довжину штиря й діаметр заплечика. Змінення довжини штиря від нуля до товщини зварюваних заготовок дає змогу поступово виходити на повне проварювання металу, а потім на завершення процесу без утворення отвору. Для запобігання налипання металу на інструмент останній охолоджується повітрям або водою.

При **ультразвуковому зварюванні** нерознімне з'єднання в твердій фазі утворюється при спільному впливі на деталі механічних знакозмінних тангенціальних відносних зсувів ультразвукової частоти ($f = 20 \dots 40$ кГц), відносно невеликого конструктивного зусилля, прикладеного перпендикулярно до зварюваних поверхонь, і теплового ефекту внаслідок тертя при їх зворотно-поступальних переміщеннях $(0,4 \dots 0,7) T_{пл}$. Ці зміщення відбуваються в площині деталь – деталь, при цьому разом з нормальною силою вони спричиняють пластичне деформування мікронерівностей приповерхневого шару металу й видалення із зони зварювання забруднень.

Струм від ультразвукового генератора (рис. 4.1, *н*) подається на обмотку магнітострикційного перетворювача (вібратора), який складається з пластин завтовшки $0,1 \dots 0,2$ мм, виготовлених з такого матеріалу, що під дією змінного магнітного поля змінюються їх геометричні розміри. Якщо магнітне поле напрямлене вздовж пакета пластин, то будь-які його зміни призведуть до укорочення або подовження магнітостриктора, що забезпечує перетворення високочастотних електричних коливань на механічні тієї ж частоти.

Концентратор, який залежно від форми твірної бокової поверхні може бути конусним, ступінчастим, експоненціальним тощо, передає коливання до місця зварювання, забезпечує необхідну величину коливальної швидкості і збільшення амплітуди коливань зварювального наконечника порівняно з амплітудою вихідних хвиль перетворювача, концентрує енергію ко-

ливань у зоні зварювання. Розміри й форму концентратора визначають з урахуванням необхідного коефіцієнта посилення (зазвичай, достатньо коефіцієнта 5).

На кінці хвилеводу є зварювальний наконечник у формі циліндричного стрижня з робочою поверхнею у вигляді сфери для точкового зварювання або ролик для шовного зварювання.

Зварювання відбувається при ввімкненому магнітострикційному перетворювачі під дією певного зусилля стиснення. Тривалість процесу становить від часток секунд до кількох секунд. Ультразвукове зварювання застосовують для одержання точкових і шовних з'єднань, а також для зварювання по контуру.

Магнітно-імпульсне зварювання ґрунтується на використанні сил електромеханічної взаємодії між вихровими струмами, наведеними в стінках оброблюваної деталі при перетинанні їх силовими магнітними лініями імпульсного магнітного поля і самим магнітним потоком. При цьому електрична енергія безпосередньо перетворюється на механічну, а імпульс тиску магнітного поля діятиме на заготовку без участі будь-якого середовища передання.

При розрядженні батареї конденсаторів у зазорі між індуктором і рухомою деталлю виникає сильне магнітне поле, яке індукує в цій деталі струм. Взаємодія струму індуктора з індукованим струмом у заготовці призводить до виникнення між індуктором і рухомою деталлю сил відштовхування. Унаслідок цього рухома деталь з великою швидкістю переміщується від індуктора в напрямку нерухомої деталі. При зіткненні в зоні контакту розвиваються високі тиски, і утворюється зварне з'єднання (рис. 4.1, п).

Існують дві основні схеми магнітно-імпульсного зварювання трубчастих заготовок: обтиснення трубчастих заготовок з використанням індуктора, що охоплює заготовку; роздача трубчастих заготовок з використанням індуктора, поміщеного всередину заготовки за схемою, зображеною на рис. 4.1, р.

Зварювання вибухом належить до групи процесів зварювання пластичним деформуванням.

При ініціюванні заряду вибухової речовини (*ВР*) хімічна енергія перетворення заряду на газоподібні продукти вибуху трансформується в механічну енергію їх розширення. З місця ініціювання поширюється фронт детонаційної хвилі зі швидкістю *D* (для наявних *ВР* швидкість становить 2000...8000 м/с і визначається їх хімічним складом і фізичним станом). Газоподібні продукти вибуху, що утворюються позаду хвилі, протягом короткого часу за інерцією зберігають колишній обсяг *ВР*, перебуваючи в ній під тиском 100...200 тис. ат, а потім зі швидкістю $(0,50...0,75)D$ розширюються по нормалях до вільних поверхонь заряду, надаючи ділянкам металу, що

знаходяться під ними, імпульсу, під дією якого виріб послідовно залучається до прискореного руху по поверхні нерухомої частини металу зі швидкістю V_c , співударяючись з нею. При сталому процесі металева пластина на деякій довжині двічі перегинається, її похила ділянка зі швидкістю D рухається за фронтом детонаційної хвилі, а ділянка перед її фронтом з не-продетонованою частиною заряду ВР під дією сил інерції продовжує займати вихідне положення (рис. 4.1, с).

Кінетична енергія зіткнення рухомої частини з поверхнею нерухомої частини витрачається на роботу спільної пластичної деформації контактних шарів металу, що приводить до утворення зварного з'єднання. Робота пластичної деформації перетворюється на тепло, яке внаслідок адіабатичного характеру процесу через великі швидкості може розігрівати метал у зоні з'єднання до високих температур (аж до оплавлення локальних об'ємів).

При цьому процесі оксидні плівки та інші поверхневі забруднення дробляться, розсосереджуються, а також видаляються з площини дотику під дією кумулятивного ефекту.

Практична робота № 12

ХОЛОДНЕ ЗВАРЮВАННЯ ПЛАСТИЧНИХ МЕТАЛІВ

Мета роботи: ознайомитися з технологічним процесом холодного зварювання й будовою машини для стикового холодного зварювання МСХС-5-3; відповідно до завдання вибрати режими зварювання, налаштувати машину й зварити зразки; випробувати шви на міцність і вибрати оптимальні режими зварювання.

Теоретичні відомості

Суть процесу холодного зварювання. Холодне зварювання, що характеризується простотою й доступністю, дає змогу отримувати міцні й надійні з'єднання із пластичних металів: алюмінію, міді, нікелю, титану, свинцю, срібла, золота. Холодним зварюванням можна з'єднувати й деякі різномірні метали із зазначених вище. Характерними рисами холодного зварювання є мала енергоємність, висока продуктивність, можливість механізації й автоматизації процесу, сприятливі умови праці.

Холодне зварювання – один із видів зварювання у твердій фазі зі значною об'ємною пластичною деформацією і малим ступенем її локалізації в зоні контакту з'єднуваних матеріалів. Цей процес виконують при кімнатній температурі і для більшості матеріалів при температурі, нижчій від температури рекристалізації.

Відповідно до сучасної класифікації холодне зварювання за формою одержуваного зварного з'єднання розрізняють точкове (рис. 4.2, а, б), шовне (рис. 4.2, в), стикове (рис. 4.2, г) зварювання, а за характером дефор-

мацій – зварювання здавлюванням (рис. 4.2, а, б, в, г) і зварювання зсувом (рис. 4.2, д, е).

При точковому зварюванні як інструмент використовується один або два пуансони циліндричної форми 1, при шовному – ролики 3. Більш високу і стабільну міцність має з'єднання при зварюванні двома пуансонами або роликами, а не одним.

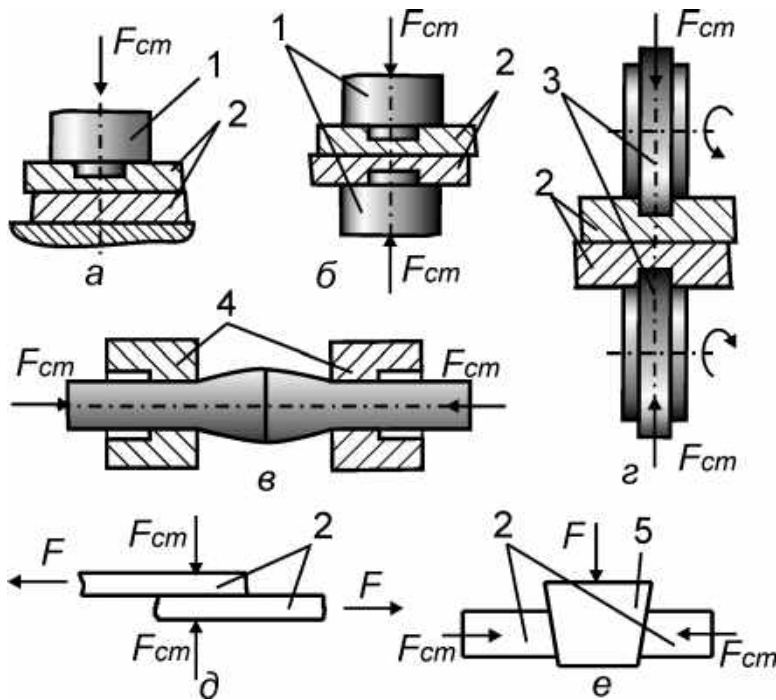


Рис. 4.2. Схеми холодного зварювання: а – точкове з одним пуансоном; б – точкове з двома пуансонами; в – стикове; г – шовне; д, е – зсувом; 1 – пуансони; 2 – зварювані деталі; 3 – ролики; 4 – затискачі; 5 – клин

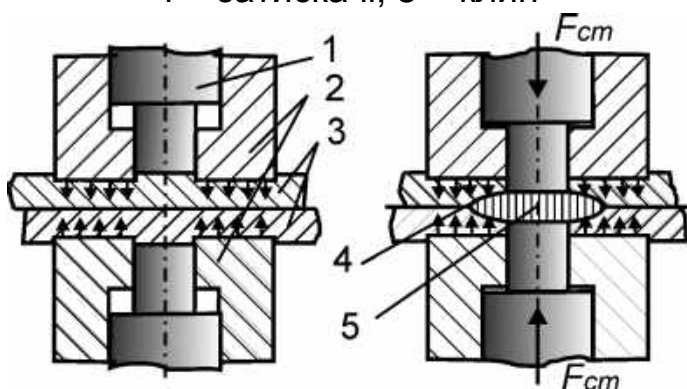


Рис. 4.3. Схема зварювання з попереднім стисненням: 1 – пуансон; 2 – притискач; 3 – зварювані деталі; 4 – периферійна зона зварювання; 5 – внутрішня зона зварювання

Міцність зварного з'єднання підвищується, якщо застосовувати пуансони й ролики з уступами або для точкового зварювання робити попереднє обтиснення металу навколо пуансонів (рис. 4.3).

При холодному зварюванні деталей, особливо великої товщини, пуансон утискується в товщу деталей і сильно їх деформує. Уступи на циліндричних пуансонах і роликах у завершальний момент притискають деталі, тим самим обмежуючи їх деформацію.

Якщо вироби виконано з матеріалів порівняно малої пластичності завтовшки більше 4 мм, то через деформацію деталей у процесі зварювання кожної наступної точки може бути навіть зруйнована попередня точка. Для запобігання цьому явищу здійснюють холодне зварювання з попереднім стисненням (див. рис. 4.3).

Притискачами 2 деталі фіксуються ще до початку зварювання або одночасно з ним. Таким чином, унеможливаються не тільки залишкові деформації, але й деформації у процесі самого

зварювання. Зварювання з попереднім стисненням дає змогу отримувати більш міцні з'єднання, ніж при зварюванні за звичайною схемою. Збільшення міцності з'єднання становить 15...20 % і пояснюється, очевидно, розширенням зони схоплювання металів при зварюванні внаслідок додаткового обтиснення.

При стиковому зварюванні (рис. 4.2, в) деталі міцно закріплюються в затискних губках 4, внутрішня робоча поверхня яких має насічку, що перешкоджає проковзуванню деталей при їх здавлюванні.

Холодне зварювання може виконуватися шляхом стиснення заготовок з їх одночасним відносним зсувом під дією тангенціальних зусиль. Це досягається прикладанням додаткового зусилля F (рис. 4.2, д) або використанням клиноподібної прокладки (рис. 4.2, е), яку впресовують із зусиллям між деталями в зазор аналогічної конфігурації.

При одночасній дії здавлювання (нормальним зусиллям F_{cm}) і зсуву по зварюваних поверхнях (тангенціальним зусиллям F) унаслідок невеликого відносного зміщення з'єднаних поверхонь поліпшуються умови руйнування оксидних плівок, полегшується зминання нерівностей, унаслідок чого відбувається більш повний фізичний контакт між деталями в приповерхневих шарах металу і збільшується площа зіткнення чистих поверхонь, що зварюються, при меншій величині нормальних зусиль. Це дає змогу значно зменшити тиск зварювання.

Якщо розглядати всю сукупність матеріалів, що з'єднують цим способом, то не вдається подати єдиний механізм, який би пояснював усі явища, що відбуваються при холодному зварюванні.

При зварюванні металів унаслідок значних пластичних деформацій з'єднаних металів відбувається руйнування оксидних плівок, що перешкоджають зближенню атомів. Зближення чистих поверхонь металу в місці контакту на відстань, порівнянну з параметрами кристалічних ґрат, та їх активація приводять до виникнення металевих зв'язків та утворення зварного з'єднання.

Позитивні результати холодного зварювання металів із кристалами в напівпровідникових приладах, а також напівпровідникових матеріалів між собою дають змогу відповідно до деяких гіпотез зробити висновок про можливість зварювання при спільній дії металевих і ковалентних зв'язків, при цьому необхідно враховувати електростатичні сили й сили Ван-дер-Ваальса. Однак кожного разу при зварюванні необхідною є висока чистота з'єднаних поверхонь.

Практично всі розглянуті методи холодного зварювання відбуваються за двома технологічними схемами: зварювання стикове (рис. 4.4, а) і внапуск (рис. 4.4, б). Найголовнішою умовою для створення міцного металевого зв'язку є зближення абсолютно ювенільно чистих кристалічних меж.

При **стиковому холодному зварюванні** спільне деформування металів стрижнів 2, затиснутих у затискних губках 1, руйнує поверхневі плівки й виносить їх за межі з'єднання у вигляді облою 3, а великий тиск створює щільний контакт ювенільних поверхонь і запобігає доступу повітря в зону зварювання. Така значна пластична деформація забезпечує на коротку мить зближення один з одним кристалітів, розташованих перед здавлюванням у глибинних шарах металу.

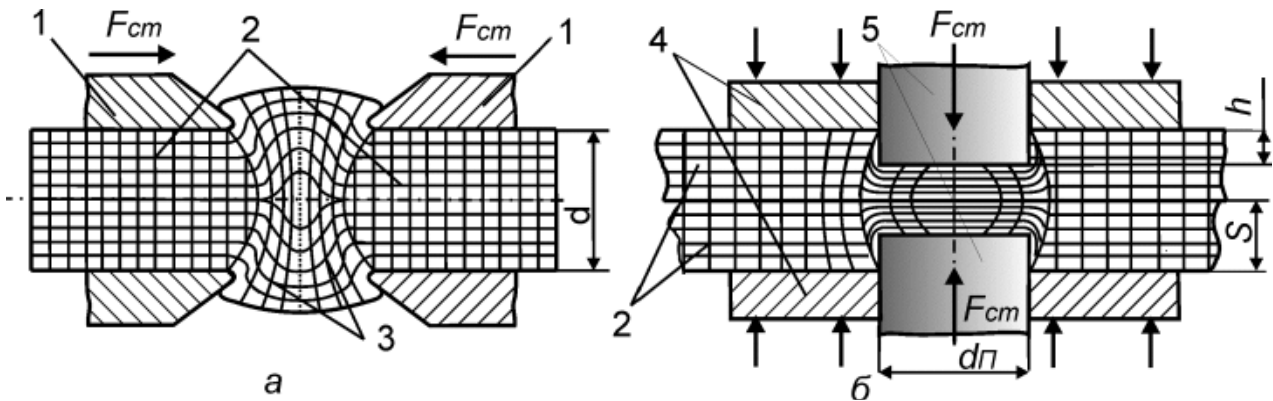


Рис. 4.4. Технологічні схеми процесів холодного зварювання:
 а – стикове; б – внапуск; 1 – затискні губки; 2 – зварювані деталі;
 3 – пуансони; 4 – притискачі

Отже, спочатку окиснені або навіть забруднені поверхні, що контактують, повністю віддаляються. Увесь видавлений у вигляді облою об'єм металу відіграє роль захисної маси для тих шарів металу, які в момент закінчення пластичної деформації є зближеними до відстані, на якій миттєво створюється стабільний металевий зв'язок та організується єдина кристалічна структура

Як видно, процес холодного стикового зварювання можна подати в такий спосіб:

1. Зварювання здійснюється між кристалітами, розташованими в початковий момент далеко від торців, безпосередньо в зоні виступних затискних губок.

2. Увесь інший метал між губками по обидва боки від первісного контакту може розглядатися як маса, що відіграє роль оболонки, яка ідеально захищає глибинні шари металу від окиснення і забруднення.

3. У процесі пластичної деформації метал, що видавлюється, не тільки безперервно захищає глибинні шари, але й деякою мірою нагріває поверхневі шари всіх зерен, що беруть участь у процесі деформації.

4. Оскільки формування зварного з'єднання забезпечується в момент закінчення деформації і внаслідок контакту тільки глибинних шарів металу, час зварювання, тобто формування єдиної кристалічної структури, є дуже малим і становить десяті частки секунди. Тому об'ємної взаємодії при холодному зварюванні немає.

5. Миттєві значення температури мікрооб'ємів металу, що утворюють зварне з'єднання, безумовно мають бути високими, хоча і, безперечно, нижче точки плавлення.

На рис. 4.4, б показано схему зварювання внапуск. Листові деталі 2 затискують між сталевими притискачами 4. Потім ці притискачі залишаються нерухомими і повністю виключають можливість випинання металу, коли сталеві пуансони 5 глибоко втискаються у зварювані деталі. Для глибокого вдавлювання пуансонів у метал необхідно прикладати досить значні тиски. Залежно від роду металу, способу підготовки поверхонь і геометрії пуансонів існує певна мінімальна відносна величина вдавлювання пуансона, необхідна для утворення міцного з'єднання (табл. 4.1).

Таблиця 4.1

Необхідна величина деформації при холодному зварюванні деяких матеріалів унапуск

Метал	Відносна глибина вдавлювання пуансона, %	Метал	Відносна глибина вдавлювання пуансона, %
Індій	10...15	Срібло	82...86
Алюміній	55...60	Мідь	85...90
Алюмінієві сплави	75...80	Олово	85...88
Свинець	80...85	Нікель	85...90
Титан	70...75	Армко-залізо	85...92
Кадмій	82,5	Цинк	90,8

Практично вважається необхідним забезпечувати величину вдавлювання $h = (0,7...0,8)\delta$. Таким чином, і при зварюванні внапуск необхідно прикладати тиски, що значно перевищують границі плинності. Сам процес формування звареного з'єднання потребує, як і при стиковому зварюванні, щоб кінцевий контакт здійснювався між ювенільно чистими кристалітами. Це і відбувається насправді, тому що метал з-під пуансонів видавлюється радіально в усі боки, руйнуючи всі оксидні нашарування, які виявляються (або штучно створюються) на зварюваних поверхнях перед їх здавлюванням.

Ступінь пластичної деформації, необхідний для отримання якісного з'єднання, залежить від властивостей металу, товщини з'єднуваних деталей, способу підготовки поверхонь під зварювання, товщини і властивостей оксидної плівки (табл. 4.2), схеми деформування. При занадто великій деформації глибокі вм'ятини від пуансонів при точковому або шовному зварюванні погіршують зовнішній вигляд деталей.

Таблиця 4.2

Товщина оксидної плівки

Метал	Товщина плівки, см	Час утворення плівки, с	Метал	Товщина плівки, см	Час утворення плівки, с
Алюміній	$12 \cdot 10^{-8}$	15	Залізо	$2 \cdot 10^{-7}$	40
Мідь	$3 \cdot 10^{-7}$	30	Молибден	$(2...3) \cdot 10^{-8}$	40

На ступінь деформації значно впливає відношення твердості оксидної плівки до твердості основного металу (табл. 4.3): ступінь деформації має бути тим більшим, чим меншим є це відношення.

Таблиця 4.3

Фізичні властивості деяких окисів

Метал	Тип окису	Твердість, кг/мм ²		Температура плавлення, °С		Об'ємне співвідношення
		металу	окису	металу	окису	
Al	Al ₂ O ₃	15	1800	660	2030	1,28
Cu	Cu ₂ O	40	130	1083	1230	1,64
Fe	Fe ₂ O ₃	120	150	1537	1457	2,14
Zn	ZnO	35	200	419	–	1,55
Sn	SnO ₂	5	1650	232	400	1,32
Ag	Ag ₂ O	25	–	960,8	185	1,56

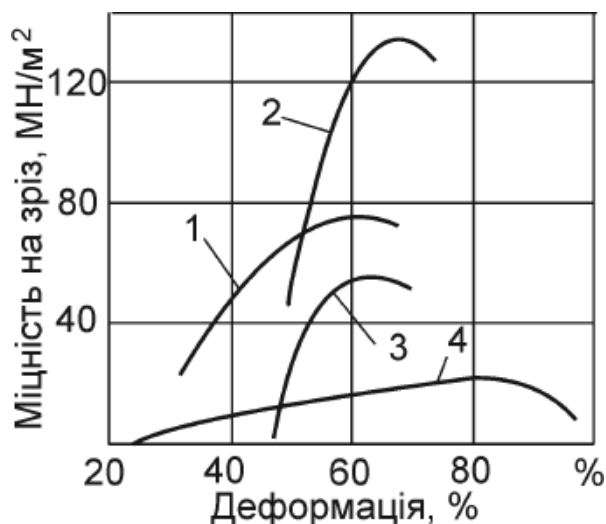


Рис. 4.5. Залежність міцності точкових з'єднань від величини деформації:
 1 – алюміній у наклепаному стані;
 2 – мідь електролітична; 3 – алюміній м'який; 4 – олово

На рис. 4.5 показано характер залежності міцності з'єднань від деформації при холодному зварюванні. Як видно з рисунка, поки деформація не набуде деякого критичного значення (цю деформацію називають *деформацією схоплювання*), міцність схоплювання дорівнює нулю. Для м'якого алюмінію деформація схоплювання (критична деформація) дорівнює приблизно 45 %. При подальшому збільшенні деформації міцність з'єднання швидко підвищується, набираючи максимуму при деформації 60...70 %.

Зниження міцності з'єднань після досягнення максимуму пояснюється

зменшенням товщини металу в зоні зварювання і відривом зварної точки замість зрізу.

При зварюванні різнорідних матеріалів ступінь деформації визначають виходячи із властивостей найбільш пластичного металу.

Як було показано раніше, холодне зварювання найчастіше використовується при виготовленні виробів з алюмінію та міді як в однорідних, так і різнорідних з'єднаннях. Високу здатність до зварювання мають також срібло, золото, свинець, нікель, кадмій, олово, цинк, титан, ніобій.

Сплави зварюються гірше, ніж чисті метали. Наприклад, якщо чистий алюміній має високу здатність до зварювання, то алюмінієві сплави зварюються погано. Наближеною оцінкою здатності сплавів до зварювання може бути їх твердість. Зазвичай з підвищенням твердості здатність до зварювання знижується і необхідна мінімальна деформація металу збільшується, тому що знижуються інтенсивність пластичної плинності металу в зоні контакту й активація поверхонь.

Високі пластичні деформації при холодному зварюванні значно зміцнюють метал, тому міцність стикових з'єднань є вищою від міцності основного металу. При зварюванні внапуск міцність з'єднань визначається міцністю зварної точки й можливістю викинування точки замість зрізу.

Технологія холодного зварювання. Процес холодного зварювання складається з таких операцій: підготовка заготовок до зварювання, складання, зварювання, видалення облою при зварюванні впритул, контроль якості зварювання.

Основні труднощі підготовки поверхні деталей під холодне зварювання полягає в ретельному видаленні з неї органічних та адсорбованих плівок. Органічні плівки – це тонкі плівки масел, жирних кислот і парафінів, що покривають зварювані поверхні. Легко проникаючи в несучільності на поверхні металу, вони тверднуть у межовому шарі, міцно з'єднуючись із металом, і значною мірою утруднюють процес зварювання, тому що при пластичних деформаціях не руйнуються. Після промивання замасленого металу бензином шар органічних молекул становить 1...5 мкм і тільки при особливо ретельному обробленні розчинниками зберігається жирова плівка завтовшки 10–100 молекул. Повністю видалити масляні покриття з металу практично неможливо ніякими розчинниками, оскільки адсорбційний зв'язок жирних молекул і металу є суто електричним.

Перешкоджають зварюванню й адсорбовані на поверхні плівки парів води, газів. Плівка пари води становить 50–100 молекул. Міцний мономолекулярний шар адсорбованих газів утворюється майже миттєво. Для утворення молекулярного шару достатньо $2,4 \cdot 10^{-8}$ с. Ці плівки погіршують процес зварювання, а видалити їх важко. У глибокому вакуумі, де утворення плівок відбувається повільно, здійснити холодне зварювання значно простіше. Тому це можна розглядати як перспективний процес для з'єд-

нання деталей у космічних умовах.

Метою підготовки поверхонь до зварювання є видалення жирових і масляних забруднень, для чого на виробництві застосовуються такі способи:

- а) механічне зачищення стальними обертовими щітками;
- б) прожарювання алюмінієвих заготовок при температурі 300...400 °С і вільному доступі повітря для утворення оксидних плівок і видалення жирових забруднень;
- в) покриття поверхні тонким (6...10 мкм) шаром гальванічного нікелю або хрому;
- г) обрізування кінця заготовки при зварюванні проводів з порівняно невеликим діаметром з допомогою спеціальних ручних гострозубців або механічного ножа (торці деталей великого перерізу піддають механічному обробленню). При цьому необхідно забезпечити паралельність зварюваних поверхонь обох деталей.

Видалення облою після зварювання впритул може виконуватися на зварювальному обладнанні, для чого кромки затискачів загострюють під кутом 60°.

Принципова відмінність холодного зварювання від інших способів зварювання тиском полягає в необхідності видалення оксидних плівок та адсорбованих газів із зони контакту механічним шляхом – інтенсивним пластичним деформуванням. Далі пластична деформація, як і при інших способах зварювання тиском, забезпечує утворення фізичного контакту, активацію поверхонь, їх схоплювання та взаємодію, але ці процеси мають свої кінетичні особливості. При холодному зварюванні накопичена деформація, необхідна для утворення міцного з'єднання, є значно більшою, ніж при інших способах зварювання тиском з підігріванням.

Роль термічної активації при холодному зварюванні є незначною. На результати зварювання не впливає також текстура металу, оскільки для більшості металів при кімнатній температурі кристалізаційні процеси відбуватися не можуть (за винятком деяких легкоплавких металів, наприклад галію, індію, свинцю, для яких кімнатна температура є вищою від температури рекристалізації).

Зварний шов при холодному зварюванні металу не забруднюється домішками, має високу однорідність і високі показники корозійної стійкості та стабільності електричного опору. Простота підготовки деталей до зварювання й контролю параметрів режиму, відсутність допоміжних матеріалів, газових і теплових виділень, можливість дистанційного керування та швидкість процесу роблять холодне зварювання зручним для використання і таким, що не потребує високої кваліфікації зварника-оператора. Питомі витрати енергії на зварювання приблизно на порядок менші, ніж при зварюванні плавленням. Застосування холодного зварювання поліпшує гігієнічні умови на виробництві. Однак слід ураховувати, що для хо-

лодного зварювання кожного конкретного виробу потрібно мати інструмент індивідуальної конструкції. Необхідно суворо стежити за виключенням можливості забруднення поверхонь, підготовлених до зварювання. При зварюванні внапуск на виробах залишаються глибокі вм'ятини – сліди від інструмента.

Параметрами режимів холодного зварювання є питомий тиск, величина вильоту деталей із цанг (при стиковому зварюванні), діаметр пуансона, ступінь деформації.

Величину питомого тиску вибирають залежно від фізико-механічних властивостей металів. Рекомендовані питомі тиски при стиковому зварюванні: алюмінієвих деталей – $700\dots 800 \text{ МН/м}^2$, мідних – $2000\dots 2500 \text{ МН/м}^2$, з різнорідних металів, наприклад алюміній – мідь, – $1500\dots 2000 \text{ МН/м}^2$.

При стиковому зварюванні деталей важливим технологічним параметром є довжина кінця деталі, випущеного із затискної цанги, тому що вона поряд із зусиллям здавлювання визначає ступінь деформації. Рекомендована довжина вильоту стрижня діаметром d : алюмінієвого – $(1\dots 1,2)d$; мідного – $(1,25\dots 1,5)d$. При зварюванні різнорідних металів виліт стрижня з менш міцного металу має бути меншим, ніж з більш міцного. Наприклад, при стиковому зварюванні міді та алюмінію виліт мідного стрижня рекомендується робити на $30\dots 40\%$ більшим, ніж алюмінієвого.

Для заготовок прямокутного перерізу виліт є дещо більшим, ніж для циліндричних, при ширині, що дорівнює діаметру, при однакових інших умовах. Величина вильоту заготовки може змінюватися в досить широкому діапазоні. Основною умовою визначення цього параметра є необхідність симетричної відносно стику деформації металу без утрати стійкості кінців заготовок. Зі збільшенням діаметра (товщини) стрижня абсолютне значення вильоту збільшується, але його відношення до діаметра зменшується. Для алюмінію виліт змінюється від $0,5d$ для $d = 30 \text{ мм}$ до $1,0d$ для $d = 1\dots 3 \text{ мм}$. Для міді виліт змінюється від $0,75d$ до $1,1d$ відповідно для діаметрів 20 і 2 мм . Звичайно, можуть бути й відхилення від цих значень.

При зварюванні внапуск ширину або діаметр пуансона визначають залежно від товщини металу $(1\dots 3)\delta$. Для шовного зварювання алюмінію рекомендуються ролики $d = 50\delta$ із шириною робочого виступу $(1\dots 1,5)\delta$, висотою $(0,8\dots 0,9)\delta$, шириною опорної частини $(2\dots 4,5)\delta$. Тиск пуансона становить $300\dots 600 \text{ МПа}$ для відпаленого алюмінію, 2000 МПа – для міді.

Для холодного зварювання використовується як спеціалізоване, так і стандартне пресове й прокатне устаткування. Розрізняють устаткування для стикового, точкового й шовного зварювання.

Машину МСХ-5-3 призначено для зварювання алюмінієвих проводів перерізом $2\dots 30 \text{ мм}^2$, мідних та алюмінієвих з мідними перерізом $2\dots 20 \text{ мм}^2$.

Технічні дані:

Робочий тиск повітря, МН/м ²	0,1...0,5
Розрахункове зусилля стиснення, кН	50
Максимальна відстань між внутрішніми торцями затискних губок, мм	11
Витрата стисненого повітря на одне зварювання, м ³	0,005
Продуктивність машини, зв./год	до 200
Маса машини, кг	62

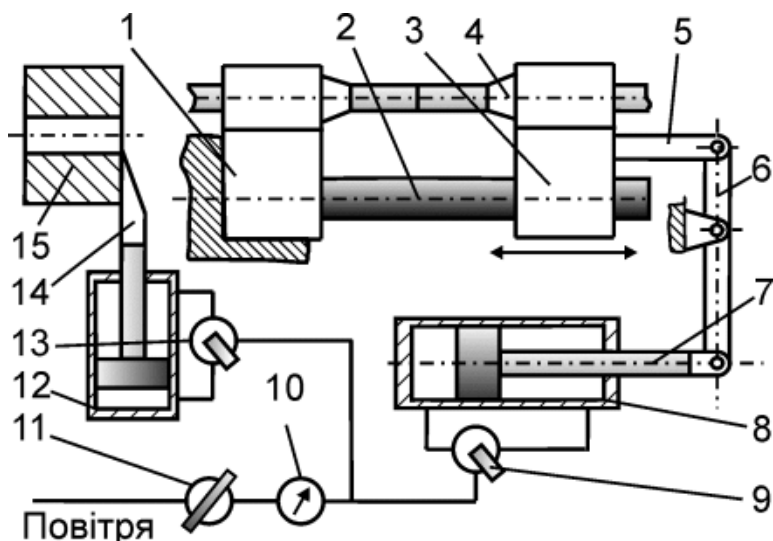


Рис. 4.6. Схема машини МСХС-5-3

До складу машини МСХ-5-3 (рис. 4.6) входять корпус, затискні пристрої з механізмом ручного затискання заготовок, пристрій для спрямування руху заготовок, механізм осаджування, апаратура керування, допоміжні механізми і пристрої для підготовки кінців заготовок до зварювання.

Корпус прямокутної коробчастої форми розташований на чотирьох ніжках. У середині корпусу закріплено

основи зварювального пристрою й різака, а також розміщено обидва крани керування роботою різака й механізму осаджування.

Затискний механізм складається з нерухомого 1 і рухомого 3 затискачів, рухомий затискач може переміщуватися відносно нерухомого по двох напрямних колонках 2.

До затискних пристроїв належать рознімні губки 4, що складаються з двох частин, між якими затискаються зварювані деталі. При зімкненні між губками передбачено гарантований зазор величиною 2,5 % товщини або діаметра заготовки. Губки – змінні, відповідають конфігурації перерізу деталі, що затискається, мають насічку для запобігання прослизанню заготовки при зварюванні. Глибина насічки становить 3...4 % діаметра або товщини заготовки, але не більше 0,35...0,40 мм. З одного торця губки заточені на конус із кутом 60°, при замиканні вони утворюють ножі для видалення облою. Для затискання використовуються механізми кулачкового типу, що дає змогу зменшити затискне зусилля до 45 % від зусилля осаджування. Затискне зусилля створюється вручну.

Механізм осаджування в машині – пневмоважільний. Керують роботою механізму осаджування з допомогою триходового пневматичного крана 9, розташованого всередині корпусу справа.

При перекладанні рукоятки вліво до упору права камера пневмоциліндра 8 з'єднується з атмосферою, а в ліву камеру подається стиснене повітря, унаслідок чого переміщується поршень, який через шток 7, важіль 6 і тягу 5 переміщує рухомий затискач до контакту з нерухомим, забезпечуючи деформацію металу на величину установленого зазору між губками затискачів та обрізання облою. При повороті рукоятки крана вправо ліва камера пневмоциліндра з'єднується з атмосферою, а в праву камеру надходить стиснене повітря, що повертає поршень і рухомий затискач у праве положення. Якщо рукоятка крана перебуває в середньому положенні, то стиснене повітря в жодну з камер пневмоциліндра не надходить.

Тиск стисненого повітря, що надходить із мережі, регулюється повітряним редуктором 11, його контролюють з допомогою манометра 10.

Права частина зварювального пристрою закрита знімним кожухом.

Для обрізання торців стрижнів перед зварюванням на машині встановлено різак, який складається з корпусу і пневмоциліндра, на штоку якого розташовано спеціальний ніж. До бічних стінок корпусу кріпиться змінна плита 15, діаметри отворів у якій відповідають поперечним перерізам зварюваних стрижнів. У вихідному положенні ніж різака розташовується нижче отворів у планці.

Кран керування роботою різака 13 знаходиться всередині корпусу машини ліворуч. При повороті рукоятки крана керування роботою різака вліво до упору стиснене повітря надходить у нижню камеру пневмоциліндра 12 і штовхає поршень угору. При цьому ніж різака 14, закріплений на штоку, обрізає кінець стрижня, вставленого в отвір планки. Верхня камера пневмоциліндра в цей час з'єднується з атмосферою. При повороті рукоятки крана вправо поршень зі штоком і ножем повертається у вихідне положення.

Середнє положення рукоятки крана – нейтральне, повітря не надходить в жодну з камер пневмоциліндра.

Правила експлуатації машини МСХ-5-3. Перед роботою слід:

- перевірити, чи встановлено на машині затискні губки відповідно до перерізу стрижнів, що зварюються;
- перевірити, чи немає витoku повітря з пневмоциліндра осаджування й різака;
- повернути рукоятку кранів управо до упору;
- установити необхідний тиск стисненого повітря з допомогою повітряного редуктора;
- перевірити різак, який має бути сухим і чистим.

Порядок роботи на машині

1. Установити губки відповідно до перерізу зварюваних стрижнів у затискачі.

2. Подати на машину стиснене повітря (редуктор 10, контроль – манометр 11).

3. Установити з допомогою калібрів необхідну відстань між губками, для чого, плавно пересуваючи рукоятку крана 9, підвести рухомий затискач до упору губок у калібр і зупинити затискач установленням рукоятки крана в середнє нейтральне положення.

4. Протерти стрижні, що зварюються, чистим ганчір'ям, змоченим спиртом або ацетоном, для знежирення й видалення з поверхні забруднень.

5. З допомогою різака обрізати кінці зварюваних стрижнів.

Кінці стрижнів вставляють у відповідні отвори різака, а рукоятку правого крана переміщують у ліве положення, при цьому кінці стрижня обрізаються.

6. Установити зварювані стрижні в губки затискачів так, щоб їх стик знаходився на середині зазору між губками. Затиснути в губках затискачів стрижні, для чого рукоятки ексцентрикових механізмів повернути вниз до упору.

7. Виконати зварювання стрижнів та обрізання облою, для чого рукоятку крана механізму осаджування 9 повернути вліво до упору (до повного змикання внутрішніх торців затискних губок).

8. Відпустити ексцентрики затискного механізму, відкинути вверх важелі, звільняючи зварені стрижні.

9. Повернути рухомий затискач у крайнє праве положення, повернувши рукоятку крана 9 вправо до упору, і зняти зварену деталь із нижніх губок затискачів.

Методика роботи

1. Ознайомитися із суттю холодного зварювання.

2. Визначити особливості формування стикового з'єднання при холодному зварюванні.

3. Визначити особливості формування з'єднання внапуск при холодному зварюванні.

4. Визначити вплив параметрів режиму на параметри зварного з'єднання.

5. Визначити вплив властивостей зварюваного матеріалу на якість зварного з'єднання.

6. Ознайомитися з будовою машини МСХС-5-3.

7. Провести тренувальне зварювання відповідно до «Порядку роботи на машині».

8. Установити режими зварювання (за вказівкою викладача), виконати зварювання зразків, перевірити на міцність зварні з'єднання.

9. Скласти звіт, виконати аналіз отриманих результатів.

Обладнання й матеріали

1. Пост для холодного зварювання.

2. Машина для холодного зварювання МСХС-5-3.

3. Розривна машина.
4. Зварювальні матеріали: алюмінієвий і мідний дроти діаметром 3...5 мм; ганчірки; матеріали для знежирення.

Зміст звіту

1. Схеми холодного зварювання.
2. Особливості формування зварного з'єднання, параметри режиму та їх вплив на параметри зварного з'єднання.
3. Принципова схема машини МСХС-5-3. Технічні дані, специфікація основних вузлів.
4. Результати досліджень (табл. 4.4).
5. Графік залежності зусилля руйнування від ступеня пластичного деформування зразків при зварюванні.
6. Аналіз отриманих результатів. Висновки (обґрунтування оптимального режиму зварювання).

Таблиця 4.4

Протокол режиму зварювання й випробування зразків

№ п/п	Діаметр зварюваних стрижнів							
	Марка металу		Довжина вильоту, мм		Зусилля руйнуван- ня, кН	Характер руйнування	Примітка	
	1	2	1	2				
1								

Контрольні запитання

1. Розкажіть про особливості холодного зварювання.
2. Назвіть основні способи холодного зварювання.
3. Опишіть процес холодного зварювання з обтисненням.
4. Як утворюється зварне з'єднання при стиковому холодному зварюванні, при зварюванні впритул?
5. Як залежить міцність зварного з'єднання від ступеня деформації?
6. Як і для чого необхідно очищувати поверхню деталей перед зварюванням?
7. Перелічіть параметри режиму точкового і стикового холодного зварювання.
8. Як впливають параметри режиму зварювання на якість зварного з'єднання?
9. Як відбувається зварювання деталей із різнорідних матеріалів?
10. З яких вузлів складається машина МСХС-5-3?
11. Розкажіть про підготовку машини МСХС-5-3 до роботи.

БЕЗПЕКА ПРАЦІ ПРИ КОНТАКТНОМУ ЗВАРЮВАННІ

Основні заходи щодо техніки безпеки при контактному зварюванні пов'язані з можливістю ураження оператора електричним струмом, опіків від бризок або вибризувань, травм, пов'язаних з наявністю рухомих частин приводу зусилля або подання деталей.

Вторинна напруга трансформатора зварювальних машин не перевищує 24 В і є безпечною для людини. Найбільша небезпека виникає при контакті з елементами, пов'язаними з первинною обмоткою зварювального трансформатора, де напруга зазвичай становить 220...380 В, а при використанні конденсаторних машин напруга на випрямлячі може становити 1000 В. Крім того, іноді можливим є пробій або замикання первинної обмотки трансформатора на вторинний виток, тому вторинний контур машини так само, як і шафа керування, має бути надійно заземленим.

Переріз заземлювального проводу має бути не меншим за 4 мм² для відкритої проводки і 5 мм² для закритої. Усі елементи керування – кнопки, педалі тощо – звичайно живляться напругою, що не перевищує 36 В. Під час роботи дверцята машини й шафи керування мають бути закритими. Блокувальні пристрої, наприклад, на конденсаторних машинах, мають бути справними.

Для швидкого відмикання машини від мережі необхідно забезпечити легкий доступ до рубильників, кнопок та інших вимикальних пристроїв. Підлога перед машиною має бути сухою і застеленою гумовим килимком.

До роботи на машині допускаються особи, що мають відповідну кваліфікацію й пройшли інструктаж з техніки безпеки. Якщо виникла яка-небудь несправність, слід негайно припинити роботу й сповістити про це майстра або наладчика.

При зачищенні й зміні електродів, установленні вузлів у контурі машини слід дотримуватися запобіжних заходів для виключення можливості випадкового переміщення електрода і травмування рук. Для ввімкнення приводу зусилля рельєфних машин рекомендується використовувати дві кнопки, щоб були зайняті обидві руки зварника.

Простір навколо затискного механізму стикових машин слід закривати відкидним щитком, а при зварюванні на потужних машинах простір навколо них огорожувати ширмами. Стикове зварювання супроводжується виділенням пари металу і бризками. Особливо шкідливі речовини виділяються при з'єднанні кольорових металів або сталей з легкоплавкими покриттями. В останньому випадку крім загальної припливно-витяжної вентиляції рекомендується застосовувати й місцеву вентиляцію.

УМОВНЕ ПОЗНАЧЕННЯ ЗВАРНИХ З'ЄДНАНЬ, ВИКОНАНИХ КОНТАКТНИМ ТОЧКОВИМ І ШОВНИМ ЗВАРЮВАННЯМ

Шов зварного з'єднання незалежно від способу зварювання умовно позначають так: видимий – суцільною основною лінією, невидимий – штриховою лінією, невидимі точки не зображують.

Від зображення шва або окремої точки проводять лінію-виноску з односторонньою стрілкою (рис. Д.2.1).

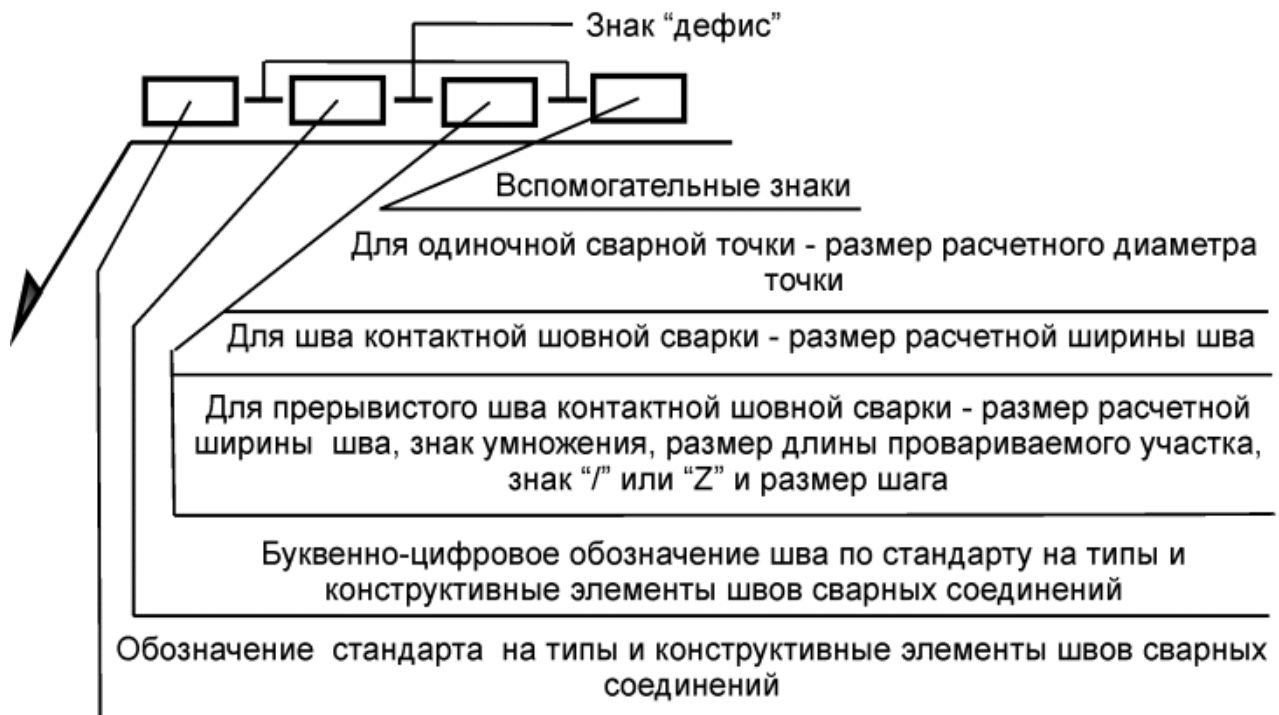


Рис. Д.2.1. Умовні позначення зварних з'єднань (ГОСТ 2.312–72)

Умовні позначення шва наносять на поличці лінії-виноски, від якої шов знаходиться з лицьового боку, під поличкою – якщо зі зворотного.

У ГОСТ 15878–79 наведено такі позначення способів контактної зварювання: K_T – точкове (рис. Д.2.2); $K_{ш}$ – шовне (рис. Д.2.3); K_p – рельєфне. Для конструктивних елементів зварних з'єднань прийнято такі позначення:

- S, S_1 – товщина деталей;
- d – розрахунковий діаметр литого ядра точки або ширина литої зони шва;
- h, h_1 – величина проплавлення;
- g, g_1 – глибина вм'ятини;
- t – відстань між центрами сусідніх точок у ряді;
- c – відстань між осями сусідніх рядів точок при ланцюговому розташуванні;
- L – довжина литої зони шва;

- f – величина перекриття литих зон шва;
- L_1 – довжина неперекритих частин литих зон шва;
- B – величина напуску;
- u – відстань від центра точки або осі шва до краю напуску;
- n – кількість рядів точок.

ГОСТ 15878–79 – K_T – d/t

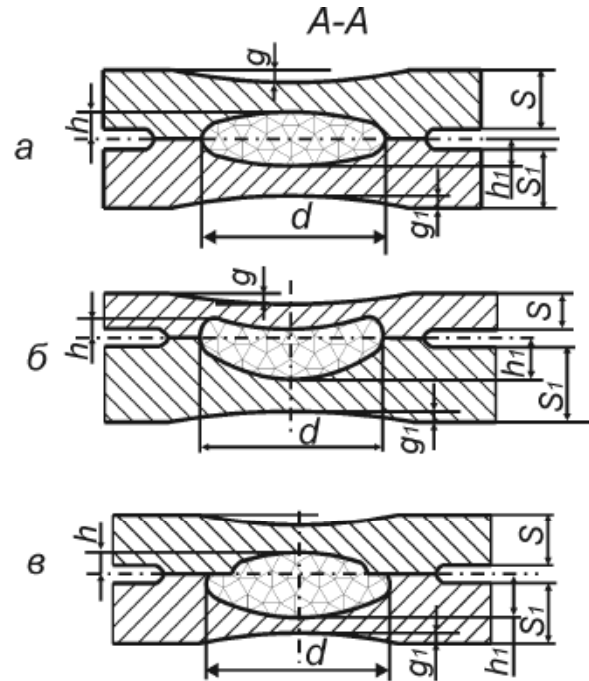
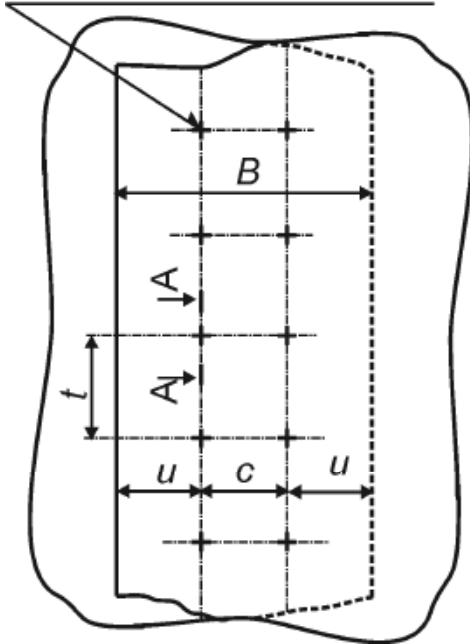


Рис. Д.2.2. З'єднання, виконане точковим зварюванням:
 а – деталі однакової товщини; б – різнойменні метали;
 в – деталі різної товщини

ГОСТ 15878–79 – $K_{ш}$ – d

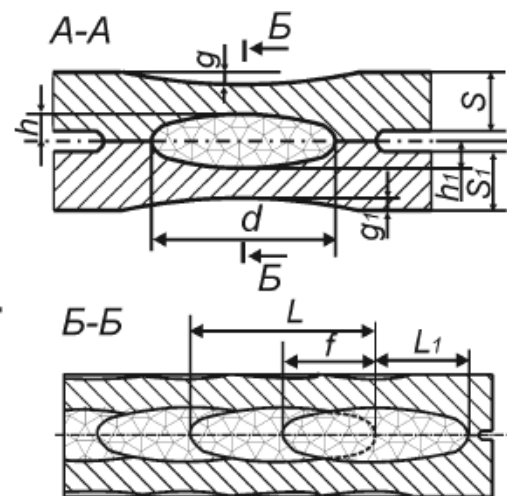
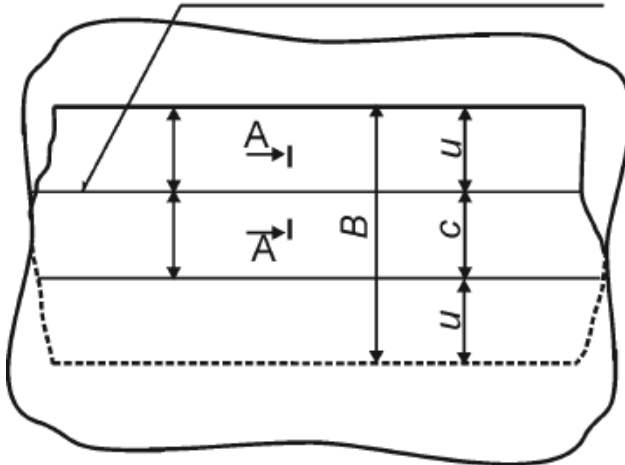


Рис. Д.2.3. З'єднання, виконане шовним зварюванням

Розміри конструктивних елементів зварних з'єднань групи А

Спосіб зварювання	$S = S_1$	d , не менше	Однорядний шов В, не менше		t , не менше
			Сталі, сплави на нікелевій основі, титанові сплави	Алюмінієві, магнієві й мідні сплави	
	0,7...0,8	3,5	10	12	13
	0,8...1,0	4,0	11	14	15
	1,0...1,3	5,0	13	16	17
	1,3...1,6	6,0	14	18	20
K_T	1,6...1,8	6,5	15	19	22
	1,8...2,2	7,0	17	20	25
	2,2...2,7	8,0	19	22	30
	2,7...3,2	9,0	21	26	35
	3,2...3,7	10,5	24	28	40
	3,7...4,2	12	28	32	45
	4,2...4,7	13	31	36	50
	4,7...5,0	14	34	40	55
	0,6...0,8	3,5	10	12	-
	0,8...1,0	4,0	11	14	
	1,0...1,3	5,0	13	16	
$K_{ш}$	1,3...1,6	6,0	14	18	
	1,6...1,8	6,5	15	19	
	1,8...2,2	7,0	17	20	
	2,2...2,7	7,5	19	22	
	2,7...3,2	8,0	21	26	
	3,2...3,7	9,0	24	28	
	3,7...4,0	10	28	30	

Допускається зварювання деталей різної товщини; при цьому розміри конструктивних елементів слід вибирати за деталлю меншої товщини. У випадку $S/S_1 > 2$ мінімальні величини напуску B і відстань між центрами сусідніх точок у ряді t слід збільшити в 1,2–1,3 рази.

Відстань від центра точки або осі шва до краю напуску має бути не менше половини мінімальної величини напуску.

БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

Биковський, О. Г. Технологія та обладнання електричного контактного зварювання : навч. посіб. / О. Г. Биковський, Д. М. Лутов, І. В. Пінковський. – Київ : Техніка, 2001. – 239 с.

Гельман, А. С. Основы сварки давлением / А. С. Гельман. – М. : Машиностроение, 1970. – 312 с.

Гельман, А. С. Технология и оборудование контактной электро-сварки / А. С. Гельман. – М. : Машиностроение, 1963. – 368 с.

Горлов, О. К. Основи технології зварювання в аерокосмічній техніці : навч. посіб. У 2 ч. / О. К. Горлов, Є. П. Рогачов, С. М. Лашко. – Харків : ХАІ, 2007. – 72 с.

Квасницький, В. В. Спеціальні способи зварювання : навч. посіб. / В. В. Квасницький. – Миколаїв : УДМТУ, 2003. – 437 с.

Кочергин, К. А. Сварка давлением / К. А. Кочергин. – Л. : Машиностроение, 1972. – 216 с.

Патон, Б. Е. Электрооборудование для контактной сварки / Б. Е. Патон, В. К. Лебедев. – М. : Машиностроение, 1969. – 440 с.

Теория и технология контактной сварки : учеб. пособие / Р. Ф. Катаев, В. С. Милютин, М. Г. Близник. – Екатеринбург : Изд-во Урал. ун-та, 2015. – 144 с.

Технология и оборудование контактной сварки : учеб. для машиностроит. вузов / под ред. Б. Д. Орлова. – М. : Машиностроение, 1986. – 352 с.

Фетисов, Г. П. Сварка и пайка в авиационной промышленности : учеб. пособие для авиац. вузов / Г. П. Фетисов. – М. : Машиностроение, 1983. – 216 с.

ЗМІСТ

Вступ	3
1. Види зварювання пластичним деформуванням	6
2. Контактне зварювання	8
2.1. Види контактного зварювання	8
2.2. Джерела тепла при зварюванні.....	14
2.3. Машини для контактного зварювання	15
Практична робота № 7. Електроконтактне точкове зварювання.....	19
Практична робота № 8. Електроконтактне стикове зварювання.....	33
Практична робота № 9. Електроконтактне шовне зварювання	50
3. Особливості точкового зварювання різних з'єднань	60
Практична робота № 10. Зварювання акумульованою енергією. Електроконтактне точкове зварювання на конденсаторній машині ..	65
Практична робота № 11. Електроконтактне точкове зварювання металу малої товщини на імпульсній машині змінного струму.....	75
4. Методи зварювання механічного класу	80
Практична робота № 12. Холодне зварювання пластичних металів	85
Додаток 1. Безпека праці при контактному зварюванні	98
Додаток 2. Умовне позначення зварних з'єднань, виконаних контактним точковим і шовним зварюванням	99
Бібліографічний список	102

Навчальне видання

**Горлов Олександр Кузьмич
Рогачов Євген Петрович
Келеберда Олександр Валентинович**

ЗВАРЮВАННЯ ПЛАСТИЧНИМ ДЕФОРМУВАННЯМ

Редактор Т. О. Іващенко

Зв. план, 2021

Підписано до друку 29.05.2021

Формат 60x84 1/16. Папір офс. Офс. друк

Ум. друк. арк. 5,8. Обл.-вид. арк. 6,5. Наклад 100 пр.

Замовлення 140. Ціна вільна

Видавець і виготовлювач
Національний аерокосмічний університет ім. М. Є. Жуковського
«Харківський авіаційний інститут»
61070, Харків-70, вул. Чкалова, 17
<http://www.khai.edu>
Видавничий центр «ХАІ»
61070, Харків-70, вул. Чкалова, 17
izdat@khai.edu

Свідоцтво про внесення суб'єкта видавничої справи
до Державного реєстру видавців, виготовлювачів і розповсюджувачів
видавничої продукції сер. ДК № 391 від 30.03.2001