

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

О. К. Горлов, Є.П. Рогачов, С. М. Лашко

# **ОСНОВИ ТЕХНОЛОГІЇ ЗВАРЮВАННЯ В АЕРОКОСМІЧНІЙ ТЕХНІЦІ**

**Частина 2**

Навчальний посібник

**Харків „ХАІ” 2008**

УДК 629.7.002:621.791(075.8)

Горлов О.К. Основи технології зварювання в аерокосмічній техніці: навч. посібник / О.К. Горлов, Є.П. Рогачов, С.М. Лашко. – Х.: Нац. аерокосм. ун-т „Харк. авіац. ін-т”, 2008. – Ч. 2. – 72 с.

Описано різні способи контактного й холодного зварювання, принципи роботи й технічні характеристики обладнання для точкового, стикового та шовного видів зварювання. Особливу увагу приділено термодформаційним, 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”, „Фізико-хімічні основи технологічних процесів”.

Іл. 30. Табл. 9. Бібліогр.: 8 назв

Рецензенти: канд. техн. наук, доц. В.Г. Чистяк, О.Ю. Шигимага

© Національний аерокосмічний університет ім. М. Є. Жуковського  
„Харківський авіаційний інститут”, 2008 р.

## ВСТУП

Зварювання – один з технологічних процесів сучасного виробництва, від розвитку якого багато в чому залежить рівень технології в машинобудуванні. Сучасна наука про зварювання і техніка дозволяють надійно з'єднувати деталі різної товщини і конфігурації.

До зварних з'єднань найчастіше окрім вимог міцності додаються й спеціальні, які регламентують термічну і механічну дію зварювального струму на матеріали. У вирішенні цих спеціальних завдань роль способів зварювання термомеханічного і механічного класів дуже значна.

Масштаби застосування контактного зварювання надзвичайно великі - від великогабаритних космічних апаратів до мініатюрних напівпровідникових пристроїв і плівкових мікросхем. Близько 30 % всіх зварних з'єднань виконують різними способами контактного зварювання. В абсолютних цифрах обсяг зварних робіт на МіГ-25 характеризується такими даними: точкове зварювання – 1 400 000 точок (~15 000 м швів); шовне зварювання - 1300 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 і титану та ін.

Серед механізованих і автоматизованих способів зварювання контактне зварювання посідає перше місце.

Точкове зварювання - найпоширеніший спосіб, на частку якого припадає близько 80 % всіх з'єднань, що виконуються контактним зварюванням. Цей спосіб зварювання широко використовують в автомобіле- і вагонобудуванні, будівництві, радіоелектроніці та ін. Наприклад, у конструкціях сучасних лайнерів налічується кілька мільйонів зварених точок, легкових автомобілів - до 5000 точок. Діапазон товщин, що зварюють, - від декількох мікрометрів до 10...30 мм.

Стикове зварювання опором використовують досить обмежено, оскільки не вдається забезпечити рівномірне нагрівання стику і 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 відносно малих перерізів.

Стикове зварювання оплавленням успішно використовують при з'єднанні трубопроводів, залізничних рейок (безстикові 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.

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 ємностей, наприклад, паливних баків автомобілів і літальних апаратів, баків пральних машин і шаф холодильників, плоских опалювальних радіаторів і т.п. Швидкість зварювання швів може досягати на окремих установках 10 м/хв, а щільність з'єднань забезпечує високу надійність роботи зварних конструкцій в умовах дуже низького вакууму або досить великих тисків робочого середовища.

Рельєфне зварювання - найменш розповсюджений спосіб контактного зварювання (обсяг застосування близько 3 %), 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, кріплення дроту до тонких деталей у радіоелектроніці та ін. Рельєфне зварювання по безперервних рельєфах також дає можливість одержувати герметичні з'єднання, зокрема кришки з підставою напівпровідникових елементів або інтегральних схем.

Зварювання в твердому стані значно розширює область застосування зварних конструкцій, дозволяє з'єднувати між собою різнорідні метали, зварювання плавленням яких було неможливим. Утворення металевих зв'язків у твердому стані металу відбувається внаслідок сумісного пластичного деформування.

Методи зварювання в твердому стані розрізняються способами, за допомогою яких відбувається пластичне деформування, величиною пластичної деформації і температурним режимом.

# 1. ТЕРМОМЕХАНІЧНІ ВИДИ ЗВАРЮВАННЯ

Згідно з класифікацією зварювання за фізичними ознаками (ГОСТ 19521-74) до термомеханічного класу включені всі види зварювання, що здійснюються з використанням теплової енергії і тиску - контактна, дифузійна, газо-, дуго-, шлако-, термітно-, індукційнопресо-ва, термокомпресійна, пічна та ін.

## Види контактного зварювання

Контактне зварювання - це зварювання із застосуванням тиску, при цьому нагрівання здійснюється теплом, що виділяється при проходженні електричного струму через частини, що з'єднують, які знаходяться в контакті (ГОСТ 2601-74).

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

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 деформуванню нагрітого металу. Нагрівання і деформування забезпечують зближення контактуючих поверхонь деталей на відстань, достатню для виникнення нерозривних міжатомних металевих зв'язків.

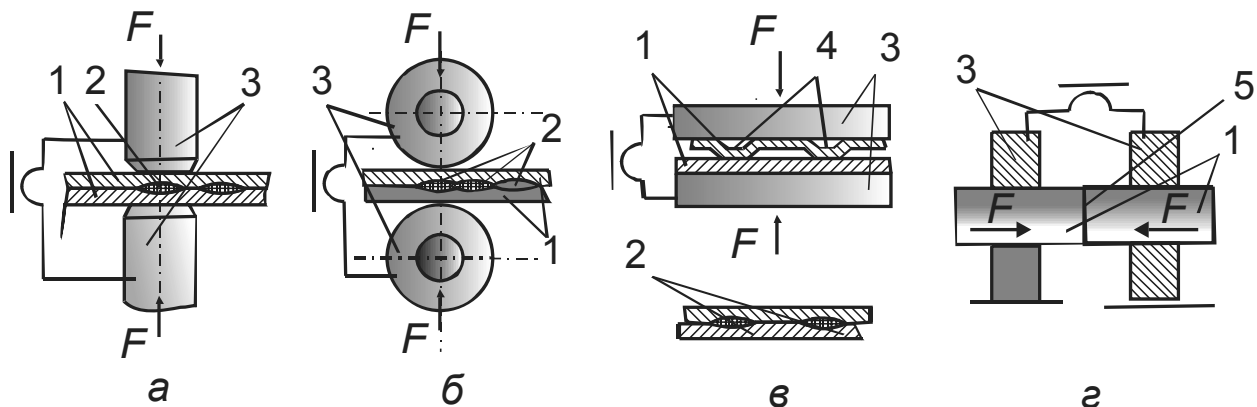


Рисунок 1 – Основні засоби контактного зварювання:

а – точкове; б – шовне; в – рельєфне; г – стикове

Контактне зварювання класифікують за:

- технологічним засобом отримання з'єднання – точкове (рис.1, а), шовне (рис.1, б), стикове (рис.1, в), рельєфне (рис.1, г);
- конструкцією з'єднання – стикове (рис.1, г) або внапуск (рис.1, а, б, в);

- станом металу в зоні зварювання – з розплавленням металу і без розплавлення;
- способом підведення струму – одно- і двостороннє;
- родом зварювального струму та формою імпульсу струму – постійний, змінний (промислової, збільшеної або зменшеної частоти), уніполярний (струм однієї полярності з змінною силою в імпульсі);
- числом з'єднань, що виконують одночасно, – одноточкове, багатоточкове, зварювання одним або декількома швами;
- наявністю додаткових сполучних компонентів (клею, ґрунту, припою тощо);
- характером переміщення роликів при шовному зварюванні - безперервне (з постійним обертанням роликів) або шагове (з зупинкою роликів на термін зварювання).

*Точкове зварювання - спосіб контактного зварювання, за якого деталі зварюються по окремих обмежених ділянках контакту (по ряду точок).*

При точковому зварюванні (рис.1, а) деталі 1 збирають внапуск, стискають електродами 3 (зусилля  $F$ ), до яких підімкнено джерело електричної енергії (наприклад, зварювальний трансформатор). При короткочасному проходженні зварювального струму деталі нагріваються до утворення зони взаємного розплавлення деталей, яке називається ядром 2. Нагрівання зони зварювання супроводжується пластичною деформацією металу в зоні контакту деталей (навколо ядра), де утворюється ущільнюючий пас, що надійно захищає рідкий метал від виплеску і навколишнього повітря. Після вимикання струму розплавлений метал ядра швидко кристалізується, внаслідок чого утворюються металеві зв'язки між деталям, що з'єднують. Утворення з'єднання при точковому зварюванні відбувається з розплавленням металу.

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 засобом підведення струму до деталей, що зварюють, розрізняють двостороннє і одностороннє зварювання.*

У промисловості найбільш розповсюдженим є точкове зварювання з підведенням струму з обох боків деталей - одноточкове 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 багатоточкове зварювання. Для підвищення густини струму у зоні зварювання при однобічному підведенні струму деталі розміщують на мідних струмопровідних підкладках.

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

*Шовне зварювання* - спосіб одержання герметичного з'єднання (шва) шляхом утворення ряду точок, що перекриваються. Підведення струму і переміщення деталей здійснюють за допомогою обертових дискових електродів - роликів 3 (рис.1, б). Як і при точковому зварюванні, деталі 1 збирають внапуск і нагрівають короткочасними імпульсами зварювального струму. Перекриття точок 2 досягається відповідним вибором паузи між імпульсами струму і швидкістю обертання роликів. Залежно від того, обертаються ролики безупинно при зварюванні шва або зупиняються на час проходження зварювального струму, розрізняють безперервне і крокове зварювання.

Відомі деякі різновиди шовного зварювання - однобічне, багатошовне (одночасне зварювання декількох швів на одній машині), шовно-стикове.

*Рельєфне зварювання* - один з різновидів точкового зварювання. При цьому на поверхні однієї з деталей попередньо формують виступ - рельєф 4 (рис.1, в), що обмежує початкову площу контакту деталей, у результаті чого при зварюванні в цій зоні підвищуються густина току і швидкість тепловиділення. При нагріванні рельєф поступово деформується 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 замкнутої 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 (рис.1, г) 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 і 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. При зіткненні деталей в окремих контактах внаслідок великої густини струму метал контактів швидко нагрівається і вибухово руйнується. Нагрівання торців деталей відбувається за рахунок безперервного утворення і руйнування контактів - перемичок, оплавлення торців. До кінця 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 – грат.

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 більших розтинів, стикове з'єднання формується у твердорідинній фазі.

### Джерела тепла при зварюванні

Нагрівання при контактному зварюванні є ведучим процесом в формуванні температурного поля й утворенні з'єднання.

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

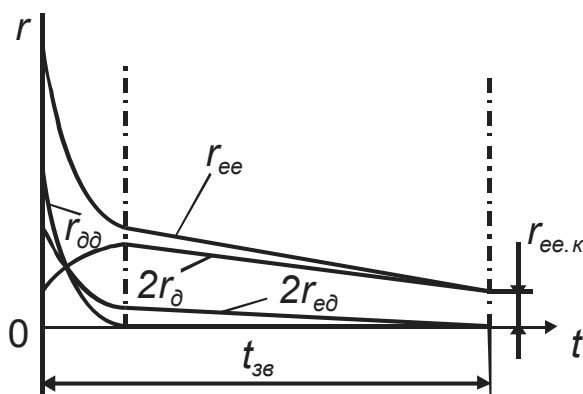


Рисунок 2 – Кінетика зміни електричного опору при точковому зварюванні

$$Q = IUt_{ze} = I^2 r_{ee} t_{ze},$$

де  $I$  – струм, що проходить через деталі;

$U$  – напруга джерела живлення;

$r_{ee}$  – опір стовпчика металу деталей, що є між електродами;

$t_{ze}$  – час проходження струму через деталі, що зварюють.

У цілому опір зони зварювання від одного електрода до другого можна розділити таким



ЧИНОМ:

$$r = r_{e\partial 1} + r_{\partial 1} + r_{\partial 1\partial 2} + r_{\partial 2} + r_{e\partial 2},$$

де  $r_{e\partial 1}$ ,  $r_{e\partial 2}$  - перехідний опір від електрода до деталі;

$r_{\partial 1}$ ,  $r_{\partial 2}$  - опір стовпчика деталей, що зварюють;

$r_{\partial 1\partial 2}$  - перехідний опір від однієї деталі до другої.

Слід відзначити, що основна теплова енергія виділяється (крім мікрозварювання) на опорі  $r_{\partial 1}$ ,  $r_{\partial 2}$  (рис. 2, для випадку зварювання двох однакових деталей  $2r_{e\partial}$ ).

Перехідний контактний опір  $r_{\partial 1\partial 2}$  суттєво впливає на процес зварювання і 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  $r_{e\partial 1}$ ,  $r_{e\partial 2}$  електроди або затискачі виготовляють із металів, які добре проводять електричний струм. При відповідній підготовці поверхні електродів і деталей і вірному підборі режиму зварювання перехідні опори на теплоутворення впливають мало (залежно від товщини матеріалу та зусилля стиснення, утрати  $Q$  для контактного точкового та шовного зварювання – 3...7 %, для стикового зварювання опором – 10...15 %).

Для реальних металів  $r_{ee}$  звичайно невеликий (одиниці-десятки мікроомів), час  $t_{3\epsilon}$  також не можна вибирати великим через можливість одержання рівноважного стану за тепловкладенням. Внаслідок цього для виділення достатньої кількості енергії при контактному зварюванні необхідно застосовувати значні струми  $I$ .

Електроконтактне зварювання здійснюється у разі плавлення металу в умовах тиску. Найважливішими процесами, які забезпечують міцність зварного з'єднання зварювання, є: плавлення і наступна кристалізація металу; стиснення металу при нагріванні та охолодженні (плавленні, кристалізації та рекристалізації); нагрівання та охолодження металу в зоні термічного впливу (ЗТВ).

Всі три процеси взаємопов'язані. Перші два в основному визначають форму, розмір, структуру і властивості металу шва, а третій – структуру і властивості металу ЗТВ.

Режим нагрівання та стиснення залежить від фізико-хімічних властивостей металу, що зварюють. Об'єм зони нагріву і розплавлення визначається миттєвим температурним полем, яке є функцією неперервно змінного поля електричного струму і тепловіддавання.

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.

### ***Машини для контактного зварювання***

Технологічні властивості машин контактного зварювання відображаються рядом показників:

- діапазон отримуваних зварювальних струмів, зусилль стиску, швидкості обертання роликів та інші показники, а також присутність циклограм зміни цих показників за часом;
- розміри робочого простору машини (виліт, росхил, переріз консолей), пов'язані з розмірами і конфігурацією вузлів, які можна виготовляти на цій машині;
- стабільність дотримання заданої циклограми зварювання.

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

Машини контактного зварювання класифікують за різними ознаками: видом зварювання (точкове, рельєфне, шовне, стикове); призначенням (універсальні або загального призначення і спеціальні); видом установки (стаціонарні, пересувні, підвісні); родом живлення, перетворення або акумулювання енергії (однофазні змінного струму, трифазні низькочастотні, з випрямленням струму у вторинному контурі, конденсаторні); видом приводу в механізмах тиску (з ручним, вантажним, пружинним, електромагнітним, інколи з другими типами приводів); ступенем автоматизації. Класифікацію можна продовжити і в середині кожного типу машин для різних видів зварювання

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

*Машини змінного струму* найбільш пристосовані для зварювання сталей і титанових сплавів, вони простіші й дешевші за інші машини.

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

Машини змінного струму мають також більші втрати потужності на індуктивному опорі вторинного контуру зварювального трансфор-

матора. 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 усіх елементів вторинного контуру;

$X_m$  – індуктивний опір машини, у тому числі вторинного контуру.

При зварюванні деталей

$$Z_m = \sqrt{(R_m + R_{ee})^2 + X_M^2},$$

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

Коефіцієнт потужності машини при зварювання визначається відношенням

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

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

$$F_k = w_k \cdot h_k,$$

де  $h_k$  – висота контуру (розхил консолей машини);

$w_k$  - довжина контуру (виліт електродів – відстань від корпусу машини до осі електродів). Зі збільшенням  $F_k$  зростає  $L_k$ .

Для зменшення утрат потужності на  $X_k$  у машинах змінного струму виліт електродів не перевищує 1200 мм, що не дозволяє зварювати великогабаритні конструкції.

У *низькочастотних машинах* частота імпульсів зварювального струму зменшена 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), східчасту зміну зварювального та кувального зусиль стиснення електродів, великий набір режимів зварювання. Такі машини призначені, головним чином, 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 утрат у силовому випрямлячі, а також великої витрати охолоджувальної води.

Переваги машин постійного струму: рівномірне завантаження

фаз; у порівнянні 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.

*У конденсаторних машинах* використовують батарею конденсаторів для накопичення необхідної енергії та утворення потужного короткочасного імпульсу зварювального струму.

Конденсаторні машини не перевантажують електричну мережу, мають стабільну величину зварювального струму (не впливає коливання напруги мережі). Із усіх розглянутих типів машин для точкового зварювання конденсаторні машини найдорожчі.

Конденсаторні машини широко використовують в літакобудуванні переважно для зварювання алюмінієвих і магнієвих сплавів. Вони найменш енергоємні. Наприклад, для зварювання деталей з алюмінієвих сплавів товщиною 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.

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

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

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

Універсальні машини можна поділити на три групи: автоматичні малої потужності для зварювання опором; неавтоматичні середньої потужності з важільним механізмом подачі для зварювання оплавленням і опором; автоматичні для зварювання оплавленням.

Третя група об'єднує великий ряд машин середньої і великої потужності, які відрізняються способом нагрівання деталей: для зварювання неперервним оплавленням, для зварювання оплавленням з підігрівом, для зварювання імпульсним оплавленням.

## 2. Лабораторна робота

### 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.

#### Зміст роботи

#### Загальна схема утворення з'єднання

Весь процес утворення з'єднання умовно можна поділити на окремі фізичні процеси, залежно від ролі цих процесів у формуванні з'єднання їх поділяють на основні й супутні (рис. 3).

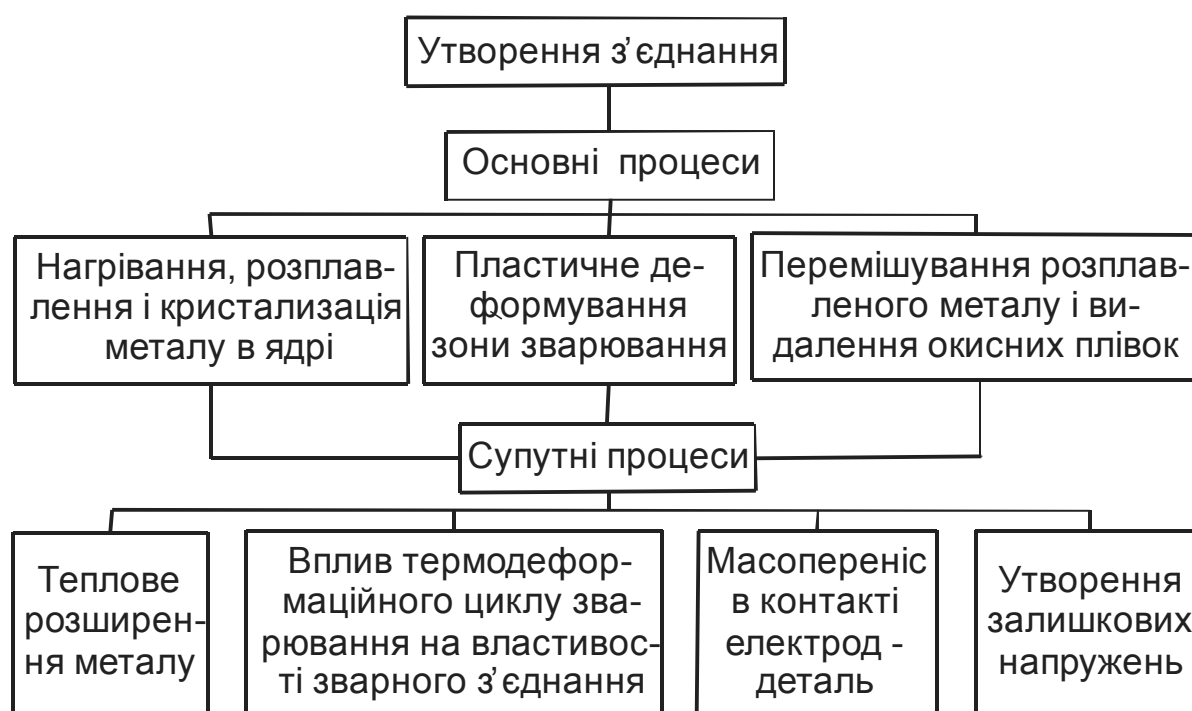


Рисунок 3 – Основні й супутні процеси при утворенні контактного з'єднання

При точковому зварюванні (рис. 4) деталі 1 збирають внапуск або з відбортовкою, щільно затискають між електродами 2 зварювальної машини, нагрівають короткочасним (0,01...0,5 с) імпульсом електричного струму великої сили (до десятків кілоамперів) при незначній напрузі (3...12 В), внаслідок чого утворюється з'єднання на окремих ділянках контакту, що називаються точками.

Утворення з'єднання відбувається за схемою, що складається з етапів I-III (рис. 4).

*Перший етап* починається з моменту обтиснення деталей зусиллям  $F_{зс}$ , що викликає пластичну деформацію мікрорельєфу у кон-

тактах електрод – деталь і деталь – деталь.

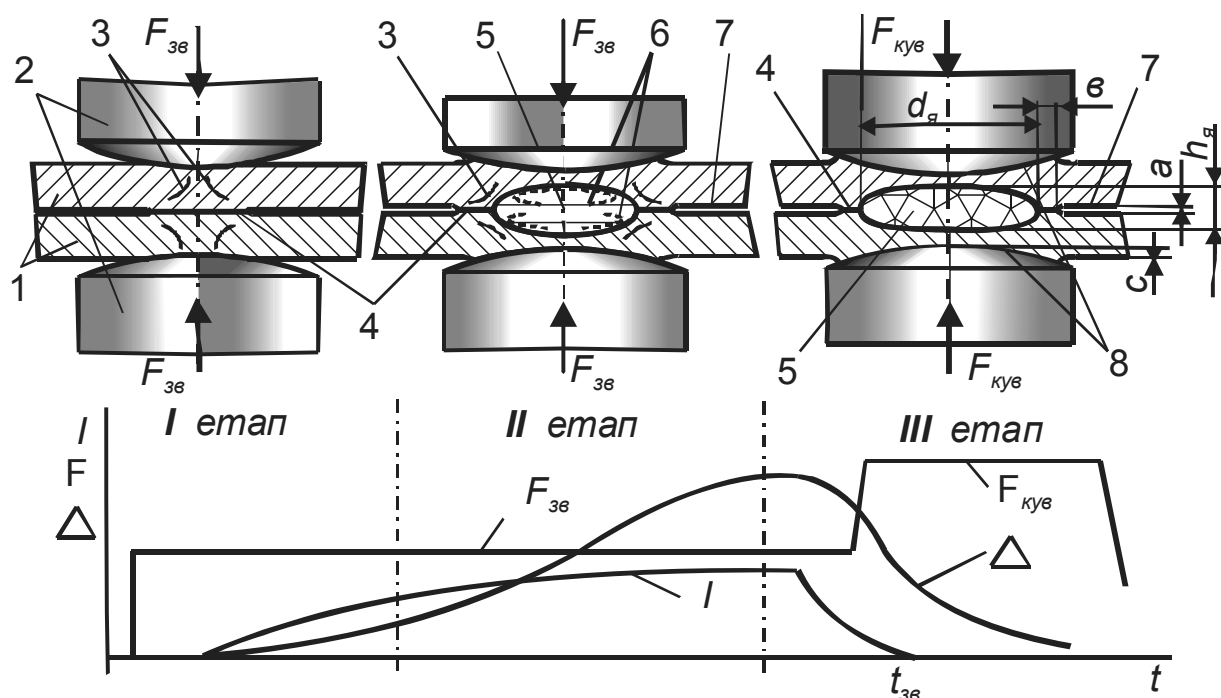


Рисунок 4 - Етапи утворення з'єднання при точковому зварюванні

Наступне 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  $F_{36}$  викликають необоротні об'ємні пластичні деформації (напряма максимальної деформації 3).

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

До розплавлення металу зменшення  $\sigma_0$  і надлишок металу за рахунок дилатометричного ефекту компенсуються незначним розведенням електродів, а також витисненням частини металу в зазор, що забезпечує на внутрішньому контакті рельєф – ущільнювальний пас 4, який обмежує розтікання зварювального струму.

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

*Другий етап* характеризується розплавленням металу і утворенням ядра 5. У міру проходження струму ядро росте до максимальних розмірів - по висоті  $h_я$  і діаметру  $d_я$  (розміри ядра або шва регламентуються ГОСТ 15878-79, ГОСТ 14098-85 і визначаються з умов

забезпечення потрібного рівня міцності зварних конструкцій). При цьому відбувається перемішування металу б, видалення поверхневих плівок і утворення металевих зв'язків у рідкій фазі. Ядро виникає в зоні, де досягається найбільша густина струму і меншою мірою впливає теплообмін з електродами.

При розплавленні в замкнутому об'ємі різко збільшується об'єм металу ядра (рис. 5), збуджуються електромагнітні сили і, як наслідок, виникає гідростатичний тиск, який визначається загальним балансом напружень у зоні зварювання. Дилатометричний ефект і загальне зменшення  $\sigma_{\delta}$  компенсуються подальшим розсуванням електродів і витисненням в зазор деформівного металу. Це сприяє утворенню не тільки рельєфу, який обмежує розтікання зварювального струму, але і герметизації литого ядра, запобігаючи вибризуванню металу і його контакту з атмосферою.

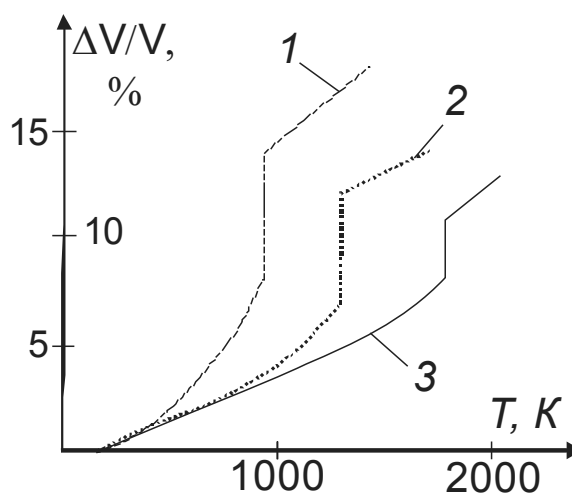


Рисунок 5 – Зміна об'єму металу від температури: 1 – алюміній; 2 – сталь; 3 – титан

Внутрішня межа металу паса має температуру, близьку до температури плавлення, і низьке значення  $\sigma_{\delta}$ ; відповідно, температура зовнішньої межі набагато нижча, а  $\sigma_{\delta}$  більше. Метал паса знаходиться в об'ємно-напруженому стані, при цьому напруження прагнуть збільшити зазор між деталями. Такий характер об'ємної деформації при контактної області деталей викликає «осідання» поверхневих шарів металу і утворення вм'ятини  $\delta$  (розмір  $c$ ) на поверхні від електродів.

З появою розплавленого ядра з'являється небезпека вибризування, внаслідок теплопровідності нагрівається пришовна зона, змінюється вихідна структура металу, спостерігається масопереніс у 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 тривають теплопередача в пришовну зону і змінення структури металу в ній, відбувається усадка металу, внаслідок чого в ньому утворюються усадочні пухкості та раковини; в ядрі виникають розтягальні напруження, які є причиною утворення тріщини і під впливом яких можливе руйнування неміцної точки.

Для зниження рівня залишкових напружень і запобігання усадочних тріщин і раковин потрібні значні зусилля  $F_{кув}$ .

Висока якість зварювання і максимальна продуктивність процесу для даної товщини, форми і матеріалу виробів визначаються правильністю вибраного режиму зварювання (типовий електротермодеформаційний цикл зварювання, див. рис. 4).

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

### Параметри режиму точкового зварювання

Основними параметрами режиму точкового зварювання є зварювальний струм  $I_{зе}$  (амплітудний або діюче його значення), тривалість або час проходження струму  $t_{зе}$ , зусилля стиснення деталей електродами або час зварювання  $F_{зе}$ , зусилля та тривалість проковки  $F_k, t_k$ , діаметр робочої поверхні електрода  $d_e$  або радіус сферичної поверхні електрода  $R_e$ .

Вихідними даними для визначення перелічених параметрів є фізико-механічні властивості металу і товщина деталей, що зварюють. Режими можна установити розрахунково-експериментальним методом або експериментально.

Залежно від властивостей матеріалів для точкового зварювання рекомендують так звані м'які або жорсткі режими. М'які режими - невеликий струм зварювання і великий час зварювання; жорсткий режим - великий струм зварювання, невеликий час зварювання.

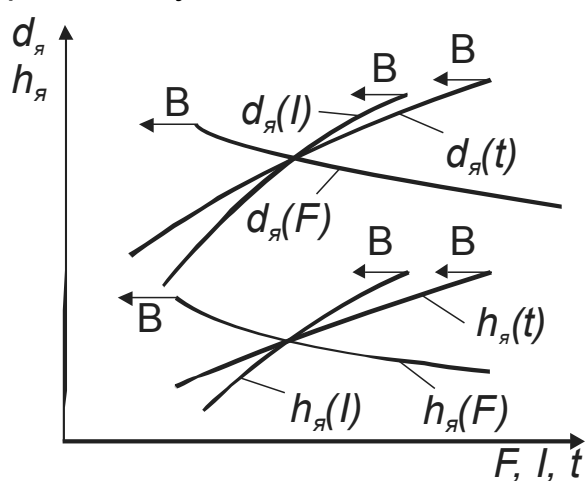


Рисунок 6 – Зміни діаметра ядра  $d_я$  та проплавлення  $h_я$  від параметрів режиму зварювання;  
В – кінцевий виплеск

Є багато рекомендацій щодо режимів (у вигляді таблиць, номограм, графіків). Ці режими орієнтовні і потребують перед зварюванням перевірки і часто корегування з урахуванням відповідних умов (підготовка поверхні, збирання, склад устаткування та ін.).

Корегування проводять на зразках-свідках з використанням залежностей параметрів литого ядра від параметрів режиму (рис. 6). Наприклад, якщо діаметр недостатній, збільшують зварювальний струм  $I_{зе}$ . Для запобігання вибризування збільшують  $F_k, d_e, R_e$ . Якщо ядро має тріщини, збільшують  $F_k$ ,

якщо ядро має тріщини, збільшують  $F_k$ ,



наближаючи збільшення за часом до моменту вимкнення струму, а також уповільнюють кристалізацію, модулюючи задній фронт струму. Зусилля прикладають до проходження сплаву через ТІК;  $t_k$  збільшують при зростанні товщини і зниженні теплопровідності металів, що зварюють (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 стану металу, ступеня зменшення його міцності в шві та зоні термічного впливу, виду навантаження, рівня дефектів.

Параметри режиму мають різний вплив на діаметр ядра і, відповідно, на міцність (рис. 6). Зі збільшенням  $I_{зв}$  або  $t_{зв}$ , коли постійні інші параметри, міцність зростає спочатку швидко, потім повільніше з утворенням ядра. Але при надмірних  $I_{зв}$  і  $t_{зв}$  розміри ядра починають зменшуватись внаслідок посилення внутрішніх вибризувань, появи різних дефектів. Зі збільшенням  $F_{зв}$  і  $d_e$  міцність також спочатку зростає у зв'язку зі збільшенням діаметра ядра, а потім починає знижуватись 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 та температуропровідності металу зварювання проводять на більш жорстких режимах, тобто зменшують час проходження та збільшують силу зварювального струму.

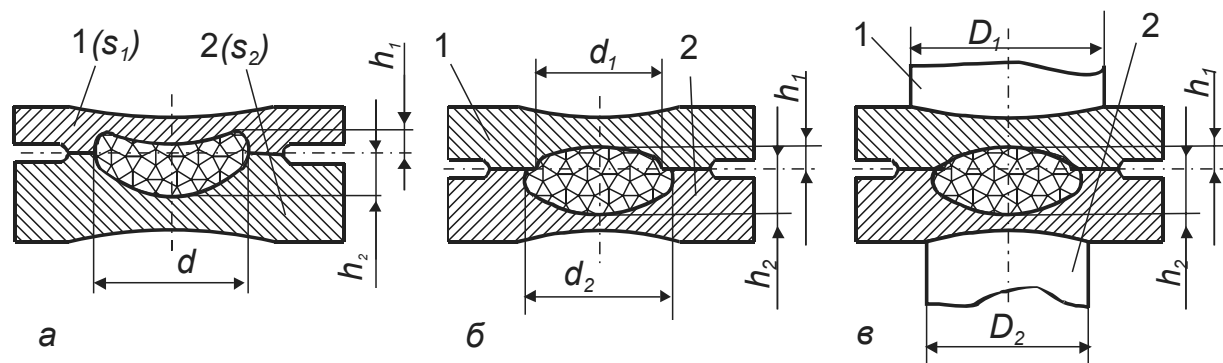


Рисунок 7 – Вплив на формування зварної точки: а - різниці в товщинах деталей; б - їх питомого опору; в – діаметра зварювальних електродів

Якщо зварюють деталі різної товщини, робочі параметри режиму вибирають за найтоншою з них. Зварювання деталей з різною товщиною (при співвідношенні товщини  $>1:3$ ) ускладнене (рис. 7, а) через відсутність надійного проплавлення більш тонкої деталі ( $s_1 < s_2$ ).

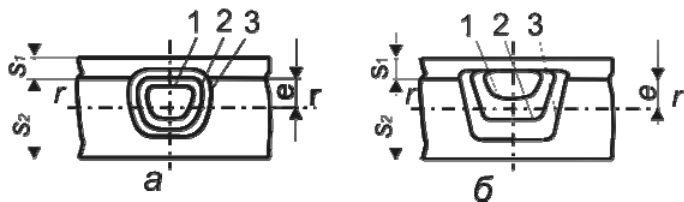


Рисунок 8 - Кінетика формування ядра в деталях різної товщини ( $r-r$  – поверхня теплової рівноваги;  $e$  - відстань цієї поверхні від зварювального контакту): *a* - м'який, *б* - жорсткий режими зварювання; 1-3 - ізотерми плавлення на початку, посередині та в кінці зварювання

однакове виділення та відведення тепла діаметр ядра та глибина проплавлення збільшуються в деталях з більш високим питомим опором і меншим коефіцієнтом теплопровідності (деталь 2).

При зварюванні деталей із застосуванням різних розмірів і форми контактуючих поверхонь (рис. 7, в) ядро зміщується до електрода з меншою контактною поверхнею (електрод 2), де більша густина струму.

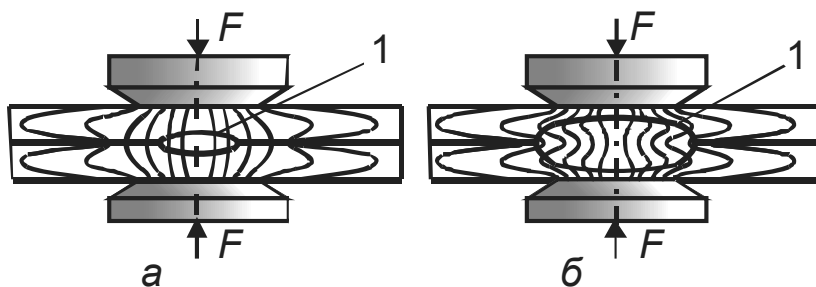


Рисунок 9 – Схема ліній струму при точковому зварюванні: *a* – добре очищені деталі; *б* – деталі, покриті окисами; 1 – лите ядро при однаковій тривалості нагріву

зварюванням звичайно зачищають (травленням або механічним обробленням) або покривають тонкою плівкою окисів з невеликим і постійним за величиною опором.

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

Для точкового зварювання застосовують різні типи машин: змінного струму, низькочастотні, постійного струму, конденсаторні. Поту-

Щоб запобігти цьому, рекомендується: жорсткі режими зварювання (рис. 8) 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 із різноманітних матеріалів (рис. 7, б) через не-

Стан поверхні (контактний опір) деталей суттєво впливає на розподіл тепла при зварюванні (рис. 9) і, як наслідок, на розміри та міцність точок. Для забезпечення стабільності контактного опору деталі перед

жність машин - від 5 до 1000 кВт.

Машини змінного струму найбільш поширені в усіх галузях машинобудування, вони простіші й дешевші за інші машини.

### Будова машини МТ-1606

Машина змінного струму МТ-1606 призначена для точкового зварювання конструкційних і високолегованих сталей, титанових сплавів товщиною від 0.8 до 6.5 мм. Можливе також зварювання деяких кольорових мідних сплавів (латуні, бронзи та ін.) товщиною до 1.2 мм. Максимальна потужність машини - 95 кВт, номінальний зварювальний струм - 16 кА, максимальне число точок у хвилину - 200.

*Пневматична система* (рис. 10) забезпечує стиснення й утримання деталей 1, що зварюють, у стисненому стані під час всього циклу зварювання.

Повітря з мережі через повітряний фільтр 13, регулятор тиску 12, маслороспилувач 11 і електромагнітний пневмоклапан 10 проходить залежно від положення золотника клапана через дроселі (10-6, 10-4), що регулюють швидкість подачі повітря в порожнині циліндра: – у нижню порожнину циліндра 4, здійснюючи підйом 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.

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

Верхній поршень служить для настроювання ходу нижнього. Настроювання ходу здійснюється за допомогою регулювальної гайки 9 на штоці верхнього поршня. Для установлення робочого ходу верх-

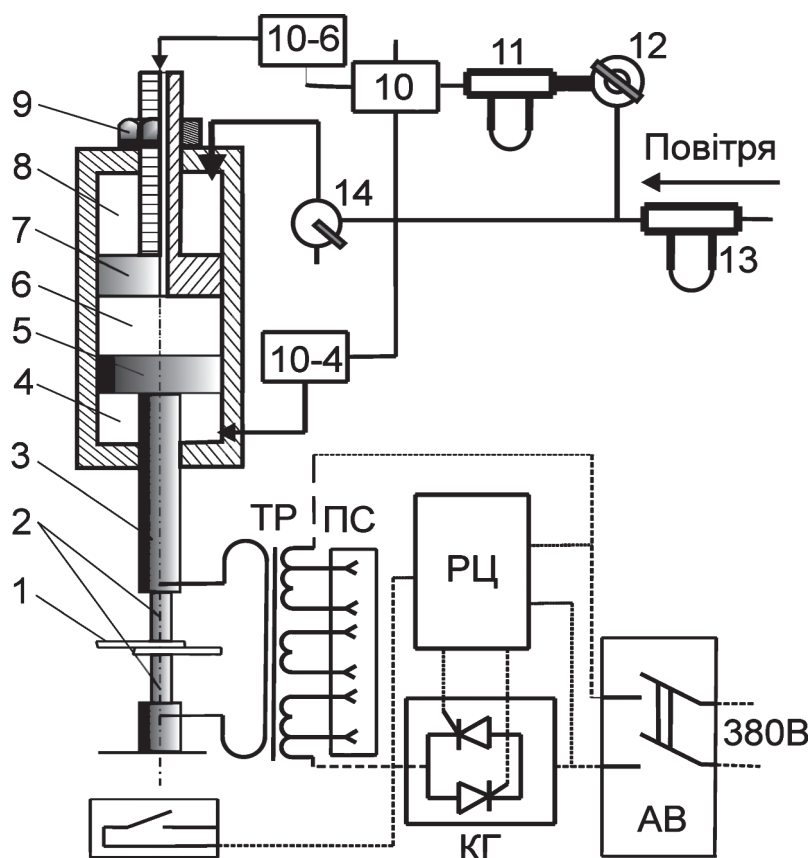


Рисунок 10 - Принципова схема машини МТ-1606

нього електрода в пневмоциліндр (над верхнім електродом) необхідно подати повітря, відкривши кран керування 14. Верхній поршень опускається до упору у верхню кришку циліндра регульовальної гайки.

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

З нижнім поршнем через шток зв'язаний верхній елетродотримач 2, на якому укріплений верхній електрод 2. Нижній елетродотримач і електрод нерухомі.

Маслорозпилювач 11 змащує рухомі частини. Масло з маслорозпилювача 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 число секцій первинних котушок, що увімкнені в електричну мережу, ступінчасто регулюють потужність машини.

Автоматичний вимикач АВ вимикає машину, якщо у мережі машини є коротке замикання або вона перегріється.

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

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

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

У машині МТ-1606 елетродотримачі, електроди і тиристорний контактор охолоджуються проточною водою. Вода, що подається на охолодження тиристорів, проходить через гідроклапан. Якщо подача води припиняється, гідроклапан розмикає керуючий ланцюг тиристора і зварювальний струм не вмикається.

## Порядок роботи машини

Загальний цикл зварювання однієї точки  $t_u$  складається зі стиснення деталей  $t_{cm}$ , що зварюють, зварювання  $t_{зв}$ , проковування  $t_k$  і паузи  $t_p$  (рис. 11).

Стиснення деталей відбувається при натисканні на педальну кнопку КП. Стиснене повітря через електромагнітний пневмоклапан подається в середню порожнину циліндра, опускаючи вниз нижній поршень, зв'язаний з верхнім електродотримачем і електродом.

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

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

По закінченні проковування регулятор циклу розмикає ланцюг живлення електромагнітного пневмоклапана, золотник змінює своє положення і повітря переходить у нижню порожнину циліндра. Нижній поршень піднімається вгору, звільняючи деталі, що зварюють. Електроди під час паузи, необхідної для зміни деталей, будуть розведені, а потім цикл зварювання повторюється.

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

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

## Підготовка 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:

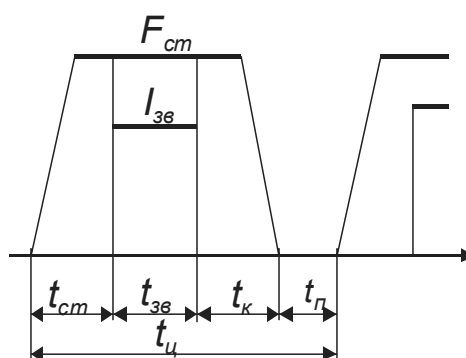


Рисунок 11 – Циклограмма точкового зварювання на машині МТ-1606

а) хід верхнього електрода - вибирається залежно від конфігурації вузлів і деталей, що зварюють, і встановлюється за допомогою гайки, що нагвинчується на шток верхнього поршня (при настроюванні ходу користуються краном керування, який після настроювання необхідно установити в праве положення);

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

в) ступінь потужності (визначає величину струму) - вибирають залежно від товщини та роду матеріалу, що зварюють, встановлюється за допомогою трьох ножових перемикачів, які знаходяться праворуч усередині машини (залежність номера ступеня потужності від положення перемикачів вказано в таблиці на правій стінці машини);

г) час стискання, зварювання, проковування, паузи - встановлюються за допомогою перемикачів регулятора циклу, розташованого праворуч у нижній частині машини. Час кожної операції регулюється в 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 встановлюються одиниці періодів, на правих – десятки.

Ступінь потужності та сила стиснення вибираються залежно від товщини та роду матеріалу, що зварюють.

3. Увімкнути рубильник мережі й автоматичний вимикач.

4. Випробувати роботу машини без зварювального струму, для чого витягти один з ножів перемикача потужності, нажати на педаль керування і після вірного відпрацьовування циклу зварювання вставити ніж на місце.

### **Методика роботи**

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

Таблиця 1- 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							

### Обладнання та 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 товщиною 0,5...1,2 мм.

### Зміст звіту

1. Схема контактного 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.1).
5. Графік залежності  $F = f(t_{зв})$ .
6. Аналіз отриманих результатів. Висновки (обґрунтування оптимального режиму зварювання)

### Контрольні запитання

1. Де виділяється тепло при точковому зварюванні?
2. Який цикл зварювання однієї точки, які її характерні розміри?
3. Які основні параметри режиму точкового зварювання?
4. Як впливають параметри режиму на якість з'єднання?
5. Як уникнути вибризування металу, не знижуючи міцності точки?
6. Як змінити параметри режиму зварювання, якщо товщина листів, що зварюють: збільшилася, зменшилася?
7. Для чого потрібно проковування?
8. Яке призначення вузлів електричної схеми, пневмосхеми?
9. Як настроїти точкову машину на максимальний зварювальний струм (зробити це практично)?

### 3. Лабораторна робота

#### ЕЛЕКТРОКОНТАКТНЕ СТИКОВЕ ЗВАРЮВАННЯ

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

#### Зміст роботи

#### 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 та 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 і оплавленням (рис. 12).

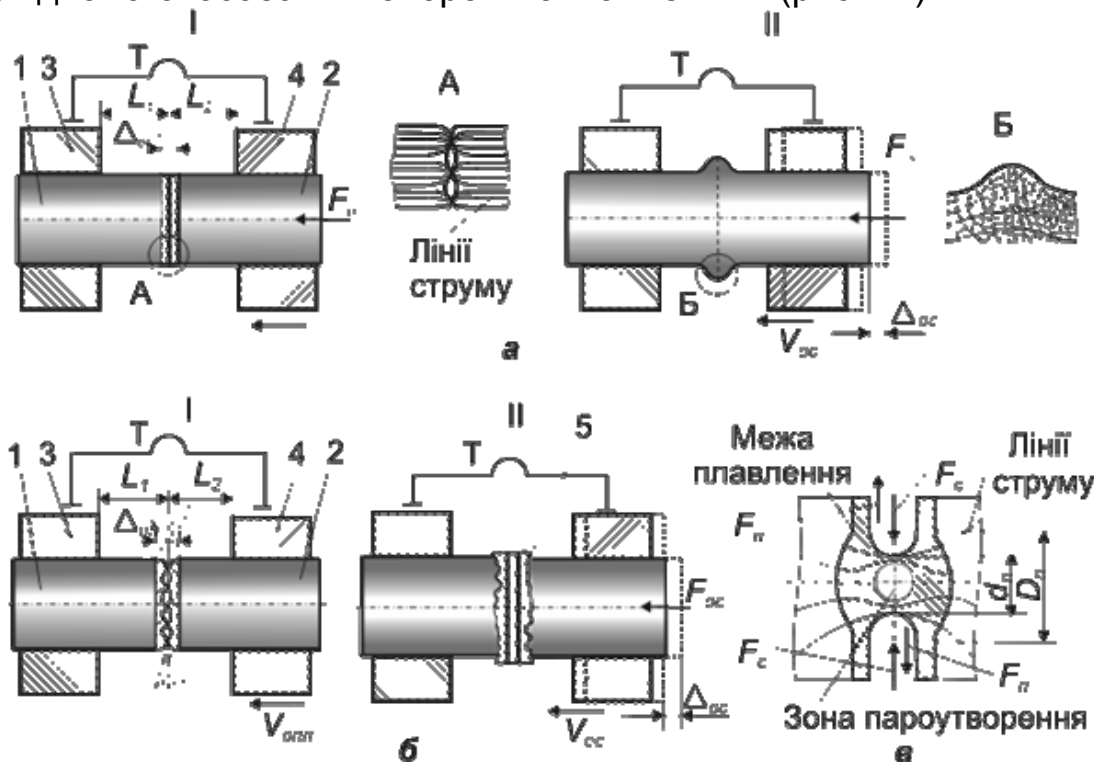


Рисунок 12 – Схема стикового зварювання: а – опором; б – безперервним оплавленням; в – перемичка розплавленого металу при оплавленні; I - стик до зварювання; II - стик після зварювання

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



Перший етап при стиковому зварюванні опором (рис. 12, а) значною мірою аналогічний процесам, що проходять в контакті деталь - деталь при точковому зварюванні до початку розплавлення. При стиковому зварюванні оплавленням (рис. 12, б) нагрів деталей відбувається до утворення на торцях шару розплавленого металу у результаті локального розплавлення і руйнування перемичок (рис. 12, 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 і видалення оксидних плівок.

Основні процеси викликають ряд супутніх процесів, а саме, зміну структури та властивостей металу, теплове розширення й усадку металу, масопереносу у контакті електрод - деталь.

Процеси теплового розширення металу і масопереносу у контакті електрод - деталь, як правило, не роблять істотного впливу на якість з'єднань.

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

### Стикове зварювання опором

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

Нагрівання деталей при стиковому зварюванні відбувається за рахунок генерування теплоти на електричних опорах при проходженні через них електричного струму. Кількість теплоти можна визначити, використовуючи рівняння

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

де  $i_{3e}(t)$  - миттєве значення зварювального струму, який звичайно змінюється під час зварювання;  $r_{ee}(t)$  - загальний опір металу, що знаходиться між електродами в момент часу  $t \leq t_{3e}$ ;  $r_{e\partial 1}, r_{e\partial 2}$  - перехідний опір від електрода до деталі;  $r_{\partial 1}, r_{\partial 2}$  - опір встановлюваного вильоту деталей ( $L_1, L_2$  на рис. 12, а), що зварюють;  $r_{\partial 1\partial 2}$  - перехідний опір від однієї деталі до другої.

Роль опорів, що входять у це рівняння, при стиковому зварюванні інша, ніж при точковому (рис.13).

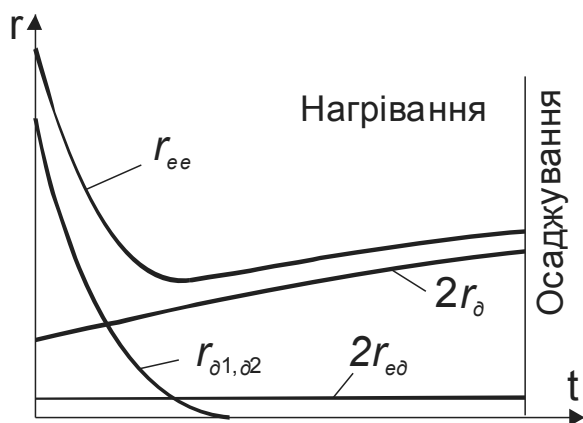


Рисунок 13 - Зміна електричного опору при стиковому зварюванні опором

Після вмикання зварювального струму мікроконтакти швидко нагріваються, знижується опір металу пластичному деформуванню, полегшуються умови руйнації плівок і за відповідних критичних температур, характерних для певного металу,  $r_{\partial 1 \partial 2}$  знижується практично до нуля, а  $r_{e\partial 1}$ ,  $r_{e\partial 2}$  - до відносно малих величин.

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

Контактний опір при стиковому зварюванні опором через відносно малий тиск звичайно в 1,5 - 2 рази більше, ніж при точковому зварюванні.

У загальному балансі теплоти частка тепла, що виділяється на контактному опорі між деталями, не перевищує 10...15 %. Однак вона виділяється у вузькій приконтактній зоні за невеликий проміжок часу і викликає швидке підвищення в ній температури, яка зберігається і після зникнення  $r_{\partial 1 \partial 2}$  до кінця циклу зварювання, тому що ця зона нагріта сильніше інших ділянок. Інтенсивність тепловиділення в контакті визначається початковим тиском. При зниженні тиску інтенсивність тепловиділення зростає, але погіршується рівномірність нагрівання по перерізу, що пов'язано з випадковим розташуванням ділянок контактування і 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 встановлюваній довжині з урахуванням втрат в електроді й на випромінювання; 2) додаткового нагрівання теплотою, що виділяється в стику і поширюється в сторони від нього:

$$Q_1 = I_{зв}^2 r_{\partial} t_{зв} = k_{\pi} I_{зв}^2 t_{зв} \rho_T l_0 / S,$$

де  $I_{зв}$  - зварювальний струм;  $t_{зв}$  - тривалість струму;  $k_{\pi}$  - коефіцієнт втрат;  $\rho_m$  - питомий електроопір (залежить від температури нагрівання);  $l_0, S$  - встановлювана довжина та площа перерізу деталей, що зварюють.

Торці деталей у приконтактній зоні підігріваються до температу-

ри  $T_{зв}$ , нижчої за температуру плавлення металу  $T_{пл}$  ( $T_{зв} = 0,8...0,9 T_{пл}$ ).

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

Деформація викликається дією зусилля стиску, що створюється приводом зварювальної машини. Для утворення початкового електричного контакту досить невеликого тиску (5...10 МПа), за якого звичайно відбувається лише мікропластична деформація рельєфу поверхні торців. За малого тиску контактний опір великий, і його роль у тепловиділенні зростає. Для видалення оксидів і утворення зв'язків потрібна відносно більша об'ємна пластична деформація деталей, яка викликає інтенсивне витиснення переважно приконтактних нагрітих шарів металу і оксидів із зони зварювання.

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

Об'ємну пластичну деформацію в умовах стикового зварювання часто характеризують коефіцієнтом площі  $k_{пл}$  - відношення кінцевої і початкової площ перерізу торців. При м'яких режимах зварювання збільшується довжина зони термічного впливу і  $k_{пл}$ , при жорстких режимах  $k_{пл}$  знижується, тому що деформація локалізується на відносно короткій ділянці деталей, що зварюють. При зварюванні опором допускають максимальне значення  $k_{пл} < 4$ . Така деформація, як правило, не забезпечує повного видалення оксидів. У той же час подальше збільшення  $k_{пл}$  призводить до порушення монолітності металу зони зварювання. Значне збільшення області всебічного стиску, активізації витиснення оксидів і відновлення поверхні для утворення металевих зв'язків досягається 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, викликаним осаджуванням  $\Delta_{ос}$ .

Зусилля осадження  $F_{ос}$  зростає при збільшенні перерізу деталей, що зварюють, жароміцності металів і швидкості осадження. Чим більша 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 ви-*

рішальний вплив роблять оксидні плівки на торцевій поверхні деталей. Вони утруднюють міжатомну взаємодію і перешкоджають формуванню міцних металевих зв'язків. Оксидні плівки мають бути вилучені із зони з'єднання або роздроблені у 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 внаслідок порівняно малої пластичної деформації відбувається лише часткове руйнування і видалення оксидів. Відновлення поверхні (видалення з поверхні торців оксидів) становить при цьому не більше 60...70 %, що в загальному випадку визначає відносно низьку пластичність з'єднань.

Підготовка деталей до стикового зварювання полягає в наданні їх торцям певної форми й ретельному очищенні їх поверхонь. Торцеві поверхні обробляють механічним різанням за допомогою ножиць, пилянь, на металорізальних верстатах або іншими засобами.

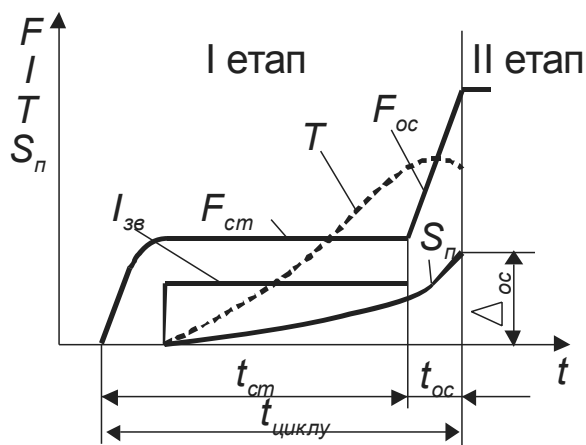


Рисунок 14 - Циклограма стикового зварювання опором:

$F_{ст}$ ,  $F_{ос}$  - зусилля стиску та осаджування;  $I_{зв}$  - струм зварювальний;  $t_{ст}$ ,  $t_{ос}$  - тривалість нагрівання, осаджування;  $S_{п}$  - переміщення рухомого затискача

особливостей матеріалу, що зварюють, і форми деталей, а також можливостей зварювального обладнання.

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

#### 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  $F_{н}$  ( $F_{ос}$ ) або програма зміни зусилля під час зварювання (рис. 14), встановлювальна довжина випуску деталей з затискачів  $L$ , зусилля затиску деталей у затискачах-електродах, припуск на осаджування  $\Delta_{ос}$  (укорочення деталей при зварюванні).

Орієнтовні значення параметрів режиму вибирають після аналізу утворення з'єднання,

Для визначення  $i_{3\epsilon}$ ,  $t_{3\epsilon}$  використовують залежність

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

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

Надмірне збільшення  $i_{3\epsilon}$  може призвести до вибрикування металу, зменшення  $t_{3\epsilon}$  призводить до нерівномірного нагріву деталей по перерізу, а збільшення посилює окислювальні процеси.

*Встановлювальна довжина деталі  $L$*  звичайно складає  $(1,5...2,0)d$ , де  $d$  - діаметр деталі, що зварюють. При стиковому зварюванні різнорідних металів з метою забезпечення рівномірного нагрівання встановлювальна довжина кожної деталі є відмінною. Для деталей із металу з більшою теплопровідністю встановлювальна довжина має бути більшою.

*Зусилля затискування деталей у губках* зварювальної машини, щоб запобігти просковзуванню, має бути в 2-3 рази більшим, ніж зусилля осаджування.

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

*Зусилля осаджування* визначає величина припуску на осадку - величина пластичного деформування металів, а також якість очищення стиків від оксиду. Воно зростає при збільшенні перерізу деталей, що зварюють, жароміцності металів і швидкості осадки.

*Швидкість осаджування* призначають з урахуванням впливу її на окислення металу. Чим більша 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  $\Delta_{oc}$*  містить припуски на осаджування під струмом і осаджування без струму, коли з'єднання ще знаходиться під дією зусилля осаджування.

### **Стикове зварювання оплавленням**

Зварювання оплавленням відбувається у дві стадії: розігрів металу стиків до оплавлення та наступне 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 слою розплавленого металу, а також відповідного розподілу температур у пришовній зоні для проведення наступного осаджування з метою видалення розплаву і оксидів у грат.

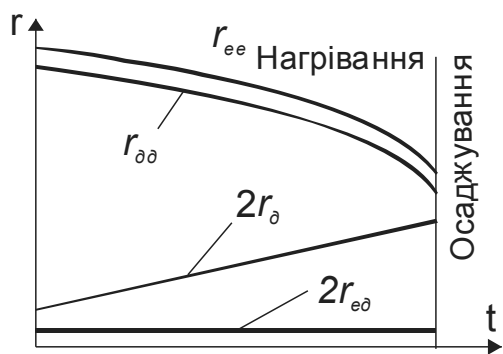


Рисунок 15 – Зміна електричного опору при стиковому зварюванні оплавленням

Нагрівання при оплавленні в основному відбувається за рахунок теплоти, яка виділяється в контактному опорі  $r_{\partial 1 \partial 2}$  (рис. 15), що визначається перемичками розплавленого металу, які перебувають в іскровому проміжку. Частина теплоти, що виділяється у власному опорі деталей  $r_{\partial 1}$ ,  $r_{\partial 2}$  внаслідок відносно малої середньої густини струму, невелика і звичайно не враховується в теплових розрахунках.

Механізм нагрівання при оплавленні звичайно подають у такий спосіб. При зближенні деталей при увімкненій напрузі та малому тиску між твердими або рідкими локальними ділянками поверхні торців утворюються електричні контакти. Нагрівання контактів відбувається струмом, що викликає їхнє швидке плавлення й утворення перемичок з рідкого металу (рис. 12, в). Перемички швидко руйнуються. Тривалість існування перемичок звичайно не перевищує 0,001...0,005 с. Форма і розміри перемичок визначаються дією двох основних протилежно спрямованих сил: сил від поверхневого натягу  $F_n$ , що прагнуть при зближенні деталей зменшити зазор між торцями та збільшити діаметр перемички  $d_n$ , і електромагнітних сил  $F_c$  (пропорційних квадрату зварювального струму), що прагнуть стиснути і розірвати перемичку. Стискання перемички викликає збільшення в ній густини струму і швидкість нагрівання. При досить великій густині струму метал у центрі перемички переходить у пароподібний стан і викликає її вибух.

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

Перемички в стадії їхнього формування до моменту руйнування служать джерелами нагрівання (за рахунок теплопровідності) металу пришовної зони.

Для процесу оплавлення характерні висока локальна густина струму в перемичках і мала середня густина струму щодо всього перерізу 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 пере-

мичок) можуть стати дугові розряди, які нагрівають метал до більш високих температур. Вони виникають у періоди повного роз'єднання торців. При цьому запасена в магнітному полі енергія викликає перенапругу, пробій і появлення електричної дуги. Виникнення наступної перемички шунтує дугу, і вона гасне.

Звичайно на початку оплавлення розподіл температури на оплавлених торцях нерівномірний, причому ступінь нерівномірності у міру нагрівання зменшується. Середня температура на торцях зростає поступово доти, поки їхні поверхні не покриються більш-менш рівномірним шаром розплавленого металу. Це забезпечується при сталому процесі оплавлення, коли перемички послідовно та 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, попередження короткого замикання, а також довільного припинення оплавлення зниження  $r_{\partial 1 \partial 2}$  має бути компенсоване швидким наростанням струму і підвищенням корисної потужності, що обмежує зростання перерізу перемичок і полегшує їхнє руйнування. Таким чином, стійке оплавлення можливе, якщо змінення зварювального струму і корисної потужності при зниженні опору  $r_{\partial 1 \partial 2}$  мають однаковий знак.

При оплавленні для зближення деталей у стадії нагрівання використовують як «жорсткі» програми, так і «нежорсткі», що залежать від зміни параметрів процесу зварювання. Поширення одержали переважно заздалегідь задані жорсткі програми переміщення рухомої плити машини.

При стиковому зва-

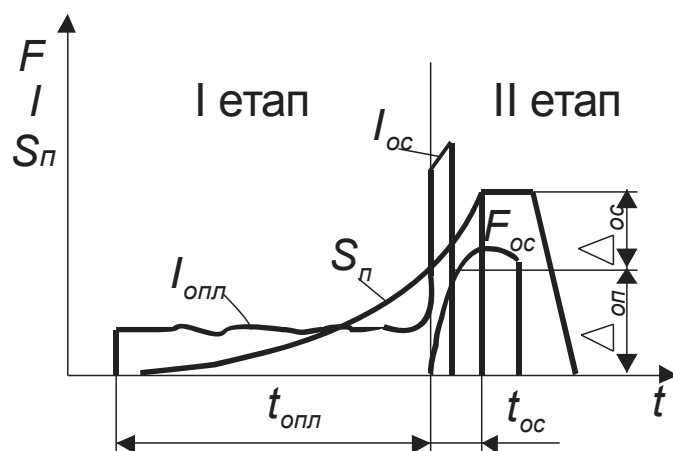


Рисунок 16 - Циклограма стикового зварювання оплавленням:  $F_{ос}$  – зусилля осаджування;  $I_{опл}$ ,  $I_{ос}$  – струм оплавлення та осаджування;  $t_{опл}$ ,  $t_{ос}$  – тривалість оплавлення та осаджування;  $S_{п}$  – переміщення рухомого затискача;  $\Delta_{оп}$ ,  $\Delta_{ос}$  – припуски на оплавлення та осаджування

рюванні оплавленням деформація звичайно характеризується  $\Delta_{oc}$ ,  $F_{oc}$  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  $U_{хх}$ , густина струму  $i_{зв}$  або струм зварювання-оплавлення  $I_{зв}$ , припуски на оплавлення  $\Delta L_{опл}$  та осаджування  $\Delta L_{oc}$ , тривалість (час) оплавлення  $t_{опл}$  та осаджування під струмом  $t_{oc.ст}$ , зусилля осаджування  $F_{зв}$ , встановлювальна довжина деталей  $L$  (рис. 16).

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

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

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

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

*Припуск на осадження  $\Delta_{oc}$  вибирають із умов видалення нагрітого металу і оксидів зі стику. Величина  $\Delta_{oc}$  має бути достатньою для повного закриття зазору, витиснення окисленого і розплавленого металу і для деякої пластичної деформації нагрітого металу з метою усунення кратерів (рис. 12, в). При цьому значення  $\Delta_{oc}$  залежить головним чином від рельєфу поверхні торців. При збільшенні перерізу деталей, що зварюють, збільшуються розміри перемичок і кратерів, відповідно збільшується  $\Delta_{oc}$ . При зварюванні з підігрівом деформація поширюється на більшу довжину деталей і  $\Delta_{oc}$  також збільшується.*

*Тиск осаджування вибирають залежно від металу, що зварюють, і ступеня нагріву деталей. Він зростає при збільшенні перерізу деталей, що зварюють, жароміцності металів і швидкості осаджування.*

*Швидкість осаджування  $V_{oc}$  вибирають з урахуванням її впливу*



на окислення металу при осаджуванні і 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.

*Встановлювальна довжина деталей*

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

де  $\Delta_{oc}$  - кінцева відстань між затискачами.

Для круглих стрижнів і товстостінних труб  $L = (0,7 \dots 1)d$ , де  $d$  - діаметр деталей, що зварюють. Якщо  $L$  мала, 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 за температури паяння змочують поверхні, що паяють, заповнюють зазор між ними і при кристалізації утворюють паяний шов.

*Технологія паяння* містить комплекс послідовно виконуваних операцій, основними з яких є підготовка поверхні деталей, що з'єднують, складання, паяння і оброблення деталей після паяння. Цей комплекс операцій у тім або іншому обсязі має місце при всіх способах паяння. Незалежно від застосовуваного способу паяння для одержання якісних паяних з'єднань потрібно:

1. Ретельне очищення перед паянням поверхонь деталей, що з'єднують, від забруднень і окисних плівок. Якщо при зварюванні забруднення й окисні плівки в зоні шва призводять лише до зниження міцнісних та інших характеристик звареного з'єднання, то 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'єднують, і припою в процесі паяння. Для одержання паяного з'єднання недостатньо перед процесом паяння очистити поверхні металів, що з'єднують, необхідно також забезпечити надійні умови видалення окисної плівки безпосередньо в процесі паяння.

4. Рівномірне нагрівання поверхонь деталей, що з'єднують, до температури паяння. Якщо при зварюванні плавленням для утворен-

ня шва необхідне лише місцеве розплавлення крайок деталей, що з'єднують, то при паянні потрібно забезпечити однакові умови взаємодії, з одного боку, між флюсом (газовим середовищем), припоєм і основним металом, а з іншого - між розплавленим припоєм і основним металом.

### ***Флюси і їхня роль***

Процес взаємодії твердого металу, що паяє, з розплавленим припоєм може відбуватися активно тільки після видалення з їхньої 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 очищають поверхню металу від окисних і жирових плівок, а також запобігають окислюванню металу при нагріванні.

Одночасно зі здатністю видаляти окисну плівку і захищати основний метал і припій від окислювання необхідно, щоб флюс задовольняв такі вимоги: за температури паяння мав достатню текучість у рідкому стані, сприяв формуванню шва, не змінював свій склад, протягом усього процесу зберігав властивості, що флюсують, легко віддалявся після паяння. Залишки флюсу не повинні робити корозійного впливу на метал, що паяють.

Нанесений на припій і поверхні, що з'єднують, флюс при нагріванні плавиться, розтікається, змочує їх і за деякої температури, що називається мінімальною температурою дії флюсу, вступає в хімічні взаємодії, внаслідок чого віддаляється окисна плівка. З підвищенням температури інтенсивність цієї взаємодії підсилюється. Верхньою межею температурного інтервалу дії флюсу є температура, за якої істотно знижується його активність у результаті випарювання окремих компонентів і починається окислювання основного металу і припою під флюсом. Інтервал між мінімальною й максимальною температурами дії флюсу називається температурним інтервалом дії флюсу.

### ***Композиція флюсів***

Залежно від фізико-хімічних властивостей металів, що паяють, 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  $\text{ZnCl}_2$ , і складними, що складаються з двох і більше компонентів (з основи, розчинника окисної плівки й активної або основної речовини, що флюсує.).

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

Флюси, що застосовуються при паянні, мають особливу специфіку, що відрізняє їх від флюсів, які використовуються при плавленні й зварюванні. Паяльний флюс повинен мати флюсуючі властивості як стосовно основного металу, так і припою, що мають різний хімічний склад і властивості (взаємодіяти з окисною плівкою на поверхні основного металу та припою і у рідкому стані змочувати їх). Цього можна досягти або підбором речовин, що флюсують, активних до окисної плівки основного металу і припою, або введенням декількох речовин, що флюсують. Адгезія розплавленого флюсу до основного металу має бути менше, ніж розплавленого припою, що досягається відповідною композицією флюсу.

Застосовувані в цей час флюси за складом можна розділити 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 й інших органічних сполук.

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

Тетраборноокислий натрій одержують шляхом зневоднювання гідрату тетраборноокислого натрію  $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$  (бури). За зовнішнім виглядом це безбарвні прозорі кристали. При нагріванні до  $80^\circ\text{C}$  відбувається видалення 80% кристалізаційної води. Повне зневоднювання настає за температури  $350\text{--}400^\circ\text{C}$ . Тетраборноокислий натрій плавиться за температури близько  $740^\circ\text{C}$ , але до  $800^\circ\text{C}$  він залишається дуже в'язким, тому паяння із застосуванням його як флюсу може виконуватися тільки за температур вище  $800^\circ\text{C}$ .

### *Механізм флюсування*

Теорія флюсування стосовно до паяння майже не розроблена. Відповідно до існуючих подань механізми взаємодії активних компонентів флюсів у процесі паяння зводять до такого:

1. Хімічна взаємодія між активною речовиною, що флюсує, і окисною плівкою, у результаті чого остання зв'язується в сполуки, розчиняє у флюсі, утворюючи порівняно легкоплавкі шлаки.

2. Хімічна взаємодія між активною речовиною, що флюсує, і металом, у результаті чого відбувається руйнування і поступовий відрив окисної плівки від основного металу і перехід її в шлаки.

3. Адсорбційне зниження міцності окисної плівки під дією розплавленого припою і здрібнювання її на частинки колоїдних розмірів.

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

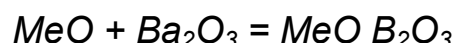
Якщо процес флюсування при паянні розглядати схематично, то

він проходить у такій технологічній послідовності. При нагріванні основного металу відбувається поступове руйнування наявної на його поверхні окисної плівки в результаті видалення кристалізаційної води та 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 і припою.

Після розтікання й змочування флюсом основного металу відбувається диспергування окисної плівки. Одночасно через неоднакову здатність флюсу розчиняти до окисів різних металів відбувається вибіркове їх розчинення. Вона 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 і окисною плівкою. Для цього необхідний більш активний процес, що викликає або перебудову в структурі окисної плівки, що перебуває в контакті з розплавленим флюсом, у результаті чого порушується її зв'язок з основним металом, або відрив окисної плівки в результаті поширення реакції під шар окисної плівки. У першому випадку, коли активна речовина, що флюсує, взаємодіє з окисною плівкою, процес флюсування відбувається одночасно по всій поверхні основного металу й припою. Таке флюсування характерне 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 окисли в комплекси за реакцією



Якщо в процесі флюсування відбувається реакція між активною речовиною, що флюсує, і металом, що паяє, то окисна плівка віддаляється в основному в результаті її механічного руйнування. Флюс проникає через мікропори і мікротріщини в плівці та реагує з основним металом. У результаті цієї реакції частинки окисної плівки відриваються і переходять у шлаки.

#### *Склад і властивості припоїв*

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

1. Мати температуру плавлення нижче температури плавлення металів, що паяють.

2. За температури паяння добре змочувати основний метал, заповнювати сполучні зазори.

3. Забезпечувати одержання міцних і корозійностійких паяних з'єднань.

4. Мати близький з металом, що паяють, коефіцієнт термічного розширення.

5. По можливості 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 ( $1083^{\circ}\text{C}$ ), що обумовило її застосування головним чином при грубому паянні сталевих виробів.

Широке поширення латунних припоїв для паяння мідних сплавів і сталей пояснюється їх відносно низькою температурою плавлення, вузьким інтервалом кристалізації, великою розчинністю цинку в міді і недефіцитністю. Температура паяння сталей латунними припоями –  $850\text{...}950^{\circ}\text{C}$ .

При паянні сталі латунню, що містить 60% Си, міцність паяних з'єднань вище міцності припою і 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, за яких потрібна висока пластичність шва.

Основний недолік латунних припоїв полягає в частковому випаровуванні цинку при паянні внаслідок високого тиску його пари. Чистий цинк кипить за температури  $906^{\circ}\text{C}$ . У латунях температура випаровування цинку підвищується і дорівнює  $1000^{\circ}\text{C}$  при 50% Си,  $1200^{\circ}\text{C}$  при 75% Си і  $1400^{\circ}\text{C}$  при 85% Си. З латуней цинк випаровується у вигляді білого окису цинку Zn, що має температуру плавлення  $1975^{\circ}\text{C}$ . Температура випаровування цинку з латунних припоїв відрізняється від їхньої температури плавлення всього лише на  $\sim 100^{\circ}\text{C}$ . Перегрівання латунних припоїв при паянні досить небажане явище, тому що погіршуються властивості паяних з'єднань (з'являється пористість). Недоліком цих припоїв є випаровування цинку при паянні, що погіршує умови роботи з ними й призводить до підвищення температури плавлення сплаву.

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

**Паяння опором.** При цьому способі паяння нагрів здійснюється теплом, що виділяється електричним струмом при проходженні через деталь, що паяють, і струмопідвідні елементи. Паяння опором можна проводити на точкових, стикових і роликкових контактних зварювальних машинах. Спеціальні машини для паяння опором принципово нічим не відрізняються від зварювальних.

Оскільки в контактних зварювальних машинах застосовується струм низької напруги, то тверді флюси при паянні непридатні, тому що вони є ізоляторами. Паяння опором звичайно виконується без флюсів й інших засобів захисту основного металу й припою від окислювання, тому що нагрівання проходить дуже швидко, а припій захищений від окислювання основним металом. Якість паяних з'єднань виходить високим при мінімальному жолобленні деталей. Припій у вигляді фольги товщиною 0,05...0,15 мм наносять на поверхні, що з'єднують, 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 дозволяє застосувати його для деталей складної конфігурації.

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

**Режим паяння** визначається умовою нагрівання, тривалістю витримки при  $T_n$ , умовами охолодження.  $T_n$  звичайно вибирається на 30...50°C вище  $T_{пл}$  припою.

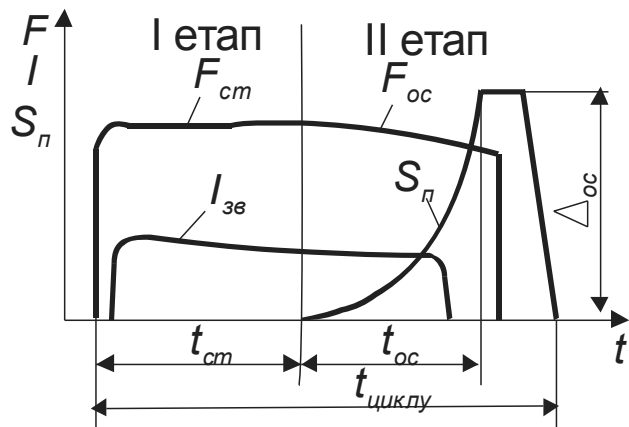


Рисунок 17 - Циклограма стикового зварювання:  $F_{ст}$ ,  $F_{ос}$  – зусилля стиску та осаджування;  $I_{зв}$  – струм зварювальний;  $t_{ст}$ ,  $t_{ос}$  – тривалість стиску, осаджування;  $S_n$  – переміщення рухомого затискача

Витримка при  $T_n$  має бути такою, щоб припій встиг розплавитися, заповнити зазори й утворити галтелі. Режим охолодження вибирається таким, щоб не допустити сильного окислювання металу й утворення тріщин від термічних напружень, уникнути пористості шва, що виникає при швидкому затвердінні припою.

Режим паяння встановлюють дослідним шляхом залежно від товщини деталей, що з'єднують, властивостей основного металу і припою (рис.17).

## Машина для стикового зварювання МС-301

Машина призначена для електроконтактного стикового зварювання опором деталей зі сталей і деяких кольорових металів і сплавів. На машині можна також виконувати паяння металів опором.

### Будова машини МС-301

Основні технічні дані:

номінальна потужність	– 5 кВт;
напруга живлення	– 380 В;
переріз деталей, що зварюються:	
сталь	– 50 мм <sup>2</sup> ;
мідні сплави	– 8...20 мм <sup>2</sup> ;
максимальне зусилля стиску	– 3 кН;
число ступенів регулювання	– 6;
вторинна напруга	– 1...1.8 В;
зварювальний струм	– 6.8...12.2 кА.

У верхній частині корпусу розташовано трансформатор для контактного зварювання (ТК) броньового типу з перемикачем ступеня потужності ПС1 і ПС2 (рис.18).

На передній стінці машини встановлено сигнальну лампочку, кнопки «Стоп» і «Отжиг», 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  $F_{зе}$  при переміщенні до упору важеля 4, кривошип якого, стискаючи пружину 5, передає зусилля через гвинт 6 з кульовим шарніром 7 на рухомий затискач 2. Зусилля, передане на деталі, встановлюється 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  $\Delta L_{ст}$ .

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

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

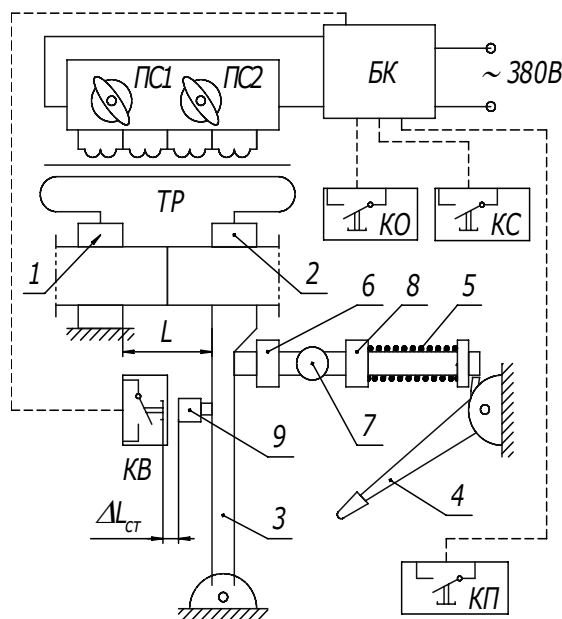


Рисунок 18 - Принципова схема машини МС-301

При настроюванні машини для зварювання опором залежно від перерізу й матеріалу деталей, що зварюють, установлюють:

- 1) ступінь потужності;
- 2) зусилля стиснення деталей  $F_{зв}$ ;
- 3) припуск на осаджування під струмом  $\Delta L_{см}$ ;
- 4) встановлювальну довжину деталей  $L$ .

### **Порядок роботи на машині**

*При зварюванні опором:*

1. Настроїти 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. За допомогою лінійки проконтролювати розмір припуску на осаджування.
8. Звільнити зварену деталь 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 мм.
4. Помістити пластинку припою в зазор і за 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 деталь від затискачів.

### **Методика роботи**

1. Ознайомитися із суттю електродного стикового зварювання. Установити особливості формування стику.
2. Ознайомитися із суттю паяння опором, установити особливості формування стику.
3. Установити вплив параметрів режиму на параметри зварного з'єднання.
4. Ознайомитися з будовою машини МС-301.
5. Провести тренувальне зварювання відповідно до «Порядку роботи машини».
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.

Таблиця 1 - Протокол режиму зварювання та випробування зразків

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

### Обладнання та 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 -  $Na_2B_4O_7 \cdot 10H_2O$  (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. Принципова схема машини МС-301. Технічні дані, специфікація основних вузлів.
4. Результати досліджень (табл. 1).
5. Аналіз отриманих результатів. Висновки (обґрунтування оптимального режиму зварювання)

### Контрольні запитання

1. Як відбувається виділення тепла при електроконтактному стиковому зварюванні?
2. Укажіть порядок операцій при стиковому зварюванні опором і оплавленням.
3. Укажіть основні параметри режиму зварювання опором і оплавленням.
4. Який розподіл температур у зоні нагрівання при зварюванні опором і оплавленням?
5. Перелічіть основні вузли механізму стиснення машини МС-301 і укажіть їхнє призначення.
6. Розкажіть про технологічний процес паяння металів.
7. Які основні параметри режиму паяння опором?
8. Укажіть порядок операцій при паянні опором на машині МС-301.

## 4 Лабораторна робота ЕЛЕКТРОКОНТАКТНЕ ШОВНЕ ЗВАРЮВАННЯ

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

### Суть процесу шовного контактного зварювання

З певним наближенням шовне зварювання можна розглядати як особливий випадок точкового, коли відстань між точками (1) мінімальна (рис. 19). 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 і шовному зварюванні, особливо при кроковому, практично аналогічні один одному.** Як і при точковому зварюванні, пропускання струму через деталі викликає в зоні, рівновіддаленій від контактних поверхонь роликів, розплавлення металу, з якого після затвердіння формується зварений роликівий шов. З'єднання формується у рідкій фазі безперервними або переривчастими швами з підведенням струму з обох боків деталей або одного.

**Під час шовного зварювання частина вторинного струму машини шунтується** - проходить мимо зони розплавлення крізь точки, що виникли раніше ( $I_{ш1}$ ), та ущільнювальний пас попереду ролика-електрода ( $I_{ш2}$ ) (рис. 19, а).

Шунтування значною мірою порушує симетрію електричного струму і 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, виявляється незначною. Струм шунтування зменшується в процесі зварювання за рахунок нагрівання шун-

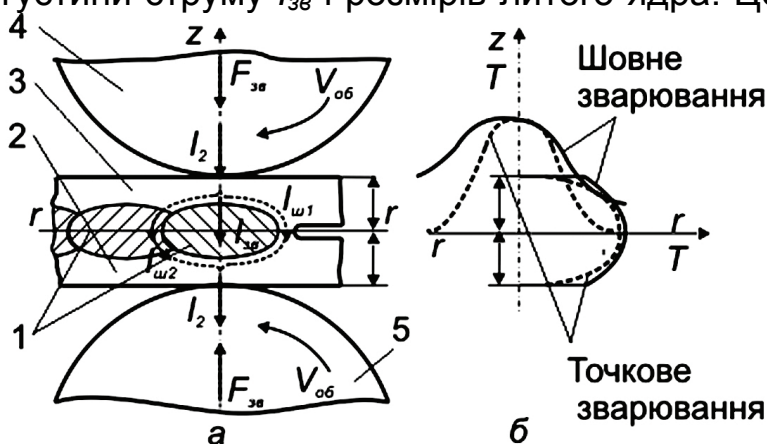


Рисунок 19 - Шовне зварювання: а - шунтування зварювального струму; б - розподіл температур

та і зменшення  $r_{ee}$ .

При шовному зварюванні герметичних з'єднань через підвищену температуру точки, що зварена раніше, струм шунтування незначний, особливо при великій швидкості і неперервному обертанні роликів.

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

Шунтування і підігрів сприяють підвищенню температури частини металу, що оточує розплавлену зону. На рис. 19, б наведено розподіл температури при роликовому зварюванні міцно-щільного з'єднання і точковому зварюванню, виконаних за приблизно рівних умов, тобто при однакових розмірах литого ядра, величині струму, тиску електродів і тривалості імпульсу струму. Зіставлення показує, що в першому випадку особливо значно нагрівається метал, що видавлюється з-під роликів.

Внаслідок 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. 20, а) і переривчастому вмиканні струму (рис. 20, б, в). При безперервній подачі струму і 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.

Найбільшого поширення набуло зварювання із вмиканням струму окремими імпульсами, яке за рядом позицій є більш оптимальним. У цьому випадку точка утворюється при проходженні кожного окремого імпульсу. Під час паузи між імпульсами роликів і деталі встигають частково охолонути, тому стійкість роликів зростає, зменшується ширина зони термічного впливу, знижуються залишкові деформації. Для одержання герметичного шва переривчастим способом тривалість імпульсу струму  $t_{ze}$ , 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, аналогічні тим, що одержують при точковому зварюванні.

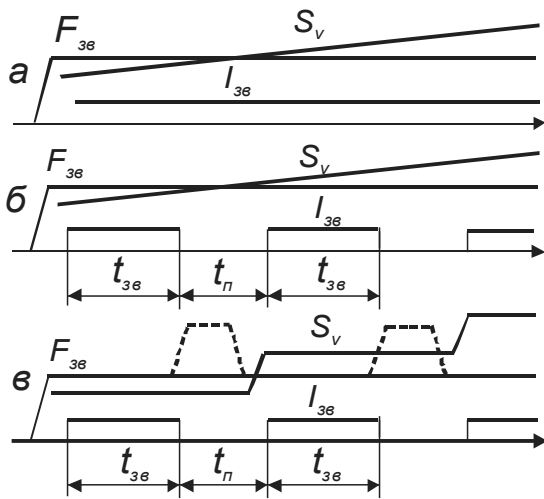


Рисунок 20 - Циклограма шовного зварювання: а - з безперервним вмиканням  $I_{ze}$ , з безперервним обертанням роликів  $S_v$ , постійним  $F_{ze}$ ; б - з імпульсним вмиканням струму  $I_{ze}$  ( $t_{ze}$ ,  $t_n$  – тривалості зварювання та паузи) з безперервним обертанням роликів  $S_v$ , постійним  $F_{ze}$ ; в - з імпульсним вмиканням струму  $I_{ze}$ , з кроковим обертанням роликів  $S_v$ , постійним  $F_{ze}$ , або з проковуванням шва  $F_k$ .

Зварювання частіше виконують при безперервному обертанні роликів (рис. 20, б).

При зварюванні деяких матеріалів, що дають значну усадку при затвердінні, наприклад алюмінієвих сплавів, рекомендується крокове (переривчасте) зварювання (рис. 20, в). Воно полягає в тому, що в період подачі зварювального струму дискові електроди (ролики) є нерухомими відносно виробу, а переміщення виробу відбувається в результаті 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 їхнє спрацювання. При цьому стабілізуються контакти, усувається проковування роликів, знижується температура в контакті електрод – деталь, зменшується хімічна взаємодія металів електрода і деталі.

Тиск на електродах може бути постійним (рис. 20, а, б) або збільшуватися наприкінці зварювання (рис. 20, в). Останнє дозволяє здійснювати проковування точки.

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

Необхідність ретельного видалення навіть самого незначного налипання металу, що зварюють, на ролики викликана тим, що частинки прилиплового металу сильно окислені й значно погіршують теплопровідність і електропровідність контакту електрод – деталь, що призводить до ще більш значного перегріву і навіть пропалу зовнішніх шарів металу звареного з'єднання.

З метою зменшення нагрівання зовнішніх шарів металу і зменшення 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, відпуску, перегріву, рекристалізаційні та ліквіаційні зони. Розвиток процесів, що викликають 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. 21). Виникнення першої точки відбувається 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 ролик метал деформується в зазор, як і при точковому зварюванні, а за ролик метал витісняється під ролик. Такий характер пластичної деформації спричинює появу "серпоподібного" рельєфу на поверхні швів.

Внаслідок відносно високої теплоємності зони з'єднання при шовному зварюванні загальний ступінь пластичної деформації і розміри ущільнювального паска більші. Це дає можливість трохи зменшити час зварювання і зусилля в порівнянні з режимами точкового зварювання. З іншого боку, деформація поверхневого шару металу призводить до прискореного спрацьовування роликів.

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

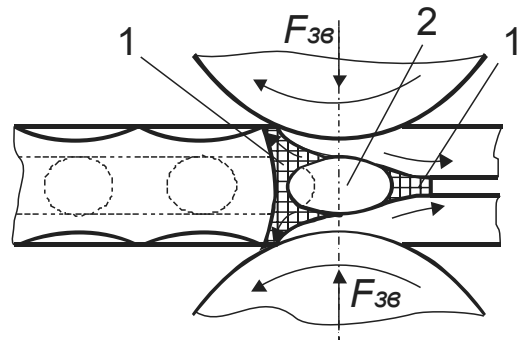


Рисунок 21 – Напрямок пластичної деформації: 1 – зона інтенсивної деформації; 2 – метал, що розплавився

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

Силу зварювального струму вибирають залежно від товщини, фізико-хімічних властивостей металу деталей і швидкості зварювання. У зв'язку з шунтуванням сила струму встановлюється на 15...25% вищою, ніж при точковому зварюванні.

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

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

**На режим зварювання істотно впливають** теплофізичні, хімічні та механічні властивості металів, тип і параметри кристалічної решітки, інтервал кристалізації і температурний інтервал крихкості, властивості оксидних плівок та ін.

**Питомий електроопір** ( $\rho_0$ ) багато в чому визначає зварювальний струм і тип машини. Чим менше  $\rho_0$ , тим більшим має бути  $I_{зв}$ , і напруги. Наприклад, при зварюванні алюмінієвих сплавів потрібні струми значно більші, ніж при зварюванні сталей.

**Коефіцієнт теплопровідності** ( $\lambda$ ) і пов'язаний з ним коефіцієнт температуропровідності ( $a$ ) обумовлюють температуру в контакті електрод – деталь, довжину і розсіювання теплоти в пришовній зоні. Зі збільшенням  $\lambda$  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 масопереносу.

Зі збільшенням коефіцієнта лінійного розширення ( $\alpha$ ) і умовного опору пластичній деформації ( $\sigma_\delta$ ) металу підвищується схильність до внутрішніх вибризувань, зростає рівень залишкових напружень і деформацій. При зварюванні металів з більшими значеннями  $\sigma_\delta$  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 кристалічної решітки, температура плавлення* визначають спорідненість при зварюванні різнорідних сплавів, кінцеву структуру і властивості металу ядра.

Деякі метали змінюють свої властивості з підвищенням температури ( $\rho_0$ ,  $\lambda$ ,  $a$ ). Для компенсації цього впливу нерідко вводять попередній підігрів додатковим імпульсом струму (для підвищення  $\rho_0$ , зменшення  $\lambda$  і  $a$ ). Це дозволяє знизити  $I_{зв}$  і полегшити формування з'єднань.

Електричні та фізико-механічні властивості поверхневих плівок впливають на тепловиділення в контактах і масопереніс.

### **Будова машини МШ-1601**

Машина МШ-1601 призначена для електроконтактного шовного зварювання маловуглецевих і легованих сталей.

Технічні дані машини МШ-1601:

- |   |                  |
|---|------------------|
| - максимальна потужність                | - 75 кВт;        |
| - швидкість зварювання                  | - 0.8...45 м/хв; |
| - число ступенів регулювання потужності | - 8;             |
| - товщина листа, що зварюють            | - 1.5 мм;        |
| - робочий хід верхнього електрода       | - 50 мм;         |
| - номінальний виліт електродів          | - 400 мм.        |

*Машина складається з таких основних частин (рис. 22):* зварювального трансформатора (*ТС*) 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 стиску 4, блока керування (*БК*).

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

### ***Привід обертання верхнього ролика***

Для обертання верхнього ролика застосовується привід, у якому між електродвигуном і робочим механізмом установлено електромагнітну муфту ковзання, яка дозволяє змінювати швидкість обертання вихідного вала муфти при незмінній швидкості електродвигуна. Як датчик швидкості застосовують тахогенератор 15, що клинопасовою пе-

редачею пов'язаний з вихідним валом муфти.

Швидкість обертання вихідного вала муфти регулюється ступенево за 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 електричного пристрою 3.

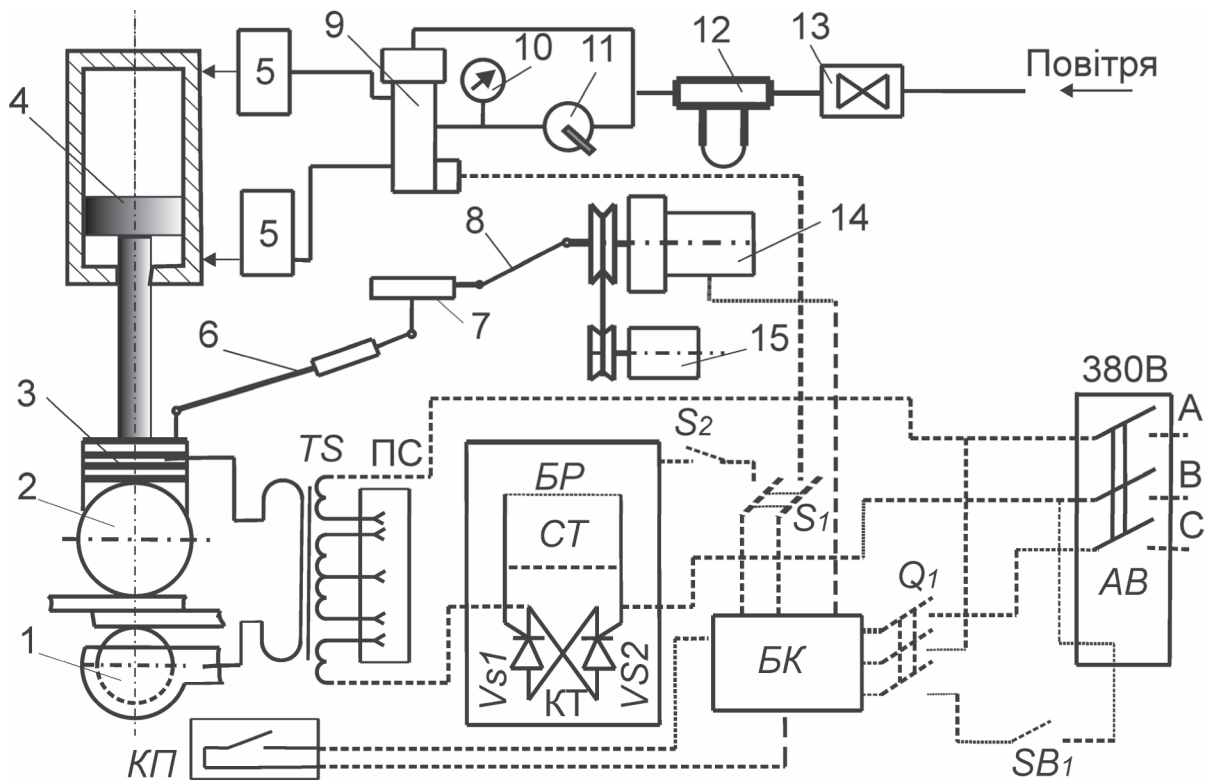


Рисунок 22 - Принципова схема машини МТ-1606

### **Пневматичний привід стиснення**

Опускання, підйом верхнього ролика і стиснення деталей здійснюються за 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 подачі напруги на керуючу котушку пневмоклапана повітря надходить у верхню камеру пневмоциліндра, здійснюючи опускання поршня зі штоком і стиснення деталей між роликами. При цьому повітря з нижньої камери виходить в атмосферу через золотник пневмоклапана. При знеструмленому пневмоклапані повітря надходить у нижню камеру, здійснюючи підйом верхнього ролика.

Швидкість подачі повітря в камери пневмоциліндра регулюється дросельними клапанами 5.



## **Електрична схема машини**

Первинна обмотка трансформатора має відгалуження, підведені до перемикача ступенів потужності (ПС), за допомогою якого можна підмикати до мережі напругою 380 В різне число витків. Вторинна обмотка *TS*, зібрана з трьох мідних дисків, що охолоджуються водою, має один виток і приєднана через струмопровідні втулки до струмоведучих валів верхнього й нижнього роликів. Залежно від ступеня потужності напруга на вторинній обмотці змінюється в межах 2.3...4.4 В.

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

Щоб забезпечити проходження змінного струму через первинну обмотку *TS*, тиристори увімкнено зустрічно-паралельно. Зварювальний струм існує доти, поки на управляючі електроди тиристорів подаються керуючі імпульси. Зрушуючи 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 мережної напруги на роботу переривника *БР* живиться через стабілізатор *СТ*.

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

### **Підготовка машини до роботи**

1. Увімкнути пневматичну систему (13) і включити 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 двері *SB1* розімкнуті і *AB* не вмикається.
4. Подати напругу на блок керування (БК), пакетні вмикачі (*AB*, *Q1*) установити в положення «Вмк.»
5. Установити в положення «У циклі» пакетний вимикач «Вмикання двигуна», у положення «Униз» - тумблер *S1* («Ролик»), вимкнути тумблер *S2* («Зварювальний струм»).
6. Установити потрібне для зварювання деталей зусилля стиску роликів (редуктор 11).
7. Перевірити напрям обертання ведучих роликів, що зварюють.

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 натиском на педальну кнопку (КП).

11. Вимкнути пакетний вмикач.

12. За допомогою трьох ножів установити необхідний ступінь потужності.

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

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

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

16. Установити перемикачами задану тривалість імпульсу зварювального струму і паузи. Ціна розподілу шкали цих перемикачів - один період дорівнює 0.02 с.

17. На машині увімкнути тумблер «Зварювальний струм». Після загоряння червоної лампочки на переривнику (приблизно через 5 хв після вмикання) машина готова до роботи.

### **Порядок роботи машини МШ-1601**

Зварювання на машині МШ-1601 виконують у такій послідовності:

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

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

3. Для припинення зварювання педальну кнопку натискають повторно, при цьому вимикається 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 встановлені між роликами не правильно, необхідно, не відпускаючи педальної кнопки, вимкнути тумблер «Зварювальний струм» і поставити тумблер «Ролик» у положення «Угору», а потім зняти ногу з педалі. При зварюванні коротких швів пакетний вимикач «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 встановлюють зусилля стиску 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 встановленого числа розподілів  $m$  на шкалі регулятора швидкості:

$$V_{зв} = m \Delta V_{зв},$$

де  $\Delta V_{зв}$  - збільшення швидкості зварювання на один ступінь регулювання (один розподіл шкали).

Для встановленого на машині приводу ПМСП-4 число ступенів регулювань швидкості дорівнює 58,  $\Delta V_{зв} = 1.25$  мм/с. Щоб для заданого кроку встановити швидкість зварювання, визначають число розподілів  $m$  за формулою

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

За шкалою регулятора швидкості зварювання встановити отримане число розподілів  $m$  і виконати зварювання зразка. Змінити на зразку крок  $l$  і за наявності розбіжності із заданим кроком внести 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 шва, що зварюють.
3. Установити вплив параметрів режиму на параметри зварного з'єднання.
4. Установити вплив властивостей матеріалу, що зварюють, на якість зварного з'єднання.
5. Ознайомитися з будовою машини МТ-1601.
6. Провести тренувальне зварювання відповідно до «Порядку роботи машини МШ-1601».
7. Зварити зразки переривчастим швом із заданим кроком.

Для вибору оптимального режиму зварювання герметичного шва виконати кілька зварних швів, змінюючи крок зварювання.

Герметичний шов можна одержати, якщо величини перекриття ядер зварених точок будуть не менше 25%  $d_{я}$  :

$$\Delta = \left(1 - \frac{l}{d_{я}}\right) \cdot 100\%.$$

Оптимальний діаметр ядра  $d_{я}$  залежить від товщини деталей, що зварюють,  $d_{я} = 4\delta$ . У цьому випадку для герметичного шва крок  $l$  має бути не менше  $3\delta$ .

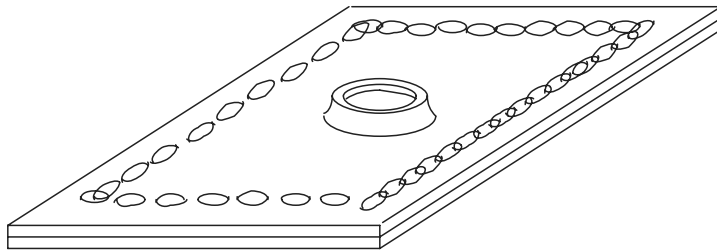


Рисунок 23 - Зразок для перевірки на герметичність гасо-крейдовим випробуванням

8. Перевірити зразки на герметичність гасо-крейдовим випробуванням і вибрати оптимальний режим зварювання герметичного шва.

9. Скласти протокол випробувань.

### 3.3 Обладнання та матеріали

1. Пост для шовного зварювання.
2. Машина для шовного зварювання МШ-1601.
3. Пластини з низьковуглецевої сталі розміром 50x50 товщиною 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 режимів зварювання і випробування зразків за формою табл. 3.

Таблиця 3 – Протокол зварювання та випробування зразків

Номер зразка	Матеріал _____ Товщина матеріалу _____ Ширина ролика _____							Результати досліджень
	Режим зварювання							
	$F_{cm}$	Ступінь потужності	$t_i$	$t_n$	$m$	$l$	$V_{ze}$	Випробування на герметичність
1								
2								
3								
4								
5								
6								

6. Вибір і обґрунтування режиму зварювання герметичного шва.
7. Висновки з роботи.

### Контрольні запитання

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

## 5 Лабораторна робота

### ХОЛОДНЕ ЗВАРЮВАННЯ ПЛАСТИЧНИХ МЕТАЛІВ

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

#### Суть процесу холодного зварювання

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

**Холодне зварювання** - один з видів зварювання у твердій фазі

зі значною об'ємною пластичною деформацією і малим ступенем її локалізації в зоні контакту матеріалів, що з'єднують. Його виконують за кімнатної температури і для більшості матеріалів - нижче температури рекристалізації.

Відповідно до сучасної **класифікації холодного зварювання** за формою одержуваного звареного з'єднання може бути точкове (рис. 24, а, б), шовне (рис. 24, в), стикове (рис. 24, г), а за характером деформацій - зварюванням здавлюванням (рис. 24, а, б, в, г) і зварюванням зсувом (рис. 24, д, е).

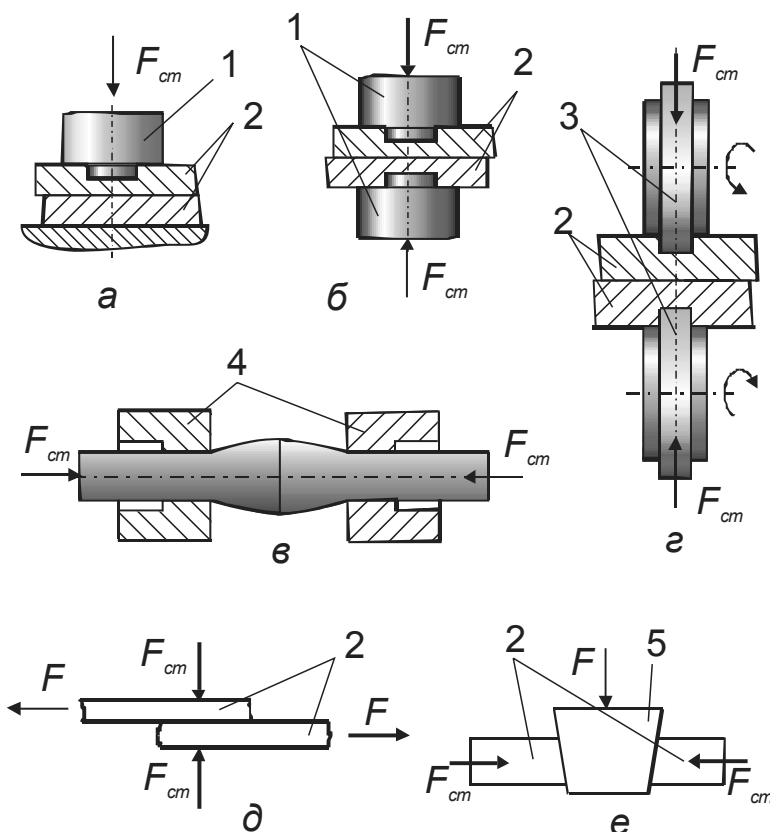


Рисунок 24 - Схеми холодного зварювання: а - точкове з одним пуансоном; б - точкове з двома пуансонами; в - стикове; г - шовне; д, е - зсувом; 1- пуансони; 2 - деталі, що зварюють; 3 - ролики; 4 - затискачі; 5 - клин

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

Міцність звареного з'єднання підвищується, якщо застосовувати пуансони і ролики з уступами або для точкового зварювання робити попереднє обтиснення металу навколо пуансонів (рис. 25).

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 їхню деформацію. Якщо вироби виконано з матеріалів порівняно малої пластичності товщиною більше 4 мм, то через деформацію деталей

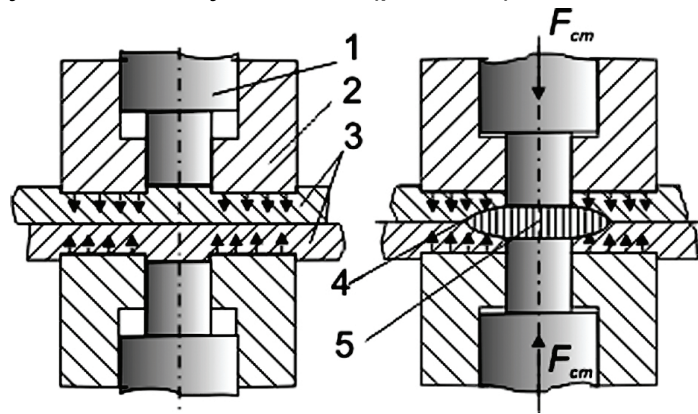


Рисунок 25 - Схема зварювання з попереднім стисненням: 1- пуансон; 2 - притискач; 3 - деталі, що зварюють; 4 - периферійна зона зварювання; 5 - внутрішня зона зварювання

у процесі зварювання кожної наступної точки може бути навіть зруйнована попередня точка. Для усунення цього явища здійснюють холодне зварювання з попереднім стисненням (рис. 25).

Притискачами 2 деталі фіксуються ще до початку зварювання або одночасно з ним. Таким чином, упереджуються не тільки залишкові деформації, але й деформації у процесі самого зварювання. Зварювання з попереднім стисненням дозволяє отримувати з'єднання більше міцні, ніж при зварюванні за звичайною схемою. Збільшення міцності з'єднання досягає 15...20 % і пояснюється, очевидно, розширенням зони схоплювання металів при зварюванні внаслідок додаткового обтиснення.

При стиковому зварюванні (рис. 24, в) деталі міцно закріплюються в затискних губках 4, внутрішня робоча поверхня яких має насічку, що перешкоджає проковзуванню деталей при їхньому здавлюванні.

Холодне зварювання може виконуватися шляхом стиснення заготовок з їх одночасним відносним зсувом під дією тангенціальних зусиль.

Це досягається додатковим зусиллям  $F$  (рис. 24, д) або використанням клиноподібної прокладки (рис. 24, е), яку впресовують із зусиллям між деталями в зазор аналогічної конфігурації.

Однчасна дія здавлювання (нормальним зусиллям  $F_{cm}$ ) і зсуву по поверхнях, що зварюють (тангенціальним зусиллям  $F$ ), унаслідок невеликого відносного зміщення з'єднуваних поверхонь, поліпшує умови руйнування окисних плівок, полегшує зминання нерівностей, що в результаті приводить до більш повного фізичного контакту між деталями в приповерхневих шарах металу і розширенню площі зіткнення чистих поверхонь, що зварюють, при меншій величині нормальних зусиль. Це дозволяє значно зменшити тиск зварювання.

Якщо розглядати всю сукупність матеріалів, що з'єднують цим способом, то не вдається подати єдиний механізм, що пояснює всі явища, які відбуваються при холодному зварюванні.

При зварюванні металів у результаті значних пластичних деформацій металів, що з'єднують, відбувається руйнування окисних плівок, які перешкоджають зближенню атомів. Зближення чистих поверхонь металу в місці контакту на відстань, порівнянну з параметрами кристалічних решіток, і їхня активація приводять до виникнення металевих зв'язків і утворенню звареного з'єднання.

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

Практично всі розглянуті методи холодного зварювання відбуваються за двома технологічними схемами: зварювання стикове (рис. 26, а) і внапуск (рис. 26, б). Найголовнішою умовою для створення міцного металевого зв'язку є зближення абсолютно ювенільно чистих кристалічних меж.

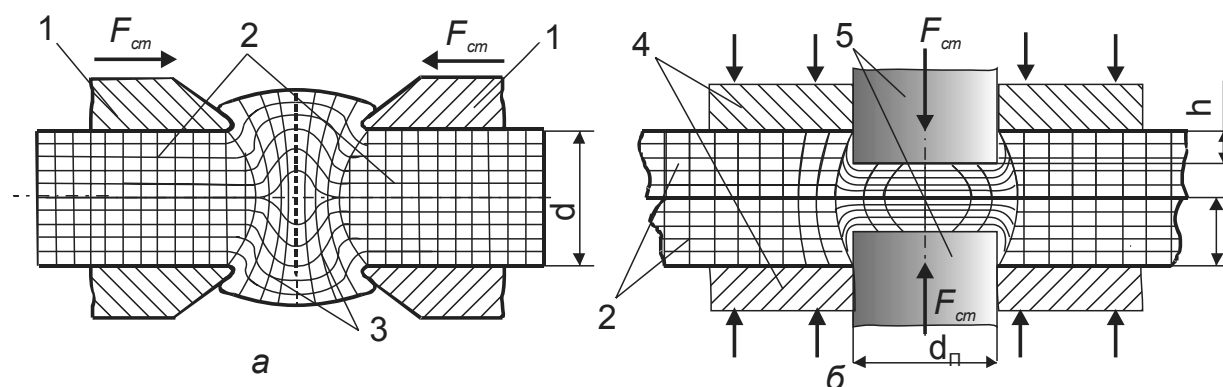


Рисунок 26 - Технологічні схеми процесів холодного зварювання:  
 а - стикове; б - внапуск. 1 – затискні губки; 2 - деталі, що зварюють;  
 3 - пуансоны; 4 - притискачі



*При стиковому холодному зварюванні* спільний плин металів стрижнів 2 при стисненні, затиснутих у затискних губках 1, руйнує поверхневі плівки та виносить їх за межі з'єднання у вигляді ґрату 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. Отже, спочатку окислені або навіть забруднені поверхні, що контактують, повністю віддаляються. Весь видавлений у вигляді ґрату об'єм металу відіграє роль захисної маси для тих шарів металу, які в момент закінчення пластичної деформації виявляються зближеними до відстані, на якій миттєво створюється стабільний металевий зв'язок і організується єдина кристалічна структура.

Як видно, *процес холодного стикового зварювання можна подати у 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 обидві сторони від первісного контакту може розглядатися як маса, що відіграє роль оболонки, яка ідеально захищає глибинні шари металу від окислення і забруднення.

3. У процесі пластичної деформації метал, що видавлюють, не тільки здійснює безперервний захист глибинних шарів, але й створює деяке нагрівання поверхневих шарів усіх зерен, що беруть участь у процесі деформації.

4. Оскільки формування звареного з'єднання забезпечується в момент закінчення деформації і внаслідок контакту тільки глибинних шарів металу, час зварювання, тобто формування єдиної кристалічної структури, дуже короткий і вимірюється десятими долями секунди. Тому об'ємна взаємодія при холодному зварюванні відсутня.

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

На рис. 26, б показано *схему зварювання внапуск*. Листові деталі 2 затискають між сталевими притискачами 4. Потім ці притискачі залишаються нерухомими і повністю виключають можливість випиання металу, коли сталеві пуансони 5 глибоко втискаються у деталі, що зварюють. Для глибокого вдавлювання пуансонів у метал необхідно прикладати досить значні тиски. Залежно від роду металу, спосіб підготовки поверхонь і геометрії пуансонів існує певна мінімаль-

на відносна величина вдавлювання пуансона, необхідна для утворення міцного з'єднання (табл. 4).

Таблиця 4 - 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

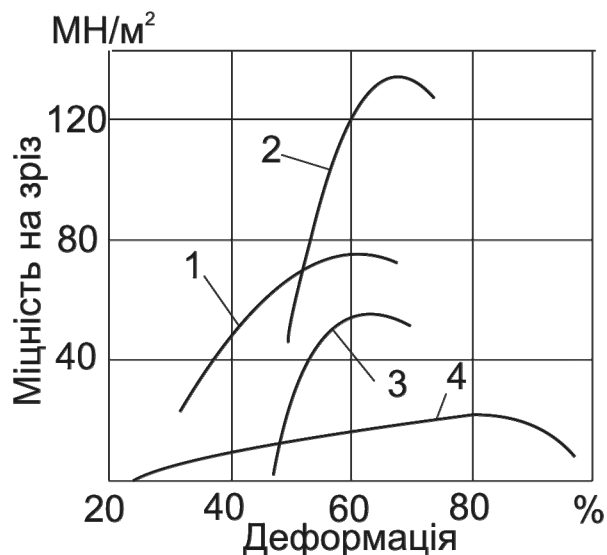


Рисунок 27 - Залежність міцності точкових з'єднань від величини деформації: 1 - алюміній у наклепаному стані; 2 - мідь електролітична; 3 - алюміній м'який; 4 - олово

Практично вважається необхідним забезпечувати  $h = (0,7...0,8)\delta$ . Таким чином, і при зварюванні внапуск необхідно прикладати тиски, що значно перевищують границі плинності. Сам процес формування звареного з'єднання потребує, як 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 поверхні, що зварюють, перед їхнім здавлюванням.

На рис. 27 показано характер залежності міцності з'єднань від деформації при холодному зварюванні. Як видно з рисунка, поки деформація не досягне 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 зростає, досягаючи 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.

**Ступінь пластичної деформації**, необхідна для отримання якісного з'єднання, залежить від властивостей металу, товщини деталей, що з'єднують, способу підготовки поверхонь під зварювання, товщини і властивостей окисної плівки (табл. 5), схеми деформування. При занадто великій деформації глибокі вм'ятини від пуансонів при точковому або шовному зварюванні погіршують зовнішній вигляд деталей.

Таблиця 5 - Товщина окисної 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

Великий вплив на ступінь деформації має відношення твердості окисної плівки до твердості основного металу (табл. 6): ступінь деформації має бути більшим, чим менше це співвідношення. При зварюванні різнорідних матеріалів ступінь деформації визначають виходячи із властивостей найбільш пластичного металу.

Таблиця 6 – Фізичні властивості деяких окисів

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

Як було показано раніше, холодне зварювання найчастіше використовують при виготовленні виробів з алюмінію та міді як в однорідних, так і різнорідних з'єднаннях. 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 добру здатність до зварювання, то алюмі-

нієві сплави зварюються погано. Для наближеної оцінки здатності сплавів до зварювання можна користуватися величиною їх твердості. Звичайно з підвищенням твердості здатність до зварювання погіршується і необхідна мінімальна деформація металу зростає, тому що знижуються інтенсивність пластичної плинності металу в зоні контакту та активація поверхонь.

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

**Технологія холодного зварювання** містить такі операції: підготовка заготовок до зварювання, складання, зварювання, видалення облою при зварюванні встик, контроль якості зварювання.

*Основні труднощі підготовки поверхні деталей* під холодне зварювання полягає в ретельному видаленні з неї органічних і адсорбованих плівок. Органічні плівки - це тонкі плівки масел, жирних кислот і парафінів, які покривають поверхні, що зварюють. Легко проникаючи в несучільності на поверхні металу, вони твердіють у межовому шарі, міцно з'єднуючись із металом, і значною мірою утрудняють 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 товщиною 10...100 молекул. Повністю видалити масляні покриття з металу практично неможливо ніякими розчинниками, оскільки адсорбційний зв'язок жирних молекул і металу є чисто електричним.

Перешкоджають зварюванню і адсорбовані на поверхні плівки пари 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'єднання деталей у космічних умовах.

Метою підготовки поверхонь до зварювання є видалення жирних і масляних забруднень. На виробництві використовують один із таких способів:

- 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 жирних забруднень;
- в) покриття поверхні тонким (6...10 мкм) шаром гальванічного

нікелю або хрому;

г) обрізування кінця заготовки при зварюванні проводів порівняно невеликого діаметра за допомогою спеціальних ручних гострозубців або механічного ножа (торці деталей великого перерізу піддають механічному обробленню). При цьому необхідно забезпечити паралельність поверхонь, що зварюють, обох деталей.

Таблиця 7 - Ступінь шорсткості залежно від способу оброблення металевої поверхні

Спосіб оброблення	Максимальна висота нерівностей, мкм
Оброблення наждачним кругом	40...120
Чорнове оброблення різцем	80
Чистове оброблення різцем	10
Грубе шліфування	6,3
Полірування	0,4
Чистове полірування	0,05

Видалення облою після зварювання встик може виконуватися на зварювальному обладнанні, для чого кромки затискачів загострюються 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 за рахунок інтенсивної пластичної деформації. Надалі 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 величина накопиченої деформації, необхідної для утворення міцного з'єднання, значно більша, ніж при інших способах зварювання тиском із підігрівом.*

*Роль термічної активації при холодному зварюванні незначна. На результати зварювання не впливає також текстура металу, оскільки для більшості металів за кімнатної температури кристалізаційні процеси відбуваються не можуть (за винятком деяких легкоплавких металів, наприклад галію, індію, свинцю, для яких кімнатна температура вище 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 і контролю параметрів режиму, відсутність допоміжних матеріалів, газових і теплових виділень, мож-*

лівість дистанційного управління та швидкість процесу роблять холодне зварювання зручним для використання, не потребують 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 враховувати, що для холодного зварювання кожного конкретного виробу потрібно мати інструмент індивідуальної конструкції. Необхідно суворо стежити за виключенням можливості забруднення підготовлених до зварювання поверхонь. При зварюванні внапуск на виробах залишаються глибокі вм'ятини - сліди від інструменту.

### **Параметри режимів холодного зварювання**

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

Величина питомого тиску вибирається залежно від фізико-механічних властивостей металів. Питомі тиски, що рекомендують, при стиковому зварюванні алюмінієвих деталей 700...800 МН/м<sup>2</sup>, мідних - 2000...2500 МН/м<sup>2</sup>, з різнорідних металів, наприклад алюміній-мідь, - 1500...2000 МН/м<sup>2</sup>.

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

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

При зварюванні внапуск ширину або діаметр пуансона визнача-

ють залежно від товщини металу  $(1...3)\delta$ . Для шовного зварювання алюмінію рекомендуються ролики  $d = 50\delta$  із шириною робочого виступу  $(1...1,5)\delta$ , висотою  $(0,8...0,9)\delta$ , шириною опорної частини  $(2...4,5)\delta$ . Тиск пуансона складає 300...600 МПа для відпаленого алюмінію, 2000 МПа - для міді.

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

### Будова машини МСХ-5-3

Машина МСХ-5-3 призначена для зварювання алюмінієвих і мідних проводів перерізом 2...30 мм<sup>2</sup>, мідних і алюмінієвих з мідними - перерізом 2...30 мм<sup>2</sup>.

Основні технічні дані:

- робочий тиск стисненого повітря - 0,1... 0,5 МН/м<sup>2</sup>;
- розрахункове зусилля стиснення - 50 кН;
- максимальна відстань між внутрішніми торцями затискних губок - 11 мм;
- витрата стисненого повітря на одне зварювання - 0,005 м<sup>3</sup>;
- продуктивність машини - до 200 звар/год;
- маса машини - 62 кг.

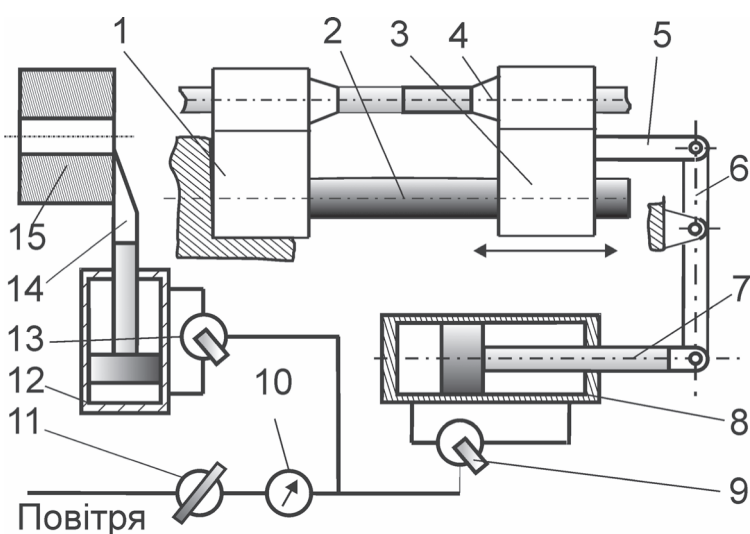


Рисунок 28 - Схема машини МСХ-5-3

До складу МСХ-5-3 (рис. 28) входять корпус, затискні пристрої з механізмом ручного затиску заготовок, пристрій для спрямування руху заготовок, механізм осаджування, апаратура управління, допоміжні механізми і пристрої для обрізування кінців заготовок та видалення облою.

Затискний механізм складається з нерухомого 1 і рухомого 3 затискачів, останній має можливість пересуватися відносно нерухомого по двох напрямляючих колонках 2.

До затискних пристроїв входять рознімні з двох частин губки 4, між якими затискаються деталі, що зварюються. При зімкненні між губками передбачається гарантований зазор величиною 2,5 % товщини або діаметра заготовки. Губки змінні, відповідають конфігурації перерізу деталі, що затискаються, мають насічку для запобігання прослизанню заготовки при зварюванні. Глибина насічки складає 3...4% діамет-

ра або товщини заготовки, але не більше 0,35...0,40 мм. З одного торця губки заточені на конус із кутом  $60^{\circ}$ , при замиканні вони утворюють ножі для віддалення облою (грату). Для затискання використовуються механізми кулачкового типу, що дозволяє зменшити затискне зусилля до 45 % від зусилля осаджування. Затискне зусилля створюється вручну.

Керують роботою механізму осаджування за допомогою триходового пневматичного крана 9.

При перекиданні рукоятки вліво до упору права камера пневмоциліндра 8 з'єднується з атмосферою, а в ліву камеру подається стиснене повітря, внаслідок чого переміщується поршень, який через шток 7, важіль 6 і тягу 5 пересуває рухомий затискач до контакту з нерухомим, забезпечуючи деформацію металу на величину встановленого зазору між губками затискачів і 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 і контролюється за манометром 10.

Для обрізання торців стрижнів перед зварюванням на машині встановлено різак.

Кран керування роботою різача 13 розташований усередині корпусу машини ліворуч. При повороті рукоятки крана керування роботою різача вліво до упору стиснене повітря надходить у нижню камеру пневмоциліндра 12 і штовхає поршень угору. При цьому ніж різача 14, закріплений на штоку, обрізає кінець стрижня, вставленого в отвір планки. При повороті рукоятки крана вправо поршень зі штоком і ножем повертається у вихідне положення.

### **Порядок роботи машини**

1. Установити губки відповідно до перерізу деталей, що зварюють, в затискачі.

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

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

4. Протерти стрижні, що зварюють, чистим ганчір'ям, змоченим спиртом або ацетоном, для знежирення і видалення з поверхні за-



бруднень.

5. За допомогою різака обрізати кінці стрижнів, що зварюють.

6. Установити стрижні, що зварюють, у губки затискачів так, щоб їхній стик перебував на середині зазору між губками. Затиснути в губках затискачів стрижні, що зварюють, для чого рукоятки ексцентрикових механізмів повернути вниз до упору.

7. Виконати зварювання стрижнів і обрізання облою, для цього рукоятку крана механізму осаджування 9 повернути вліво до упору.

8. Звільнити зварену деталь із верхніх губок затискачів, піднявши вгору рукоятки ексцентрикових механізмів.

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. Установити особливості формування стикового з'єднання при холодному зварюванні.

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

3. Виявити вплив параметрів режиму на параметри зварного з'єднання.

4. Установити вплив властивостей матеріалу, що зварюють, на якість зварного з'єднання.

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

6. Провести тренувальне зварювання відповідно до «Порядку роботи машини».

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

8. Скласти звіт, виконати аналіз отриманих результатів.

Таблиця 8 - Протокол режиму зварювання та випробування зразків

№ п/п	Діаметр стрижнів, що зварюють						
	Марка металу		Довжина ви- льоту		Зусилля руйнування	Характер руйнування	Примітка
	1	2	1	2			
1							
2							
3							
4							

## Обладнання та 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;
  - ганчір'я;
  - 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. 8).
5. Графік залежності  
 **$F = f(\text{ступені пластичного деформування})$ .**
6. Аналіз отриманих результатів. Висновки (обґрунтування оптимального режиму зварювання).

## Контрольні запитання

1. Розкажіть про особливості холодного зварювання.
2. Назвіть основні способи холодного зварювання.
3. Розкажіть про холодне зварювання з обтисненням.
4. Як утворюється зварне з'єднання при стиковому холодному зварюванні?
5. Як утворюється зварне з'єднання при холодному зварюванні встик?
6. Як залежить міцність зварного з'єднання від ступеня деформації?
7. Як і для чого очищається поверхня деталей перед зварюванням?
8. Які основні параметри режиму точкового і стикового холодного зварювання?
9. Як впливають параметри режиму зварювання на якість зварного з'єднання?
10. Як відбувається зварювання деталей з різнорідних матеріалів?
11. З яких вузлів побудована машина МСХС-5-3?
12. Розкажіть про підготовку машини МСХС-5-3 до роботи.

## Додаток А

### ТЕХНІКА БЕЗПЕКИ

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 частин, що рухаються, приводу зусилля або подачі 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 звичайно становить 220...380 В, а при використанні конденсаторних машин напруга на випрямлячі може досягати 1000 В. Крім того, іноді можливий пробій або замикання первинної обмотки трансформатора на вторинний виток. Тому вторинний контур машини так само, як і шафа керування, надійно заземлюють.

Переріз заземлювального проводу має бути не менш 4 мм<sup>2</sup> для відкритої проводки і 5 мм<sup>2</sup> для закритої. Усі елементи керування - кнопки, педалі й т.п. - звичайно живляться напругою, що не перевищує 36 В. Під час роботи дверцята машини і шафи керування мають бути закритими. Блокувальні пристрої, наприклад на конденсаторних машинах, мають бути справними.

Для швидкого вимикання машини від мережі необхідно забезпечити легкий доступ до рубильників, кнопок та інших пристроїв, що вмикають. Підлога перед машиною має бути сухою і застеленою гумовим ковриком.

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 майстрові або наладчикові.

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

Простір 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 притоко-втяжної вентиляції рекомендується і місцева вентиляція.

Додаток Б

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

За ГОСТ 15878-79 прийнято такі позначення способів контакт-ного зварювання: Кт - точкове (рис. Б.1); Кш - шовне (рис. Б.2).

**ГОСТ 15878 - 79 - Кт - d / t**

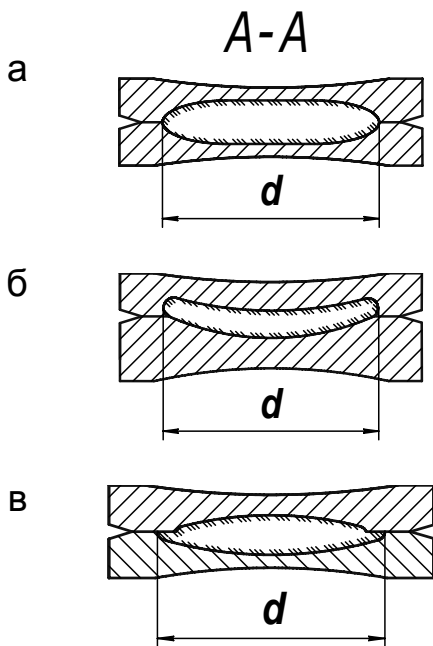
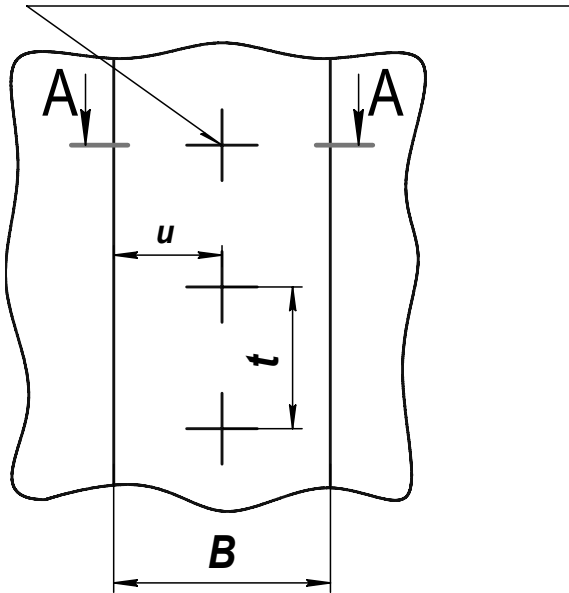


Рисунок Б.1 - З'єднання, виконане точковим зварюванням:  
а - деталі рівної товщини;  
б - деталі нерівної товщини;  
в - різнойменні метали

**ГОСТ 15878 - 79 - Кш - d**

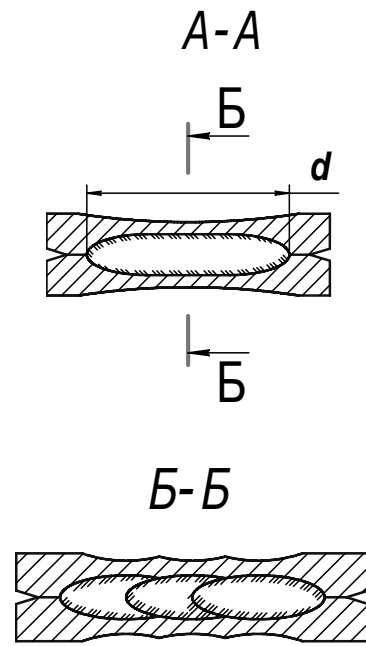
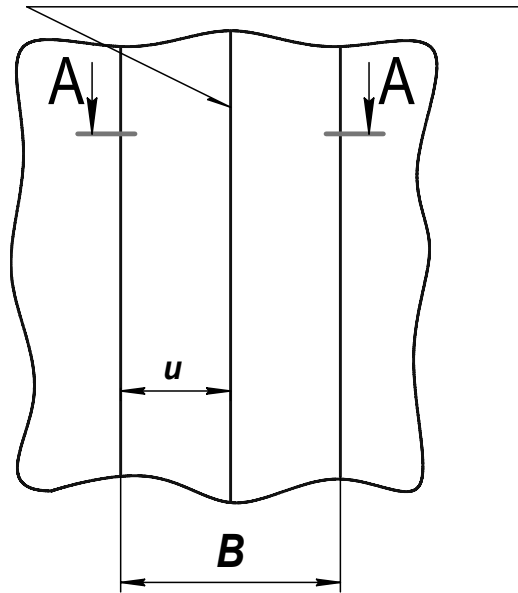


Рисунок Б.2 - З'єднання, виконане шовним зварюванням

Позначення конструктивних елементів зварених з'єднань:  
**s** і **s1** - товщина деталі;  
**d** - діаметр литого ядра точки або ширина литої зони шва;  
**t** - відстань між центрами сусідніх точок;  
**i** - відстань від центра точки або осі шва до краю напущки;  
**У** - величина напущки.

Таблиця Б.1 - Розміри конструктивних елементів зварних з'єднань групи А

Спосіб зварювання	$s=s_1$	$d$ , не менш	Однорядний шов В, не менш		$t$ , не менш
			Сталі, сплави на нікелевій основі, тита- нові сплави	Алюмінієві, магнієві й мідні сплави	
$K_T$	Св. 0,7 до 0,8	3,5	10	12	13
	Св. 0,8 до 1,0	4,0	11	14	15
	Св. 1,0 до 1,3	5,0	13	16	17
	Св. 1,3 до 1,6	6,0	14	18	20
	Св. 1,6 до 1,8	6,5	15	19	22
	Св. 1,8 до 2,2	7,0	17	20	25
	Св. 2,2 до 2,7	8,0	19	22	30
	Св. 2,7 до 3,2	9,0	21	26	35
	Св. 3,2 до 3,7	10,5	24	28	40
	$K_{ш}$	Св. 0,6 до 0,8	3,5	10	12
Св. 0,8 до 1,0		4,0	11	14	
Св. 1,0 до 1,3		5,0	13	16	
Св. 1,3 до 1,6		6,0	14	18	
Св. 1,6 до 1,8		6,5	15	19	
Св. 1,8 до 2,2		7,0	17	20	
Св. 2,2 до 2,7		7,5	19	22	
Св. 2,7 до 3,2		8,0	21	26	
Св. 3,2 до 3,7		9,0	24	28	

Допускається зварювання деталей неоднакової товщини; при цьому розміри конструктивних елементів слід вибирати за деталлю меншої товщини.

У випадку  $s/s_1 > 2$  мінімальні величини напущки **В** 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 напущки і має бути не менше половини мінімальної величини напущки.

## БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. Биковський О. Г. Технологія та обладнання електричного контактного зварювання: навч. посібник для учнів проф.-техн. навч. закладів / О.Г. Биковський, Д.М. Лутов, І.В. Пінковський. — К.: Техніка, 2001. — 239 с.
2. Гельман А.С. Основы сварки давлением / А.С. Гельман. — М.: Машиностроение, 1970. — 312 с.
3. Гельман А.С. Технология и оборудование контактной электро-сварки / А.С. Гельман. — М.: Машиностроение, 1963. — 368 с.
4. Квасницький В.В. Спеціальні способи зварювання: навч. посібник / В.В. Квасницький. — Миколаїв: УДМТУ, 2003. — 437 с.
5. Кочергин К.А. Сварка давлением / К.А. Кочергин. — Л.: Машиностроение, 1972. — 216 с.
6. Технология и оборудование контактной сварки: учеб. для машиностроит. вузов / под ред. Б.Д. Орлова. — М.: Машиностроение, 1986. — 352 с.
7. Патон Б.Е. Электрооборудование для контактной сварки / Б.Е. Патон, В.К. Лебедев. — М.: Машиностроение, 1969. — 440 с.
8. 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. ТЕРМОМЕХАНІЧНІ ВИДИ ЗВАРЮВАННЯ.....	5
2. Лабораторна робота „ЕЛЕКТРОКОНТАКТНЕ ТОЧКОВЕ ЗВАРЮВАННЯ”.....	13
3. Лабораторна робота „ЕЛЕКТРОКОНТАКТНЕ СТИКОВЕ ЗВАРЮВАННЯ”.....	24
4. Лабораторна робота „ЕЛЕКТРОКОНТАКТНЕ ШОВНЕ ЗВАРЮВАННЯ”.....	42
5. Лабораторна робота „ХОЛОДНЕ ЗВАРЮВАННЯ ПЛАСТИЧНИХ МЕТАЛІВ”.....	54
Додаток А. ТЕХНІКА БЕЗПЕКИ.....	67
Додаток Б. УМОВНЕ ПОЗНАЧЕННЯ ЗВАРЕНИХ З`ЄДНАНЬ, ВИКОНАНИХ КОНТАКТНИМ ТОЧКОВИМ І ШОВНИМ ЗВАРЮВАННЯМ.....	68
БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК.....	70

Горлов Олександр Кузьмич  
Рогачов Євген Петрович  
Лашко Сергій Миколайович

ОСНОВИ ТЕХНОЛОГІЇ ЗВАРЮВАННЯ  
В АЕРОКОСМІЧНІЙ ТЕХНІЦІ

Частина 2

Редактор Н.М. Сікульська

Зв.план, 2008

Підписано до друку 03.09.2008

Формат 60x84 1/16. Папір офс. №2. Офс. друк

Ум. друк. арк. 4. Обл.-вид.арк. 4,5. Наклад 200 прим.

Замовлення 394. Ціна вільна

---

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](mailto:izdat@khai.edu)