

Міністерство освіти і науки, молоді та спорту України
Донбаська державна машинобудівна академія

КОНСПЕКТ ЛЕКЦІЙ
по дисципліні
«Технологія та обладнання зварювання тиском»
для студентів спеціальності 6.05050401
денної та заочної форми навчання

Затверджено
на засіданні кафедри ОіТЗП
Протокол №20 от 05.06.2012 р.

Краматорськ, 2012

ВСТУП

Контактне зварювання – це технологічний процес одержання нероз'ємного з'єднання металевих деталей при їхньому місцевому нагріванні електричним струмом, що протікає у цих деталях, супроводжуваним здавлюванням зони сполуки.

При проходженні струму тепло виділяється як на власному опорі деталей, так і на опорі контакту між ними. Контактний опір зазвичай становить значну частину загального опору зварювальної мережі. Тому на ньому, виділяється основна кількість тепла. Наступна пластична деформація зони зварювання забезпечує одержання якісної сполуки.

Контактне зварювання почали застосовувати у 80^х роках минулого сторіччя, коли російський винахідник Бенардос запатентував точкове зварювання між вугільними електродами за допомогою найпростіших кліщів. Їм же було запропоновано роликове зварювання, а Томсоном (США) – стикове.

Контактне зварювання характеризується більшими швидкостями нагрівання металу в зоні зварювання, для чого потрібні машини великої електричної потужності (до 1000 кВт й більше).

При зварюванні деталей великого перетину необхідне зусилля стиску може досягати декількох сотень тонн. Тому механічна частина машин також повинна бути потужною. Машина для контактного зварювання складається з наступних трьох основних частин:

1. Джерело живлення. Найчастіше це зварювальний трансформатор, що знижує напругу мережі до напруги в декілька вольт (зазвичай 2 - 15 в.). Цієї напруги внаслідок малості опору зварювальної мережі досить для створення у вторинному ланцюзі більших струмів (іноді до 100000 а то й більш).
2. Механічна частина служить для закріплення, переміщення й стиску деталей, що зварюються.
3. Апаратура керування.

Спосіб контактного зварювання характеризується високою вартістю встаткування, високою продуктивністю, легкістю механізації й автоматизації. У силу цих властивостей контактне зварювання застосовується в основному в крупносерійному і масовому виробництві:

В автомобілебудуванні (для приварки кузова автомобіля до каркаса, зварювання ободов коліс, бензобака і т.д.); вагонобудуванні (для приварки листової обшивки до каркаса); при виробництві інструмента (для зварювання робочої частини зі швидкорізальної сталі із хвостовиком із зазвичай маловуглецевої сталі); при виробництві труб і при зварюванні магістральних трубопроводів; зварювання рейкових стиків, стрижнів арматур, ланок ланцюгів і т.д.

Класифікація способів контактного зварювання.

Існує кілька способів класифікації:

1. По способу живлення:
 - а) змінним струмом.
 - б) зварювання з нагромадженням енергії.

У цьому випадку необхідна для зварювання енергія спочатку відносно повільно накопичується в електричній полі конденсаторів або електромагнітній полі

трансформатора, а потім віддається в зону зварювання у вигляді короткого й потужного імпульсу.

- в) імпульсом випрямного струму.
- г) зварювання на низькочастотних машинах.

2. За формою звареної сполуки:

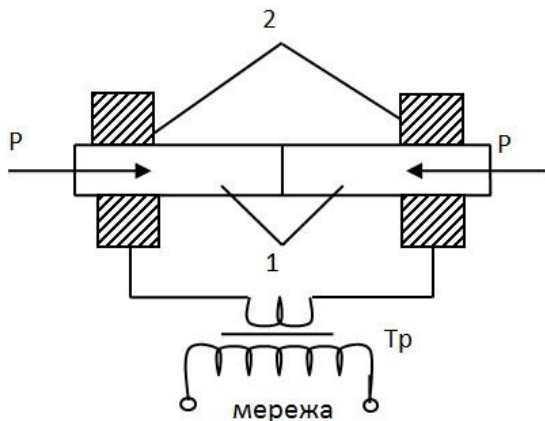
- а) стикове зварювання
- б) точкове зварювання
- в) рельєфне зварювання
- г) роликове зварювання
- д) роликово-стикове зварювання

3. За технологічними ознаками

Наприклад, стикове зварювання опором і оплавленням. Роликове зварювання – безперервна, переривчаста й крокова.

4. По способу підведення струму:

- а) однобічне
- б) двобічне



Стикове зварювання – вид контактного зварювання, при якому деталі, що з'єднуються, зварюються по всій площині їх торкання. Деталі, що зварюються, 1 зажимаються в електродах зварювальної машини 2, які за допомогою гнучких мідних шин з'єднані із вторинним витком зварювального трансформатора Тр. Торці деталей стискаються осьовим зусиллям Р.

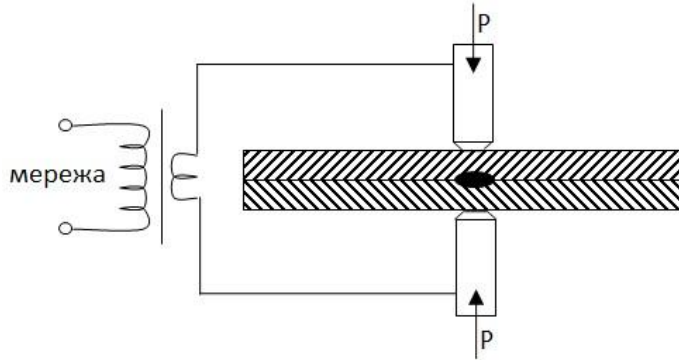
Розрізняють два основні способи стикового зварювання опором і оплавленням.

При зварюванні опором торці деталей стискаються осьовим зусиллям Р, а потім включається зварювальний трансформатор. Деталі розігріваються струмом без розплавлення, пластично деформуються й зварюються. Внаслідок наявності контактної опору температура по довжині деталей розподіляється нерівномірно, вона максимальна в торцях деталей і поступово зменшується до електродів.

При зварюванні оплавленням деталі повільно зближають до зіткнення торців без помітного їхнього здавлювання при включеному трансформаторі. При зіткненні торців деталей між ними утворюється контакт. Опір цього контакту, через відсутність стискаючих сил порівняно велике. При протіканні через цей контакт великого струму на ньому виділяється велика кількість тепла $Q=I^2Rt$.

Метал у зоні контакту швидко розплавляється, утворюючи між торцями деталей рідку перемичку. При подальшій нагріванні струмом ці перемички вибухають. Це приводить до викидання із зони стику часток розплавленого металу й деякому вкороченню деталей. При подальшій зближенні деталей утворюються й вибухають усі нові й нові перемички. Це приводить до інтенсивного розігріву торців деталей. Після одержання на торцях деталей тонкого шару розплавленого металу й достатнього прогріву деталей по довжині вони здавлюються осьовою силою (осаджуються). При цьому розплавлений метал видавлюється зі стику, а розташований під ним чистий добре розігрітий метал пластично деформується й зварюється.

Точкове зварювання – вид контактного зварювання при якому деталі, що з'єднуються, зварюють по поверхні їх торкання в окремих точках (під електродами).

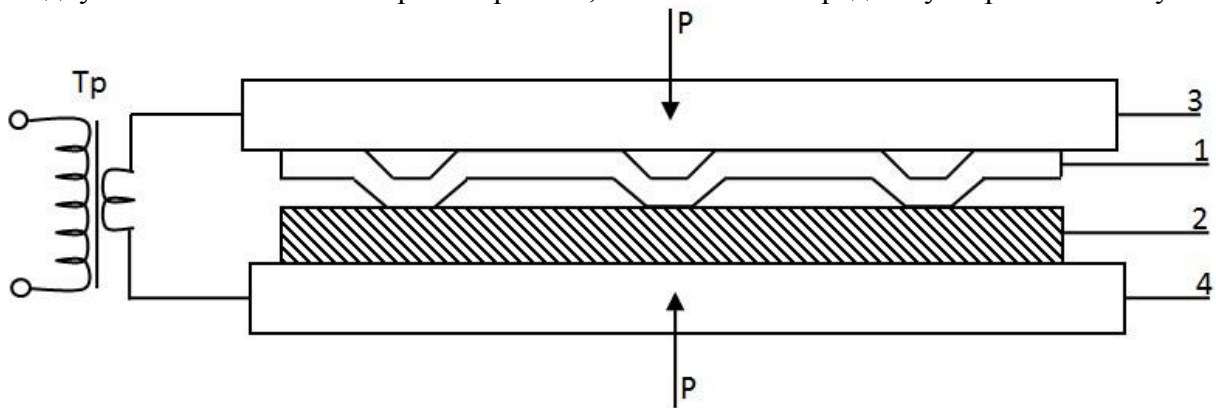


Електроди точкових машин зазвичай виготовляються з міді і її сплавів, які мають високу електро й теплопровідність. Внаслідок цього деталі в місцях контакту з електродами розігріваються значно повільніше, чим у зоні контакту між

деталіями.

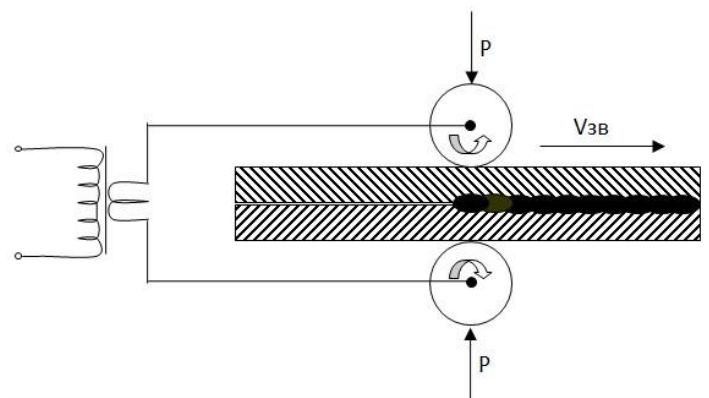
Процес зварювання зазвичай ведуть до розплавлення металу в центральній найбільш розігрітій зоні. Після остигання тут утворюється кругла зварена крапка з литим ядром.

Рельєфне зварювання – це вид контактного зварювання, при якому деталі з'єднуються по частині поверхні торкання, обмеженої попередньо утвореними виступами.



деталі, що зварюються, 1 і 2 стискаються зусиллям P між контактними плитами 3 і 4, які за допомогою гнучких мідних шин з'єднані із вторинним витком зварювального трансформатора. До початку зварювання деталі щільно прилягають друг до друга в місцях виступів. При включенні струму деталі тут інтенсивно нагріваються й зварюються зі зчалуванням виступів. Після зварювання деталі щільно прилягають друг до друга по всій поверхні.

Роликове зварювання – вид контактного зварювання, при якому між деталями, що зварюються, утворюється безперервний шов шляхом постановки послідовного ряду точок, що частково перекриваються.



Розрізняють 3 види роликового зварювання:

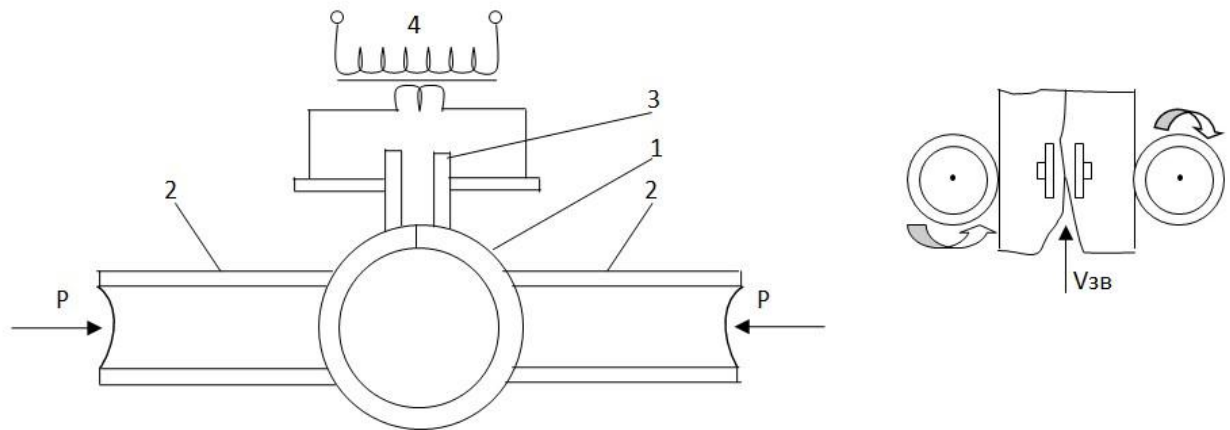
1. безперервне;
2. переривчасте;
3. крокове;

Безперервне роликове зварювання – деталі безупинно переміщуються при постійно включеному зварювальному трансформаторі. Його застосування обмежене через перегрів зони зварювання й інтенсивного зношування роликів.

Переривчасте роликове зварювання – деталі безупинно переміщуються, а струм включається імпульсами (зазвичай коротше 0,25 сек.), що чергуються з такими ж або більш тривалими паузами. Це найпоширеніший вид роликового зварювання.

Крокове зварювання – деталі переміщуються переривчасто, а зварювальний струм включається в моменти зупинки.

Ролистикове зварювання – різновид роликового зварювання, при якому безперервний шов утворюється між крайками листів, що з'єднуються устик. Воно застосовується в основному у виробництві труб.



Заготовка труби 1, сформована в спеціальній машині, зажимається між роликами 2, що здавлюють зусиллям P крайки заготовки в місці стику. Заготовка переміщується зі швидкістю $V_{зв}$ під електродами 3 з'єднаними зі зварювальним трансформатором 4. При цьому її крайки нагріваються пластично деформуються зусиллям P и зварюються, утворюючи безперервний міцнощільний шов.

Розділ 1. Загальні особливості процесів при контактному зварюванні.

Електричний опір і нагрівання при контактному зварюванні.

Закон Джоуля й питомий електричний опір.

Для одержання якісної сполуки при контактному зварюванні, необхідно нагріти деталі в зоні сполуки до температури зварювання, а також забезпечити прогрів деталей у досить широкій околошовній зоні для того, щоб здійснити необхідну пластичну деформацію. Тому тепловий стан деталей, характеризуємий температурним полем виявляє дуже великий вплив на процеси контактного зварювання.

Температурне поле – це сукупність температур у всіх точках виробу, що зварюється, у певний момент часу.

Температурне поле визначається процесом виділення тепла й процесом його поширень.

Кількість тепла, виділюване в провіднику з активним опором R при протіканні в ньому електричного струму I у перебігу часу t визначається за законом Ленца-Джоуля:

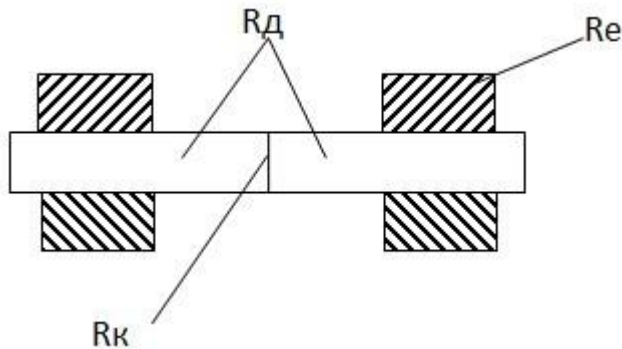
$$Q = \int_0^t R(t) I^2(t) dt, \text{дж} \quad (1)$$

Інтенсивність тепловиділення характеризується миттєвою потужністю:

$$q(t) = I^2(t) R(t), \text{дж/сек} \quad (2)$$

Величина опору R і його розподіл у зоні зварювання суттєво впливають на умови нагрівання й температурне поле.

Опір зони зварювання R складається з опору деталей R_d , опору контакту між деталями R_k і опору контакту електрод-деталь R_e .



При стиковому зварюванні $R_e \approx 0$ внаслідок великої площі контакту між електродом і деталлю. Тоді

$$Q = \int_0^t [R_k + 2R_d] I^2 dt \quad (3)$$

При точковому зварюванні

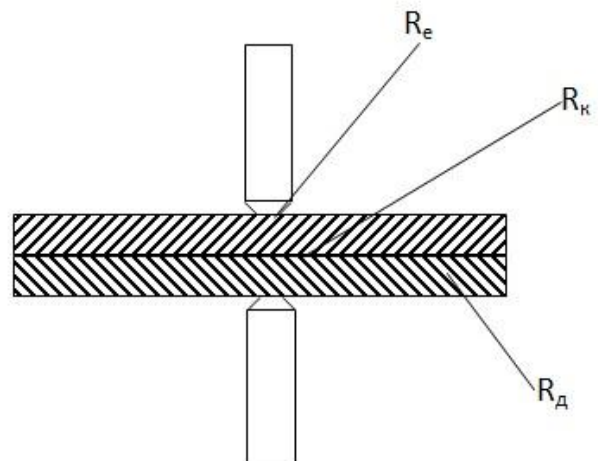
$$Q = \int_0^t [R_k + 2R_s + 2R_d] I^2 dt \quad (4)$$

1. Опір деталей у загальному випадку визначається по формулі:

$$R = \rho \frac{l}{F} \quad (5)$$

де ρ – питомий опір матеріалу деталей;

l – довжина, а F – площа поперечного перерізу ділянки деталей по якому протікає зварювальний струм.



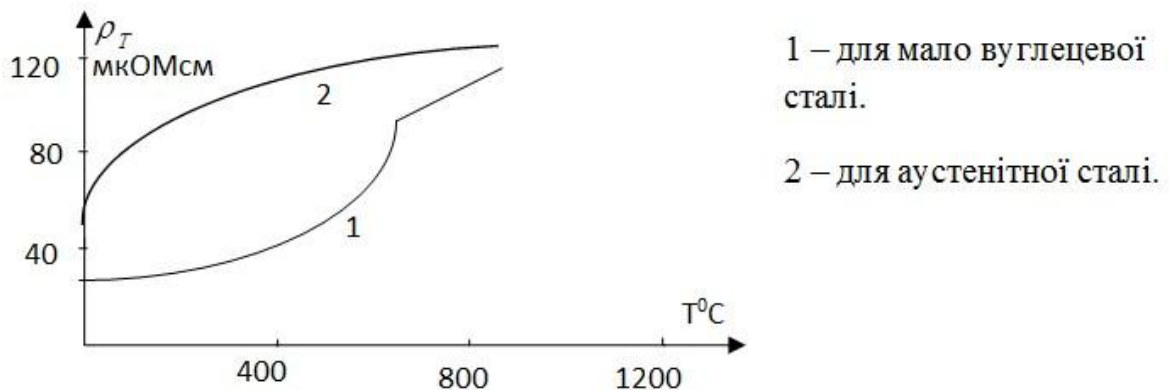
Власні опори деталей, що зварюються, пропорційно питомому опорі, зі збільшенням якого зазвичай росте й контактний опір. Тому питомий опір – найважливіша характеристика матеріалу при контактному зварюванні. З його збільшенням за законом Ленца-Джоуля зменшується струм необхідний для зварювального нагрівання. Матеріали з високим питомим опором, зокрема сталі, зварюються на машинах щодо малої потужності й, навпаки для зварювання матеріалів з низьким опором (мідні й алюмінієві сплави) зазвичай потрібні потужні машини. Питомий опір залежить від температури

$$\rho_T = \rho_0(1 + \alpha T) \quad (6)$$

де ρ_0 - питомий опір при $T=00^\circ\text{C}$

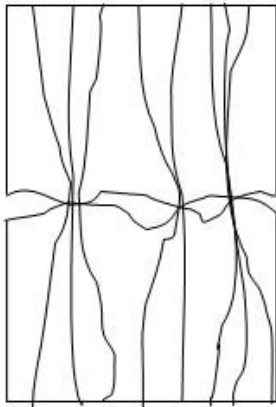
α - температурний коефіцієнт опору.

Залежність ρ_T від T для сталі має вигляд:



2. Опір контакту

Наявність контактного опору між деталями обумовлене наступними причинами:



1) різке зменшення перетину провідника поблизу нерівну поверхню й при стиску стикаються не по всій площині, а по окремих невеликих контактних майданчиках, через які й протікає струм.

2) наявність на поверхні контактуючих деталей окисних плівок, окалини, іржі, усіляких забруднень і т.д.

Контактний опір сильний залежить від чистоти поверхні. Деталі в місцях контакту повинні бути очищені від окалини й іржі й знежирені.

Контактний опір деталей зменшується з ростом зусилля стиску P , що пояснюється збільшенням площі дійсного контакту між ними через зминання поверхні виступів.

$$R_k = \frac{r_k}{P^\alpha} \quad (7)$$

де r_k – контактний опір при $P=1\text{кг}$

α лежить у межах 0,5–1 для різних матеріалів (0,65–0,75 для сталі); 0,75–0,85 для алюмінієвих сплавів).

Величина r_k залежить від властивостей матеріалу й стану його поверхні; вона зазвичай зменшується зі зменшенням твердості й зі збільшенням електропровідності матеріалу. (Для добре очищеної нашлифованої маловуглецевої сталі й алюмінієвих сплавів r_k відповідно змінюється в межах 0,005 – 0,006 і 0,001 – 0,002).

Опір контакту між електродом деталлю, що й зварюється, визначається залежністю:

$$R_{\Sigma} \leq 0,5(R_m + R_k)$$

де R_k – опір контакту між деталями з матеріалу виробу

R_m – опір контакту між двома деталями з електродного матеріалу.

Тому що електроди виготовляють із міді і її сплавів, а опір контакту між мідними деталями дуже мало, те величиною R_m можна зневажити. Тоді

$$R_{\Sigma} \leq 0,5R_k \quad (8)$$

Опір контакту дуже сильно змінюється при нагріванні в результаті росту питомого опору шару металу, що прилягає до контакту; зниження опору окисної плівки й збільшенні числа й площі дійсних контактів між деталями завдяки пластичній деформації нагрітого металу. В умовах контактного зварювання два останні фактори мають головне значення: з підвищенням температури контактний опір швидкий падає й практично зникає, у сталі при 6000С, в алюмінієвих сплавів при 3500С.

При стиковому зварюванні оплавленням контакт між деталями здійснюється через рідкі перемички розплавленого металу. Опір контакту залежить від площі перетину й кількості одночасно існуючих перемичок. Тому що перемички при зварюванні оплавленням увесь час виникають і руйнуються, то опір контакту безупинно змінюється. Середня величина опору контакту приблизно визначається по наступній емпіричній формулі

$$R_{опл} = \frac{9500K_1}{F^{\frac{2}{3}}V_{опл}^{\frac{1}{3}}j} \quad (9)$$

де: F – перетин деталей, що зварюються, у $см^2$

$V_{опл}$ – швидкість оплавлення (швидкість зближення деталей при оплавленні)

j – щільність струму в $А/мм^2$

K_1 – коефіцієнт, що залежить від матеріалу (для сталі $K_1=1,0-1,1$)

Ефективний опір контакту при оплавленні відносно великий (зазвичай 100-1500 мкОм для сталі).

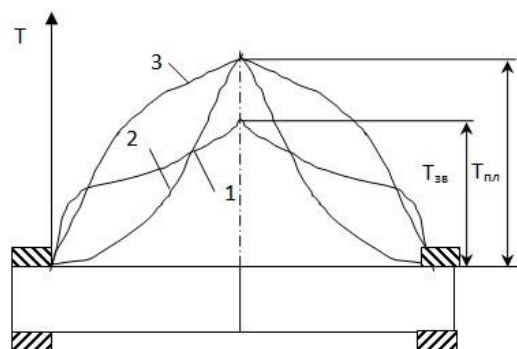
Опір при стиковому зварюванні.

При стиковому зварюванні нагрівання зони сполуки відповідно до формули (3) визначається контактним опором між торцями деталей і власним опором їх кінців, що виступають із затисків.

При зварюванні опором, коли торці деталей увесь час стиснуті досить великим зусиллям, контактний опір відносно малий й швидко зникне при нагріванні. Середній контактний опір при зварюванні оплавленням великий й приблизно постійно протягом усього часу оплавлення.

Опір виступаючих кінців деталей визначається по формулі (5). Воно мінімально при холодних деталях і росте в міру їх нагрівання.

Величина й характер зміни опору зони зварювання визначається розподілом температури в деталях, які до кінця нагрівання при різних способах стикового зварювання має вигляд:



1 – при зварюванні опором.

2 – при зварюванні безперервним оплавленням.

3 – при зварюванні оплавленням з підігрівом.

Тому що контактне зварювання зазвичай ведеться на змінному струмі, то опір деталей декілька збільшується через наявність поверхневого ефекту.

Поверхневий ефект полягає в переважній протіканні змінного струму по поверхні провідника.

Змінний струм взаємодіє зі створюваним ним магнітним полем і відтискується до поверхні провідника. При цьому зменшується ефективна площа перетину провідника й, отже, зростає його опір.

Тому при змінному струмі активний опір провідника збільшується в порівнянні з його опором при постійному струмі.

Вплив поверхневого ефекту на опір провідника характеризується коефіцієнтом поверхневого ефекту:

$$m = \frac{R_{\approx}}{R_{=}} > 1 \quad (10)$$

$R_{=}$ - опір провідника при постійному струмі.

R_{\approx} - опір провідника при змінному струмі.

Коефіцієнт поверхневого ефекту залежить від властивостей матеріалу провідника, щільності струму і його частоти.

Коефіцієнт m визначається за формулами:

$$m = 1 + E^{4/3}, \text{ при } E < 1$$

та

$$m = E + 0,25 + 3/64E, \text{ при } E > 1 \quad (10a)$$

тут

$$E = \frac{a_0}{2} \sqrt{\frac{1,256 \Pi f \mu 10^{-8}}{\rho}} \quad (10б)$$

де: a_0 – радіус круглого провідника в см.

f – частота змінного струму в Гц.

ρ - питомий опір провідника в Ом/см

μ - відносна магнітна проникність провідника

$$\mu = B/H \quad (10в)$$

де B – індукція в гс

H – напруженість магнітного поля в а/см

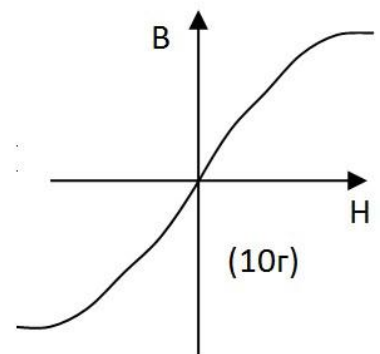
У поверхні круглого провідника при струмі I напруженість поля дорівнює:

$$H = 0,2I/a_0 \quad (10г)$$

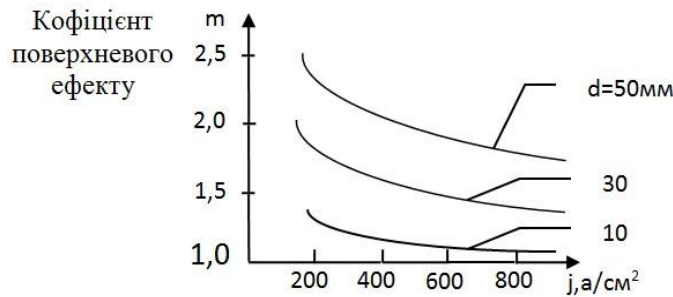
Зі співвідношень (10-10г) випливає:

Інтенсивність прояву поверхневого ефекту зростає при збільшенні радіуса деталей, при зменшенні питомого опору матеріалу, при зменшенні щільності струму й при збільшенні частоти змінного струму.

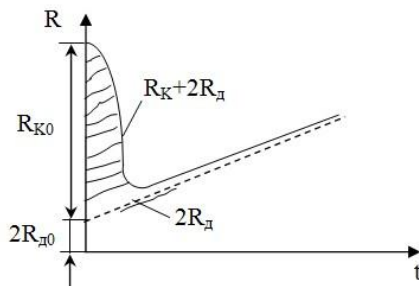
При стиковому зварюванні щільність струму зазвичай велика й тому при малому радіусі деталей що зварюються, поверхневий ефект проявляється слабо. На практиці його необхідно враховувати тільки при діаметрі деталей більш 20-25 мм.



У процесі зварювання повний опір зони сполюки змінюється із часом у такий спосіб:

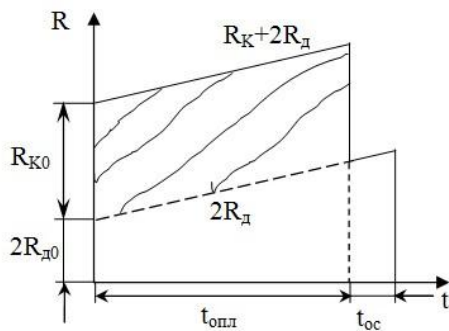


1) при стиковому зварюванні опором:



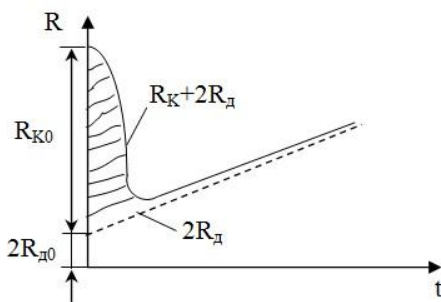
У початковий момент зварювання основну частку загального опору становить контактний опір. У міру розігріву контакту його опір різкий зменшується, практично до нуля, і основну роль починає відіграти опір деталей, яке поступово зростає внаслідок збільшення питомого опору ρ_T при нагріванні.

2) при стиковому зварюванні оплавленням:



У процесі оплавлення основну роль відіграє контактний опір, який при оплавленні з постійною швидкістю залишається приблизно постійної. При осаді контактний опір різкий падає практично до нуля й опір зони зварювання стає рівним опору деталей.

Опір при точковому зварюванні.



У процесі точкового зварювання опір зони зварювання змінюється в такий спосіб:

У початковий момент зварювання основну роль відіграє контактний опір, який різко падає практично до нуля при нагріванні. Надалі опір зони зварювання визначається в основному опором деталей, який росте з підвищенням температури.

Деяке зменшення опору деталей наприкінці процесу зварювання можна пояснити вдавленням електродів у деталі.

При точковому зварюванні змінним струмом (як і при стиковому) опір деталей декілька вище через поверхневий ефект. Внаслідок великої щільності струму це підвищення незначне і їм можна зневажити

При зварюванні деталей з магнітних матеріалів можливо додаткове збільшення опору зварювальної мережі внаслідок індуктивування в деталях вихрових струмів.

Загальна характеристика нагрівання при контактному зварюванні.

При контактному зварюванні нагрівання деталей здійснюється завдяки виділенню тепла на контактному власному опорі деталей, струмом, що протікають у напрямку перпендикулярній площини сполуки. Якщо припустити, що величина струму в процесі зварювання не змінюється, то формула (1) прийме вигляд:

$$Q = I^2 \int_0^t R(t) dt \quad (11)$$

Незважаючи на те, що спочатку процесу зварювання контактний опір становить основну частку загального опору зони зварювання, роль його в тепловому балансі зазвичай не велика.

Загальна кількість тепла виділяється в зоні зварювання, згідно з формулою (11) пропорційно площі під кривій $RK(t) + 2R_d(t)$. (мал.)

Кількість тепла, виділювана на контактному опорі пропорційна площі під кривій $RK(t)$ (заштрихована частина на мал.).

А кількість тепла, виділюване на опір деталей, пропорційно площі під кривій $2R_d(t)$.

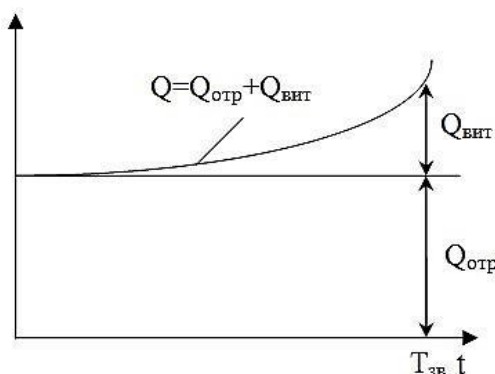
При всіх способах контактного зварювання, крім стикового зварювання оплавленням, контактний опір після початку зварювання різко падає й частка тепла, виділюваного на контактному опорі, зазвичай не перевищує 10%.

Однак у початковий момент зварювання на контакті виділяється велика кількість тепла. Метал у зоні безпосередньо прилягаючої до контакту швидко розігрівається, і опір цієї ділянки швидко підвищується (внаслідок збільшення ρ_t). Тому при подальшій протіканні струму тут створюється ділянка інтенсивного тепловиділення, тобто місцевий концентратор тепловиділення. Внаслідок цього найбільше інтенсивно розігрівається метал саме в зоні контакту.

Тепло, виділюване при зварюванні, витрачається на корисне нагрівання деталей безпосередньо в зоні зварювання й на компенсацію втрат в електроди, у навколишній зону зварювання метал деталей і в навколишній простір:

$$Q = Q_{\text{отр.}} + Q_{\text{вит.}} \quad (12)$$

Корисна кількість тепла, тобто те тепло, яке необхідно для нагрівання об'єму V матеріалу деталей з теплоємністю C і щільністю γ до температури $T_{\text{зв}}$ рівно:



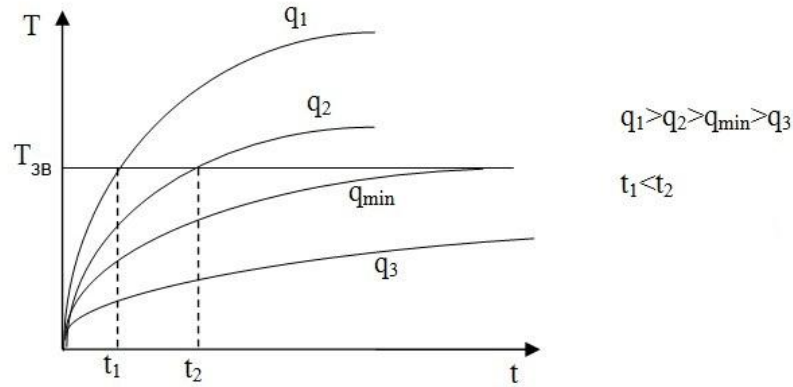
$$Q_{\text{отр.}} = 3\gamma V T_{\text{зв}} \quad (13)$$

$Q_{\text{отр.}}$ від часу нагрівання не залежить.

Втрати ж тепла завжди зростають при збільшенні часу нагрівання $t_{\text{зв.}}$

Тому загальна кількість тепла Q , необхідне для здійснення зварювання, також росте зі збільшенням часу $t_{\text{св.}}$

Швидкість нагрівання деталей при зварюванні залежить від потужності машини:



При великій електричній потужності машини q_1 нагрівання зони зварювання до необхідної температури $T_{зв}$ відбувається дуже швидко. При зменшенні потужності машини нагрівання відбувається повільніше. При певній потужності, рівної q_{min} нагрівання до необхідної температури $T_{зв}$ відбувається за час теоретично рівної нескінченності.

При потужності менше q_{min} (наприклад, q_3) нагрівання до необхідності $T_{зв}$ взагалі не можливий.

Отже, електрична потужність машини для зварювання даних деталей може бути різної, але обов'язково більше q_{min} .

Сучасна технологія контактного зварювання характеризується використанням машин великої потужності, тому що при цьому, по-перше, зменшується тривалість процесу й, як наслідок, росте його продуктивність і, по-друге, зменшується витрата електроенергії внаслідок зменшення втрат тепла.

Зварюваність різних металів і сплавів контактним зварюванням.

Основні процеси в зоні зварювання.

Механічні властивості металу в зоні зварювання відрізняються від властивостей основного металу внаслідок зміни хім. сполуки, мікро й макроструктури. Ці зміни визначаються термічним циклом зварювання, пластичною деформацією й взаємодією з навколишнім середовищем. При зварюванні в замкненому об'ємі (роликowe й точкове зварювання) зона зварювання практично ізольоване від навколишнього середовища, тому хім. сполука металу не змінюється.

При зварюванні в незамкнутому об'ємі (стикове зварювання) зміна хім. сполуки відбувається по наступних причинах:

- 1) У результаті взаємодії з киснем і азотом повітря (основне значення мають процеси окиснення тому що при відносно низьких температурах зони зварювання, характерних для контактного зварювання, азот майже не диссоційован, а, перебуваючи в молекулярному стані, мало активний).
- 2) Випар елементів з відносно низькою температурою кипіння (наприклад, цинку, що кипить при 9070, з латуні, магнію, що кипить при 11070, алюміній-магнієвих сплавів).
- 3) Видалення із зони зварювання при осаді щодо легкоплавкого розплаву, багатого легуючими елементами й домішками (наприклад, при стиковому зварюванні опалвленням стали в стику знижується зміст сірки й вуглецю, що віддаляються з розплавленим металом).

Найбільше практичне значення мають процеси окиснення. Продукти реакції окиснення при температурі зварювання можуть перебувати в газоподібній, рідкій або твердому стані.

Рідкі й газоподібні окисли зазвичай легко віддаляються зі стику при осаді. При цьому декілька знижується зміст у сталі вуглецю ($CO \uparrow$).

Найбільшу небезпеку являють собою тверді окисли температура плавлення яких вище температури плавлення основного металу (Al_2O_3 $T_{пл}=2050^{\circ}$, Cr_2O_3 $T_{пл}=1890^{\circ}$, SiO_2 $T_{пл}=1710^{\circ}$). Ці окисли, залишаючись у зоні сполуки, сильно погіршують її механічні властивості.

Процес окиснення у своїй основі є дифузійним. У початковий момент утвору окиснення плівки відбувається миттєво шляхом прямої адсорбції до поверхні металу іонів кисню. Після утвору окисної плівки товщиною в кілька атомних шарів позитивні іони заліза й інших елементів дифундують через цю плівку й з'єднуються з іонами кисню. Чим менше іонний радіус елемента, тим більше його відносний зміст в окисній плівці в порівнянні зі змістом в основному металі. Іонний радіус заліза $0,75 \text{ \AA}$. Іонні радіуси хрому ($0,65 \text{ \AA}$), алюмінію ($0,5 \text{ \AA}$) і кремнію ($0,41 \text{ \AA}$) значно менше, чим заліза. Тому їх відносний зміст в окислах набагато більше, чим у сталі. Наприклад, при змісті в сталі 13% хрому його зміст в окислах досягає 56%. Досить 6% Al у сталі, щоб окалини, що утворюється на ній, містила 53% Al і являло собою практично чистий двоокис алюмінію Al_2O_3 .

Структура зони зварювання визначається умовами її нагрівання й пластичної деформації.

Розглянемо три основні випадки:

Зварювання з розплавленням у замкнутому об'ємі (точкове й роликове зварювання).

При цьому утворюється ядро литого металу з характерною стовпчастою структурою. При кристалізації внаслідок невірної усадки металу можливе утворення ливарних дефектів – усадочної рихлості й раковин. Тиск електродів, якщо він досить великий, викликає пластичну деформацію в ядрі, що кристалізується, і ущільнює його.

Більші усадочні напруження, що виникають при кристалізації в замкнутому об'ємі, можуть приводити до утворення гарячих тріщин.

Як правило, однофазні сплави з великим температурним інтервалом кристалізації мають підвищену схильність до утвору гарячих тріщин. Наприклад, чисто аустенітні сталі (X23H18) часто дають гарячі тріщини при точковому зварюванні. Підвищений вміст сірки й вуглецю в сталі, що розширює інтервал кристалізації, сприяє утвору гарячих тріщин. Обтиснення металу в ядрі при кристалізації зменшує розтягувальні напруження й може попередити появу тріщин.

1) Зварювання з розплавленням у незамкнутому об'ємі (стикове зварювання оплавленням).

Взаємодія розплавленого металу з киснем повітря приводить до утвору окислів, які при осаді не завжди можуть бути повністю вилучені зі стику. Наявність окислів у стику знижує міцність і пластичність з'єднання. Значна пластична деформація зазвичай попереджає утвору ливарних пороків у стику.

Пластична деформація викликає помітне скривлення волокон, у результаті чого в стику



метал іноді працює не уздовж, а поперек волокон. Це може знижувати механічні властивості звареної сполуки й у першу чергу його пластичність.

2) Зварювання без розплавлювання в незамкненому об'ємі (стикове зварювання опором).

При повільнім нагріванні до температури 1200 – 13000 відбувається інтенсивне зростання зерна. При швидкім нагріванні до температур нижче температури інтенсивного зростання зерна (для сталі близько 11000) структурні зміни в металі стику практично не відбуваються. Збільшення пластичних деформацій знижує кінцевий розмір зерна. Окисли, що залишаються в стику, знижують його міцність і особливо пластичність.

Зварюваність різних металів контактним зварюванням.

1. Маловуглецеві й низьколеговані сталі.

Маловуглецеві сталі зі змістом вуглецю 0,08-0,16% добре зварюються всіма видами контактного зварювання.

Цьому сприяють наступні фактори:

- а). порівняно великий питомий електричний опір (в 8-10 раз вище, чим у міді);
- б). малий опір пластичної деформації в широкому інтервалі температур.
- в). мала схильність до загартовування (відсутнє окрихчування у зварному з'єднанні);
- г). вузький температурний інтервал кристалізації й внаслідок цього мала схильність до утвору гарячих тріщин;
- д) відсутність елементів тугоплавких окислів.

При зварюванні холоднокатаних сталей можливо деяке її разупрочнення в околосшовній зоні, що практично не усувається ніяким способом. Для зменшення ступеня разупрочнення холоднокатані сталі повинні зварюватися з мінімальною зоною розігріву, тобто при швидкім нагріванні й охолодженні.

Сталь в околосшовній зоні завжди нагрівається на деякій ділянці вище температури початку інтенсивного зростання зерна. Чим повільніше нагрівання й охолодження, тем ширше ця ділянка, і тем крупніше одержуване зерно. При великій швидкості нагрівання (1500/сек і вище) температура закінчення перекристалізації стали підвищується до температури $\alpha - \gamma$ перетворення заліза (9100), а температура початку інтенсивного зростання зерна росте на 150-2000 у порівнянні із цією температурою при повільнім нагріванні. Однак навіть при більших швидкостях нагрівання повністю уникнути росту зерна в зоні, навіть короткочасно нагрітої вище 1150-12000 не можна. Зазвичай нагрівання протягом більш 3-4 секунд уже веде до помітного росту зерна. Найбільшою мірою ріст зерна проявляється при відносно повільного стикового зварювання деталей великого перетину. Ріст зерна часто супроводжується відманшtedтовою структурою, при якій надлишковий ферит виділяється в сталі, що остигає, не у вигляді сітки по границях зерен аустеніту, а усередині цих зерен паралельними пластинками. Відманшtedтова структура може понизити пластичність звареної сполуки. Вона легко усувається термічною обробкою з перекристалізацією (нормалізацією або відпалом).

Вплив вуглецю й легуючих елементів на умови контактного зварювання проявляється в наступному:

- а) збільшення змісту вуглецю зменшує небезпеку окиснення. Добавки C, Al, Si приводять до утвору тугоплавких окислів, що утрудняє зварювання.
- б) збільшення змісту вуглецю різко розширює температурний інтервал кристалізації (з 500 при 0,2%3 до 2000 при 1,25%3) і сприяє появі усадочних

дефектів і гарячих тріщин. Легуючі елементи у кількості, що вводяться в низьколеговані сталі мало впливають на ці характеристики.

- в) зі збільшенням змісту в сталі вуглецю й легуючих елементів, як правило, зростає опір пластичної деформації. Цьому при зварюванні низьколегованих сталей для досягнення необхідної пластичної деформації необхідно більш високий питомий тиск (на 10-100%), чим при зварюванні таких же деталей з маловуглецевої сталі.
- г) підвищення змісту в сталі вуглецю й легуючих елементів підвищує її питомий опір, отже такі сталі можна зварювати при менших густинах струму.

2. Аустенітні сталі

Аустенітні сталі володіють багатьма цінними властивостями: високою корозійною стійкістю, жароміцністю (міцністю в умовах тривалої роботи при високих температурах) і жаростійкістю (малою швидкістю **окиснення** при **значнім нагріванні**). Найпоширеніша хромонікелева аустенітна сталь зі **змістом** 17-19% хрому й 8-10% нікелю, іноді додатково легована молібденом, кремнієм, титаном, ніобієм і іншими елементами, що підвищують її корозійну стійкість і жароміцність. Застосовуються сталі з **більшим змістом** нікелю й хрому (25%Cr і 20%Ni) і ще більш леговані.

Контактне зварювання аустенітних сталей **визначається** наступними особливостями цих сталей:

- а) їхній опір пластичної деформації при високих температурах значно вище, чим у маловуглецевих і низьколегованих сталей, тому при контактному зварюванні аустенітних сталей потрібні більші питомі тиски.
- б) аустенітні сталі мають високий питомий електричний опір і малою теплопровідністю, тому їх можна зварювати при менших струмах, ніж маловуглецеві сталі.
- в) холоднокатані аустенітні сталі при зварюванні разупрочнюються в околосшовній зоні. Для зменшення разупрочнення їх бажано зварювати на “твердих” режимах (“твердих” режими характеризуються швидким нагріванням, “м'які” – відносно повільним).

Однак, зварювання деяких аустенітних сталей, схильних до гарячих тріщин (наприклад, Х25Н20), доцільніше на м'яких режимах. М'які режими іноді застосовують, також через високу жароміцність стали, що ускладнює її пластичну деформацію при малій зоні розігріву, характерної для зварювання на твердих режимах.

- г) аустенітні сталі дають тугоплавкі окисні плівки (Cr_2O_3), тому стикове зварювання таких сталей утруднена.
- д) аустенітні сталі мають високий коефіцієнт теплового розширення, що дозволяє очікувати більших зварювальних деформацій. Однак, при контактному зварюванні цих сталей через низьку теплопровідність зона розігріву мала й деформації невеликі.

3. Алюміній і його сплави.

Чистий алюміній має високу тепло й електропровідністю (62% провідності міді). Контактне зварювання Al застосовують рідко, тому що можливе тільки при дуже великих струмах і пов'язане зі швидким зношуванням електродів.

У промисловості широко застосовуються контактне зварювання (особливо роликове й точкове) високоміцних алюмінієвих сплавів, таких як АМц(1-1,6%Mn, до1%Fe, до 1%Si), АМг(2-2,8%Mg, 0,15-0,4%Mn), дуралюмин (Д16 містить 3,6-4,7%Cu, 1,75%Mg і 0,3-0,9%Mn).

Поведінка алюмінієвих сплавів при контактному зварюванні і її режими визначаються наступними особливостями цих сплавів:

- а) Алюмінієві сплави при нагріванні разупрочнюються й тому їх бажано зварювати з мінімальною зоною розігріву, використовуючи тверді режими.

- б) Алюмінієві сплави мають високу електро й теплопровідністю, тому для їхнього зварювання потрібні значні струми (необхідні машини великої потужності)
- в) Високоміцні алюмінієві сплави, як правило, кристалізуються в широкому інтервалі температур (90-1350 і більш) і часто схильні до утвору гарячих тріщин, для боротьби з якими необхідно застосовувати значні зусилля стиску в процесі кристалізації розплавлених зон, що зварюються сполук.
- г) Алюміній і його сплави мають високий коефіцієнт теплового розширення (майже вдвічі більший, ніж у маловуглецевих сталей), що сприяє збільшенню зварювальних деформацій. Для полегшення боротьби з деформаціями необхідно застосовувати тверді режими з мінімальною зоною розігріву.
- д) При стиковому зварюванні алюмінієвих сплавів особливо значення має окиснення поверхонь, що нагріваються (утвір тугоплавкої окісної плівки Al_2O_3). Тому стикове зварювання повинно супроводжуватися дуже великою пластичною деформацією в стикі, достатньої для руйнування окісних плівок.

4. Мідь і її сплави.

Контактне зварювання міді ускладнене її винятково високою електро й теплопровідністю. Практично застосовується тільки її стикове зварювання опором, що поступово витісняється холодним зварюванням.

Значно краще зварюються контактним зварюванням деякі бронзи (кремениста, фосфориста, берилієва й ін.) і латуні зі змістом 30-38% Zn.

Добре зварюються міднонікелеві сплави.

5. Нікель і його сплави.

Чистий нікель по своїх фізичних і електричних властивостях близький до заліза й добре зварюється всіма видами контактного зварювання.

Жароміцні сплави на нікелевій основі (наприклад, ніхром ХН78Т ($\approx 20\%Cr$; $0,15\%Ti$ і більш $75\%N$)) мають дуже високий питомий опір і малу теплопровідність, тому при їхньому контактному зварюванні потрібно невеликий струм.

Внаслідок високої жароміцності при зварюванні цих сплавів необхідні більші питомі тиски.

Щоб уникнути разупрочнення сплаву в зоні зварювання й більших зварювальних деформацій, пов'язаних з високим коефіцієнтом теплового розширення зазвичай застосовують тверді режими.

6. Титан і його сплави.

Титан і його сплави відрізняються високою хімічною активністю. При нагріванні з доступом повітря титан легко окислюється. При нагріванні до 8000 починається електрична реакція титану з азотом з утвором нітридів TiN . Титан активно розчиняє водень. Тому стикове зварювання титану і його сплавів бажано проводити в середовищі нейтрального газу (аргону).

Точкове й роликове зварювання титану і його сплавів дає цілком задовільні результати.

По своїх фізичних і механічних властивостях, а також електропровідності титан близький до аустенітної сталі. Він зварюється при помірних струмах і відносно великому тиску.

Розділ 2. Технологія різних способів контактного зварювання.

Стикове зварювання.

Застосовується:

1. Для одержання із прокату довгих заготовок або виробів, наприклад, зварювання стиків труб, зварювання рейкових стиків, зварювання кінців дроту при її безперервній волочінні.
2. Зварювання виробів замкненої форми, наприклад, ободів коліс, ланок ланцюгів.
3. Для економічного утвору виробу складної форми із простих штампованих деталей
4. Для економії високолегованої сталі в інструментальній промисловості (робоча частина інструмента зі швидкорізальної сталі, зварюється із хвостовиком з маловуглецевої сталі) і т.д.

Умовами одержання якісної сполуки при будь-якому різновиді стикового зварювання є:

1. Рівномірний прогрів деталі по перетину.
2. Захист зони зварювання від окиснення або забезпечення видалення зі стику продуктів окиснення.
3. Забезпечення рівних умов нагрівання й пластичної деформації для обох деталей.

1. Зварювання опором.

При зварюванні опором зазначені вище умови можуть бути виконані тільки при швидкім нагріванні щільно притиснутих друг до друга деталей і значної пластичної деформації зони сполуки. У зв'язку із цим зварювання опором застосовується тільки для деталей невеликого перетину (до 200 мм²).

Основними параметрами стикового зварювання є:

Зварювальний струм $I_{зв}$, час зварювання $t_{зв}$, настановна довжина (відстань від торця деталей до токопідводячого затиску), зусилля осаду $P_{ос}$, величина осідання.

Зварювальний струм і тривалість зварювання зв'язані між собою. Для маловуглецевих і низьколегованих сталей щільність струму й час зварювання зв'язані наступною залежністю:

$$j \approx (12 - 15) + \frac{90 - 120}{t_{св}} (a / \text{мм}^2)$$

(час зварювання зазвичай перебуває в межах 0,5-10 сек.).

Настановна довжина значно впливає на умови нагрівання й пластичної деформації. При занадто малій настановній довжині неможливо нагріти метал у зоні стику до необхідної температури внаслідок інтенсивного тепловідводу в електроди. При великій настановній довжині зростають непродуктивні витрати енергії на нагрівання деталей поза зоною зварювання. Крім того, при осаді можливий вигин деталей і зсув торців.

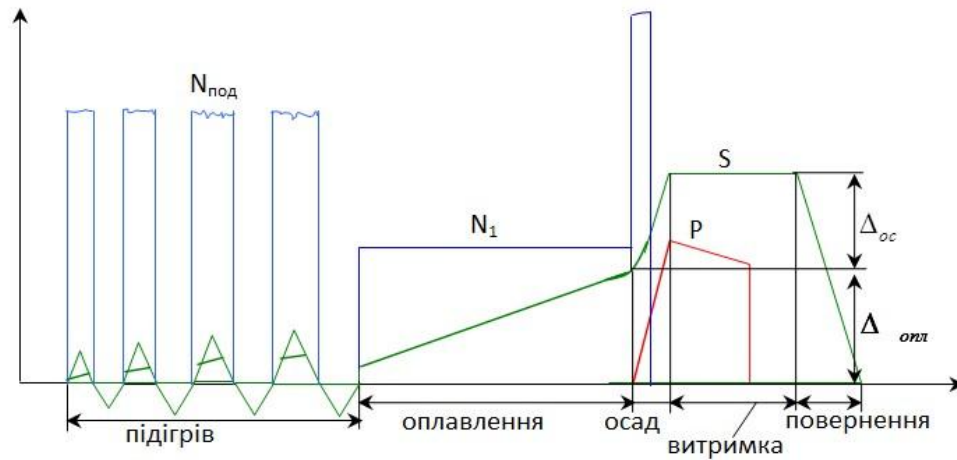
Настановну довжину вибирають по перетину деталей.

$$l_1 + l_2 = 1 - 1,2\sqrt{F}$$

(для сталей)

При зварюванні різномірних матеріалів метал з більшою теплопровідністю зварюється при більшій настановній довжині.

Зусилля осаду повинне забезпечувати необхідну пластичну деформацію. Питомий тиск при зварюванні маловуглецевих сталей вибирають у межах:



$$P=2-4 \text{ кг/мм}^2$$

При такому тиску й нагріванні зони зварювання до температури 1200-13000 пластична деформація становить для $F=20-100 \text{ мм}^2$ $\Delta=1,5-2 \text{ мм}$, $F=100-500 \text{ мм}^2$ $\Delta=2-3 \text{ мм}$.

Укорочення деталей при пластичній деформації компенсується припуском на осідання ($\Delta_{ос}$).

Деталі перетином більш $200-300 \text{ мм}^2$ іноді зварюють опором у захисних газах, наприклад у суміші азоту з воднем, очищеної від кисню.

Зварювання опалвленням.

Зварювання опалвленням є основним способом стикового зварювання.

Існує два способи стикового зварювання опалвленням: зварювання безперервним опалвленням і зварювання опалвленням з попереднім підігрівом.

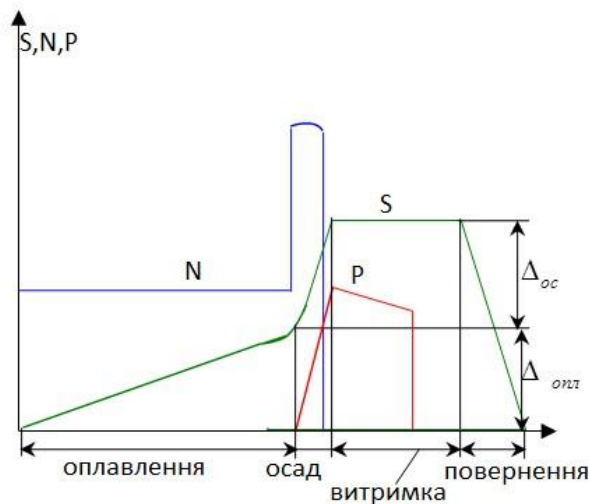
Процес зварювання безперервним опалвленням складається із двох стадій опалвлення й осаду.

S – переміщення рухливої плити машини;

N – потужність, виділювана в стику;

P – зусилля стиску деталей.

Зварювання опалвленням з попереднім підігрівом складається із трьох стадій: підігріву, опалвлення й осади.



Попередній підігрів зазвичай здійснюється в самій машині шляхом пропускання через деталі струму від зварювального трансформатора. Підігрів здійснюється при зворотно-поступальній переміщенні рухливої плити машини. При зближенні деталей і їх стиску із зусиллям P зварювальний ланцюг і через деталі протікає струм, що здійснює їх нагрівання. Найбільше інтенсивно розігріваються торці деталей. При зворотному русі плити ланцюг розмикається й відбувається вирівнювання температур у деталях внаслідок теплопередачі від торців углиб деталей.

Зазвичай при підігріві короткі імпульси (0,5-2 сек.) чергуються з паузами приблизно такої ж тривалості.

Процес оплавлення при обох способах триває до одержання на торцях деталей тонкого шару розплавленого металу. При осаді цієї забруднений окислами метал витісняється зі стику з утвором грота, а розташований під ним чистий метал пластично деформується й зварюється.

Для забезпечення достатньої пластичної деформації деталі повинні бути добре прогріті по довжині досить широкої окоlostикової зони. При зварюванні безперервним оплавленням нагрівання деталей здійснюється в основному шляхом теплопередачі від торців, де відбувається основне тепловиділення.

Попередній підігрів сприяє більш рівномірному прогріву деталей по довжині й поліпшенню умов пластичної деформації.

Основними параметрами режиму стикового зварювання оплавленням є:

- температура попереднього підігріву $T_{\text{під}}$,
- час підігріву $t_{\text{під}}$:
(тривалість імпульсів і пауз і їх кількості),
- швидкість оплавлення $V_{\text{опл}}$,
- припуск на оплавлення $\Delta_{\text{опл}}$,
- струм оплавлення $I_{\text{опл}}$,
- вторинна напруга холостого ходу U_{20} ,
- настановна довжина $l_1 + l_2$,
- припуск на осідання $\Delta_{\text{ос}}$,
- швидкість осади $V_{\text{ос}}$,
- зусилля осади $P_{\text{ос}}$.

Температура підігріву для сталевих деталей середнього перетину становить 700-9000С, а для великого перетину – 1100-12000С.

Тривалість підігріву росте зі збільшенням площі перетину й зменшенням потужності машини. Для деталей перетином 500мм² число імпульсів підігріву при потужності 150кВт дорівнює 4-6 загальною тривалістю 6 сек., а для деталей перетином 15000мм² при потужності 600-700кВт число імпульсів доходить до 100 загальною тривалістю 150сек.

Швидкість оплавлення впливає на процес у такий спосіб: з однієї сторони збільшення швидкості оплавлення приводить до звуження зони інтенсивного розігріву, з іншої сторони сприяє більш рівномірному оплавленню торців деталей по перетину, швидкість оплавлення залежить від температури попереднього підігріву й росте пропорційно використовуваній потужності.

$$V = \frac{0,24I^2R}{\gamma \cdot cF(T_0 - T_n)} \text{ мм/сек ,}$$

де c – питома теплоємність, кал/г·град;

T_0, T_n – середня температура деталей у момент закінчення процесу оплавлення спочатку процесу ($T_0 \approx 20000\text{C}$);

I^2R – потужність, виділювана в зоні зварювання; F – площа оплавлюємих деталей, мм; γ – питома вага, г/см³.

Швидкість оплавлення зазвичай вибирають у межах 1-3 мм/сек. Часто швидкість оплавлення змінюють у процесі оплавлення, спочатку процесу $V_{\text{опл}}=0,2-1$ мм/сек, а до кінця процесу зростає до 2-4 мм/сек, а при високопродуктивних режимах до 4-6 мм/сек.

Середня швидкість оплавлення деталей з маловуглецевої сталі становить 1-2,5 мм/сек, а в легованих – 2,5-3,5 мм/сек і більше.

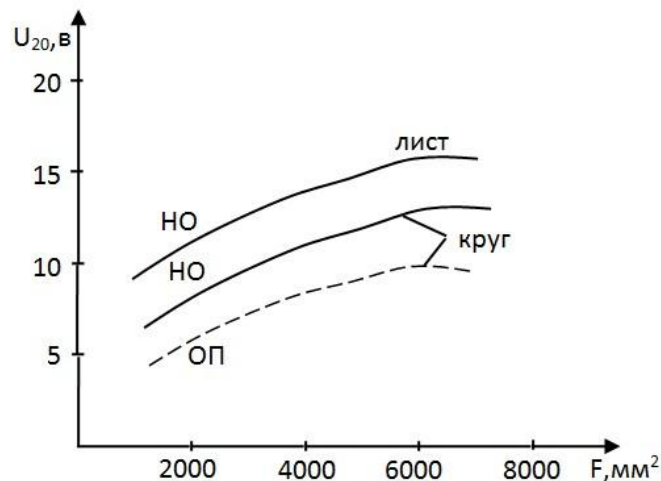
Припуск на оплавлення вибирають таким, щоб забезпечити на оплавлення одержання на торцях деталей шару розплаву й достатній прогрів деталей в околостиковій зоні $\Delta_{\text{опл}}$ залежить від перетину деталей. При зварюванні з підігрівом $\Delta_{\text{опл}}$ на 30-50% нижче, чим при безперервному опавленні.

Необхідна потужність при зварюванні сталей безперервним оплавленням орієнтовно дорівнює 0,2-0,3 кВт/мм², а при зварюванні з підігрівом 0,1-0,2 кВт/мм².

Щільність струму при опавленні зазвичай становить 2-6 а/мм² для сталей – 5-12 а/мм² і для алюмінієвих сплавів.

При високопродуктивних режимах щільність струму досягає 10-20 а/мм² для алюмінієвих сплавів.

Вторинна напруга холостого ходу зварювального трансформатора U_{20} вибирають із урахуванням форми деталі (аркуш, коло, квадрат), площі її поперечного переріза, фізичних властивостей матеріалу.



Н. О. – безперервним оплавленням

О. П. – оплавлення з підігрівом.

Настановна довжина l_1+l_2 при зварюванні сталевих прутків і труб приблизно дорівнює $(0,75-1)d$, а для листів $(4-5)\delta$.

Метали з великою теплопровідністю зварюють із більшою настановною довжиною. Для збереження твердості частина настановної довжини деталей закріплюється ізолюваними від струму губками.

Припуск на осідання Δ_{oc} повинен бути таким, щоб забезпечити повне закриття зазору між торцями деталей, повне витиснення всього розплавленого металу зі стику й пластичну деформацію зони сполуки. Припуск на осідання росте зі збільшенням перетину деталей. При опавленні з підігрівом припуск на осідання в 1, 5-2 рази більше, чим при безперервним опавленні. Δ_{oc} для сталевих деталей перетином 100-1000мм² лежить у межах 2-10мм.

Швидкість зварювання вибирають виходячи з умов попередження кристалізації й окиснення розплаву. Зазвичай швидкість осаду вибирають у межах: для маловуглецевої сталі 30-60 мм/сек, високолегованих сплавів 60-100 мм/сек, алюмінієвих сплавів і інших легкоокислюваних металів 100-200мм/сек.

Питомий тиск при осаді залежить від перетину деталей, їх матеріалу й умов нагрівання.

При зварюванні безперервним оплавленням необхідний питомий тиск осадки становить: для низьковуглецевих сталей $5-10 \text{ кг/мм}^2$, для низьколегованих сталей $10-12 \text{ кг/мм}^2$, для аустенітних сталей $15-20 \text{ кг/мм}^2$.

При зварюванні з підігрівом необхідне зусилля осадки приблизно в 1, 5 рази нижче. Таблиця.

Орієнтовна тривалість зварювання оплавленням деталей з маловуглецевої сталі й припуски.

Коротка технологія стикового зварювання деяких деталей.

Параметри режиму стикового зварювання зазвичай вибирають за досвідченими даними (таблицям, графікам, номограмам) з наступним контролем якості сполуки й коректуванням режиму.

Безперервним оплавленням зварюють деталі перетином до 1000 мм^2 або деталі великого перетину з більшим відхиленням їх периметра до площі (аркуші, труби і т.д.).

При програмній зміні напруги (висока напруга на початку процесу знижується, а наприкінці знову підвищується) безперервним оплавленням можна зварювати також деталі компактного перетину площею більш 1000 мм^2 .

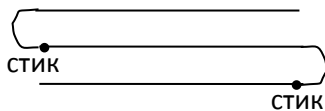
Підігрів перед оплавленням, що розширює зону нагрівання,

застосовують для зварювання матеріалів, що інтенсивно гартуються, і для зварювання деталей великого перетину.

Підігрів знижує необхідну електричну потужність, зменшує припуск на оплавлення, попереджає кристалізацію розплаву й сповільнює охолодження деталі.

Стикове зварювання труб.

Стикове зварювання оплавленням труб широко застосовується в казанобудуванні, апаратобудуванні, а також при будівництві трубопроводів.

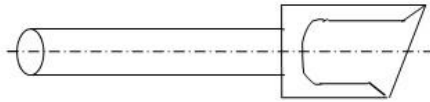


Змійовики із труб діаметром 25-42 мм зварюються з попередньо загнутих елементів, а іноді вони виходять шляхом гнучкі батоги, довжиною 40 м і більш, звареної із прямих труб.

Для забезпечення прохідного отвору в стикі внутрішній гріт і висаджений у стик метал повинні бути повністю вилучені.

При зварюванні оплавленням прямих труб з вуглецевої і низьколегрованої сталі, грат видаляють продувкою стиків нейтральними газами при оплавленні або повітряно-киснево-повітряною сумішшю після осідання початку й тривалість продувки повітряно-киснево-повітряною сумішшю для попередження вимивання металу зі стиків суворо регламентують.

При приварюванні фланців можлива проточка гота на токарських верстатах.

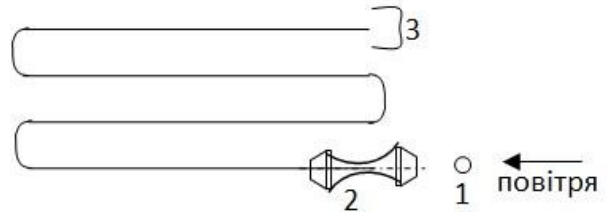
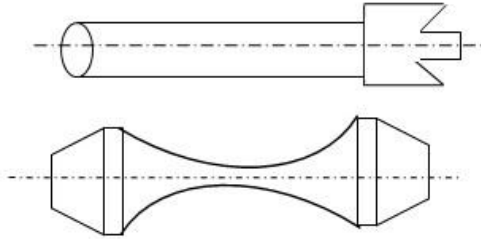


У трубах з високолегованих сталей гарячий грат видаляють протяганнями, що полягають із серії кільцевих різців або дорнами зі зміщеними ріжучими крайками, які дозволяють зменшити зусилля різання

й розділяють грат.

При зварюванні гнутих елементів для видалення грата може застосовуватися снаряд, криволінійний профіль, якого полегшує його прохід через вигини труб.

Негайно після зварювання стику в змійовик подається стиснене повітря (6-8 атм.) ущільнююча куля, що захоплює з великою швидкістю, 1 і загартований сталевий снаряд 2, що зрізує при своєму русі гарячий грат. У протилежного кінця змійовика



встановлюється гарматовпіймач 3.

Зовнішній грат видаляють спеціальними кліщами або зрізують рознімними заставними кільцями, що зрушуються уздовж труби. Для труб великого діаметра часто застосовують токарську обробку грата обертовими або стаціонарними голівками.

Режим зварювання труб безперервним оплавленням на машині ЦСТ-200М.

сталь	d, мм	δ , мм	U_{20} в	$\Delta_{\text{опл}}$, мм	$V_{\text{опл}}$ мм/сек	$t_{\text{опл}}$ сік	$\Delta_{\text{ос}}$, мм
20	25	3	6,5-7	11-12	1,37-1,5	8	3,5
	32	4	6,5-7	15	1,25	13	4,5-5
	38	4	6,5-7	15	1,07	14	4,5-5
1X18H12T	25	3	6,5-7	11-12	1,37-1,5	8	4
	32	4	6,5-7	15	1,07	14	5

$$l_1 + l_2 = 60-70 \text{ мм}$$

Стикове зварювання смуг.

Смути зварюються в машинах із плоскими губками. Якість сполуки залежить від точності обрізки смуг і їх установки в губках.

Настановна довжина через малу твердість теж вибирається мінімально можливою.

$$l_1 + l_2 = \Delta_{\text{опл}} + \Delta_{\text{ос}} + \Delta_{\text{к}}$$

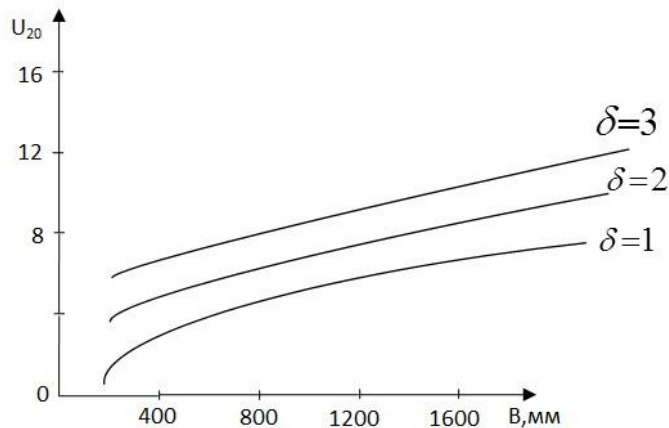
$\Delta_{\text{к}}$ – кінцева відстань між губками, яке зазвичай становить (2,5-3,5) δ .

Режим зварювання смуг з низьковуглецевої сталі.

δ , мм	$\Delta_{опл.}$, мм	$\Delta_{ос.}$, мм	$\Delta_{к.}$, мм	$V_{опл.к.}$, мм/сек
0,5	2,5	1,8	0,5	6
1	6	2,5	4	5,5
2	9	3	8	5

$P_{ос}=8-10\text{кг/мм}^2$; $V_{ос} \geq 80\text{мм/сек}$;

U_{20} залежно від товщини δ ширина смуг визначається із графіків:



Для знімання грата використовують різцові або плужкові гратознімачи. Грат різцевим гратознімачем знімається уздовж стику різцями в гарячому стані в машині або поза неї. Плужковий гратознімач знімає грат при протягненні стику між ніжами.

Грат на смугах з легованих сталей видаляють шліфуванням.

Для тонких смуг ($\delta \leq 1\text{мм}$) використовують примусову формовку або опресовування грата.

Стикове зварювання стрижнів і дротів.

Дріт діаметром до 5-8 мм частіше зварюють **опором**, а іноді безперервним оплавленням. **Дроту** й стрижні великого діаметра зварюють безперервним оплавленням або оплавленням з підігрівом. При **зварюванні** дротів особливе значення має їхнє центрування, що допускається зсув осей не повинен перевищувати $(0,05-0,07)d$. У деяких випадках для центрування **використовують**, центруючи ізольовані від **струму** вставки.

Настановна довжина дротів з $d < 8$ зі сталі **становить** $1,4d$, алюмінію $3d$, міді $4d$.

Режими зварювання оплавленням стрижнів і дротів.

d , мм	F , мм²	$\Delta_{опл.}$, мм	$\Delta_{ос.}$, мм	l_1+l_2 , мм	$t_{опл.}$, сек
5	19,6	2,5	1,0	8,5	1,5
10	78,6	5	2	17	3,25
20	314	10	3,5	33,5	9
40	1256	20	5,5	65	40

Точкове і рельєфне зварювання.

Точковим зварюванням з'єднують листові конструкції з однорідних і різнорідних чорних і кольорових металів. Точкове зварювання широко застосовується при виготовленні штампозварювальних конструкцій, у яких дві або більш деталей, штамповані з листа зварюються у твердий вузол (наприклад, підлога легкового автомобіля, кабіна вантажівки і т.д.). Точками часто зварюються каркасні конструкції, коли до твердого каркаса приварюється обшивка (наприклад, боковина й дах пасажирського вагона, бункер комбайна і т.д.). Широко застосовується точкове зварювання пересічних стрижнів діаметром до 25 мм і більш при виготовленні арматур залізобетонної у вигляді сіток і каркасів.

Точкове зварювання застосовується в основному при виготовленні вузлів з листів щодо невеликої товщини (до 2,5 - 4 мм). Іноді застосовується зварювання вузлів з листів товщиною 5 – 10 мм і більш.

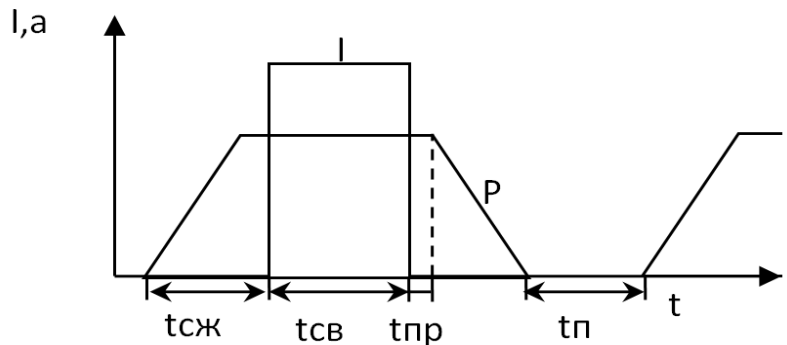
Точкові контактні машини мають потужність від кількох сотень ватів до тисячі кВт. При зварюванні в масовім виробництві з більшою кількістю точок (арматурному стільнику, вузлів автомобіля й ін.). Успішно застосовуються багатоточкові машини. Загальна потужність такої машини нерідко перевищує 1000 кВт.

Сучасні машини здійснюють зварювання по автоматизованому циклу.

Процес точкового зварювання.

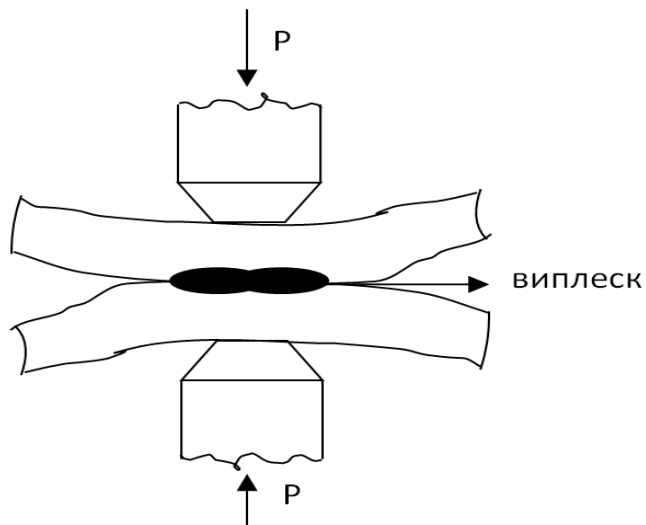
Процес зварювання точки складається з наступних етапів:

- 1) попередній стиск,
- 2) зварювання,
- 3) проковування,
- 4) пауза, необхідна для переміщення виробу на 1 крок.



Точкове зварювання завжди починається з попереднього стиску деталей для забезпечення гарного контакту. Якщо при включення струму зусилля P , що розвивається електродами, недостатнє, то контактні опори великі й на них майже миттєво виділяється дуже велика кількість тепла; метал у контакті швидко плавиться й викидається у вигляді іскор; відбувається так званий первинний виплеск.

Рідкий метал, здавлений у ядрі, частково викидається – відбувається виплеск.



Виплеск спостерігається на початку процесу при занадто швидкім нагріванні й недостатньому P (метал плавиться до утвору ущільнюючого кільця або до кінця надмірного нагрівання, коли через значне збільшення діаметра ядра його тонка оболонка прогинається, росте гідростатичний тиск у ядрі й кільце переривається).

При зварюванні з розплавленням ядра кристалізація металу в ньому супроводжується з усадкою з можливим утвором раковин і пор. Обтиснення металу, що кристалізується, сприяє його ущільненню. Тому зняття тиску з електродів повинне запізнюватися щодо моменту вимикання струму на час $t_{пр}$ достатнє для завершення кристалізації ядра.

Вплив основних параметрів процесу на нагрівання і якість звареної точки.

Основними параметрами режиму точкового зварювання є: зварювальний струм $I_{зв}$, час його протікання $t_{зв}$, зусилля стиску при зварюванні P і проковування $P_{пр}$, розміри робочої поверхні електрода d_e (при циліндричних електродах) або R_e (при сферичних електродах), а також час стиску $t_{ст}$ і час проковування $t_{пр}$. На якість зварювання впливає також стан поверхні деталі.

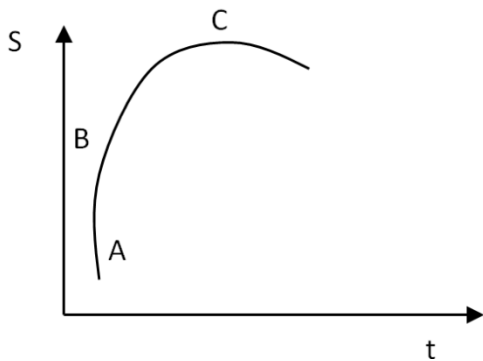
Діаметр робочої поверхні електродів залежить від товщини деталей, що зварюються, і пов'язаний з нею наступною наближеною залежністю:

$$d_s = 2\delta + 3 \text{ мм}$$

де δ - товщина більш тонкої з деталей, що зварюються.

Час протікання струму $t_{зв}$.

Залежність міцності точки від часу зварювання при сталості інших параметрів процесу має вигляд:



Крива має круту ділянку А В, що відповідає, як показують злами зразків, зварюванню без розплавлення, і полого ділянку ВР відповідний до зварювання з розплавленням ядром, що поступово збільшується.

Максимальний діаметр розплавленого ядра, що досягається в точці С зазвичай пов'язаний з діаметром електрода наступною залежністю:

$$d_m = (0,9 - 1,4)d_e$$

Подальше нагрівання недоцільне через значний виплеск і вм'яття поверхні деталей, що знижують міцність з'єднання. Граничний діаметр ядра тим більше, чим, товстіше зварюється матеріал і чим м'якше режим.

Точки стабільної міцності одержують тільки при зварюванні з розплавленням, тому що при зварюванні без розплавлення через крутість ділянки АВ навіть незначні коливання часу зварювання або інших параметрів, що впливають на нагрівання, неминучі на виробництві, значно змінюють їхню міцність. Кращі результати дають режими близькі до точки С.

Аналогічний вид мають графіки залежності міцності струму від величини зварювального струму $I_{зв}$ при $t_{зв} = \text{const}$ і сталості інших параметрів.

$$I_{зв} = \sqrt{\frac{Q_{ee}}{m_r R_{окон} t_{cd}}}$$

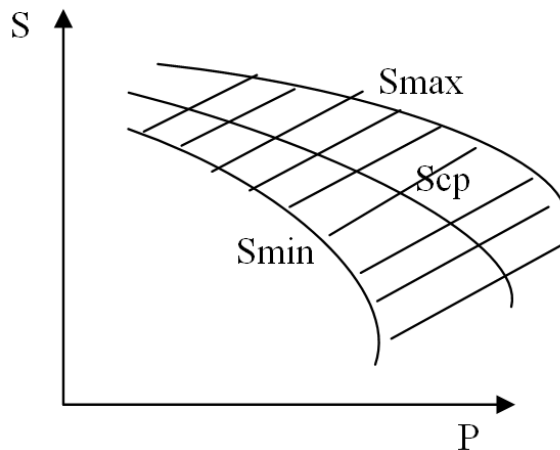
Стан поверхні деталей, що зварюються.

Стан поверхні деталей, що визначають контактний опір, суттєво впливає на розподіл тепла при зварюванні й, як наслідок, на розмір і міцність точок.

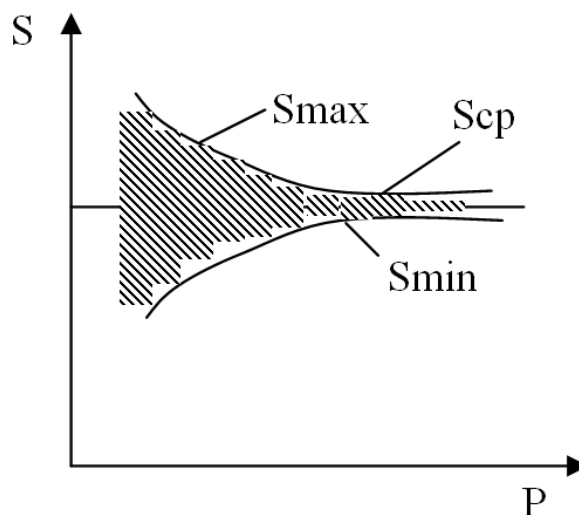
Як правило, точкове зварювання неочищеного металу небажано, тому що при цьому розміри й міцність точок нестабільні. Значний опір контакту електрод-деталь, при неочищених деталях, викликає перегрів і швидке зношування електродів. Особливу небезпеку представляє іржа тому що при нагріванні з неї виділяється водень, який інтенсивно розчиняється в розплавленім ядрі металу й сприяє утвору пор і гарячих тріщин. Крім того, великий зміст газів у розплавленім ядрі сприяє появі значних виплесків. Тому деталі перед зварюванням зазвичай зазнають механічному очищенню або плавленню.

Зусилля на електродах.

Зусилля P – одно з найвпливовіших параметрів точкового зварювання, що виявляє двоякий вплив на його результати: воно регулює інтенсивність нагрівання в зоні зварювання й визначає ступінь її пластичної деформації. Зі збільшенням P зменшуються контактні й власні опори деталей і знижується щільність струму в них. Тому при сталості інших параметрів процесу ($t_{зв}$, $I_{зв}$, d_e) збільшення P сповільнює нагрівання й приводить до зменшення розміру й міцності точок, при одночаснім зниженні їх стабільності.



Однак, якщо підвищення зусилля P на електродах супроводжується таким збільшенням $I_{зв}$ або $t_{зв}$, що середні розміри й міцність точок залишаються без змін $S_{cp} = \text{const}$, то з ростом P міцність точок стає більш стабільною.



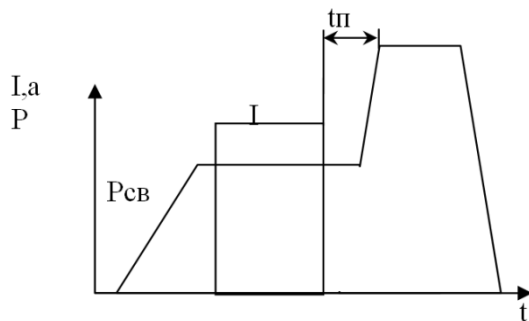
При зварюванні частина зусилля P на електродах завжди затрачається на попереднє деформування нещільно зібраних деталей для утвору між ними контакту. При цьому зусилля P' , що діє безпосередньо в контакті, менше зусилля P . Чим більше P , тим не постійне по величині зусилля, необхідне для деформування деталі, тим менше

позначається на зусиллі P' , що розвивається в контакт і тим стабільніше умови зварювання. Тому, точкове зварювання розвивається по шляху застосування все більших зусиль P у комбінації з потужними машинами.

Питомий тиск електродів при осаді, достатній для ущільнення ядра при кристалізації, залежить від властивостей матеріалу, що зварюється, його товщини й режиму зварювання. Чим вище його опір пластичної деформації, тим більше цей тиск. Наприклад, при зварюванні низьколегованих сталей він вище, чим при зварюванні маловуглецевих сталей; при зварюванні нержавіючих сталей і жароміцних сплавів він ще більше.

Необхідний питомий тиск швидко росте зі збільшенням товщини деталей внаслідок подовження процесу кристалізації металу в ядрі й захоплення товщини твердої оболонки між ядром і поверхнею деталей.

При цьому в центрі ядра кристалізація завершується при більш низькій температурі поверхні деталей, що утрудняє пластичну деформацію. Цей тиск росте також зі зменшенням $t_{зв}$ (при зварюванні на «твердих» режимах). Інтенсивно нагрітий стовпчик діаметром d_e деформується електродами, як би оточений матрицею діаметром $D_{із}$ щодо холодного матеріалу, внаслідок чого ядро перебуває в об'ємно-напруженому стані, що ускладнює пластичну деформацію. Чим менше $t_{зв}$, тим менше зона розігріву (менше D) і жорсткіше матриця, тим суцужніше деформувати ядро. Якщо для ущільнення ядра потрібен тиск, що ускладнює нагрівання деталей, що зварюються, через зменшення контактних опорів і щільності струму, то його створюють тільки на час кристалізації ядра у вигляді кувалдового тиску.



Проковочний тиск $P_{пр}$ повинен іти за вимиканням струму через невеликий інтервал часу $t_{п}$. При великій запізнюванні ($t_{п} \geq 0,2$ сек) воно даремно, а при $t \leq 0$ можливе видавлювання розплавленого металу з ядра – відбувається виплеск, супроводжуваний глибоким вмиванням на поверхні деталей.

Проковування приводить до наклепу в зоні звареної точки, що помітно підвищує втомну міцність з'єднання.

Час стиску $t_{см}$ повинен бути достатнім для стиску деталей електродами машини й наростання зусилля до необхідного значення P_d . Воно залежить від відстані між електродами (розчину хоботів) машини й для машин із пневматичним приводом перебуває в межах 0,2-2 секунди.

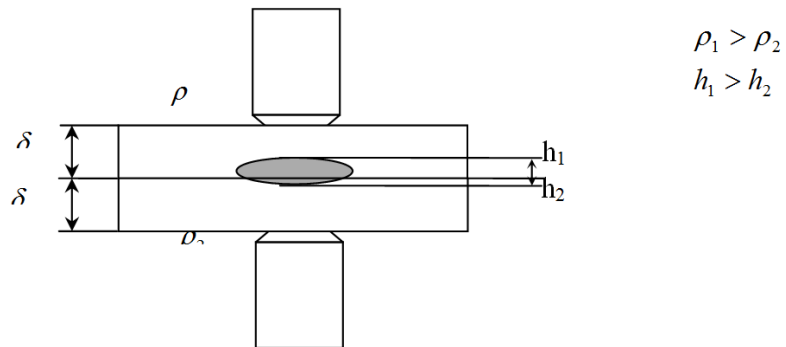
Час проковування $t_{пр}$ повинен бути достатнім для завершення кристалізації розплавленого металу в ядрі, однак менше часу, необхідного для повного остигання деталей, затиснутих між електродами. Умови охолодження звареної точки можуть суттєво впливати на її механічні властивості. Охолодження завжди починається між електродами й закінчується, як правило, на повітрі. Через інтенсивний відвід тепла швидкість охолодження в електродах значно вище швидкості охолодження на повітрі. Це особливо помітно при зварюванні тонкого металу (наприклад, сталі товщиною 1-2 мм).

Тому затягування проковочного тиску може приводити до крихкості точок через їхнє загартування. Наприклад, при зварюванні сталі, що містить 0,2% С товщиною 1,5 мм при збільшенні $t_{пр}$ із 0,1 до 1,5 секунди руйнування точки при випробуванні замість пластичного ставало крихким.

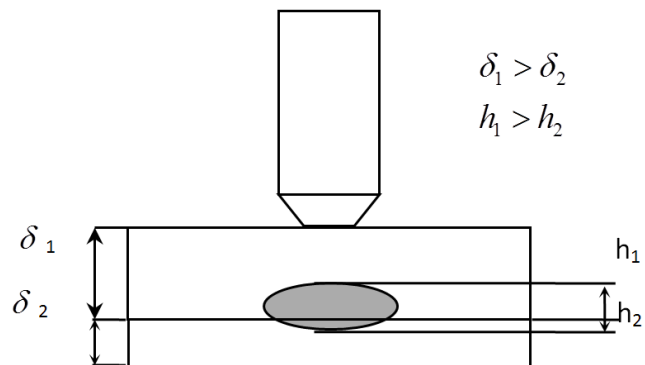
На температурне поле в зоні зварювання й, як наслідок, на розмір ядра й міцність точки можуть впливати також наступні фактори:

а) неоднаковий питомий опір деталей, що зварюються. Деталь із більшим ρ проплавляється на більшу глибину. Ядро зміщається в деталь із більшим ρ .

б) неоднакова товщина деталей.

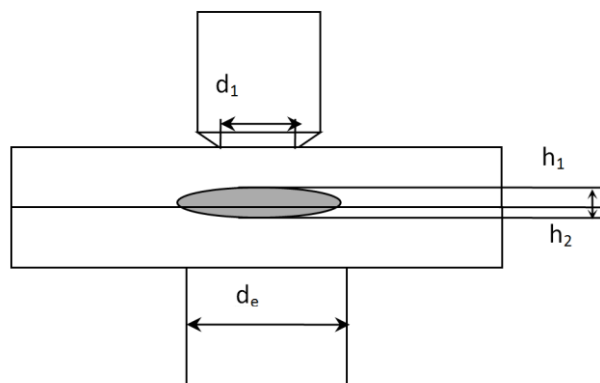


У цьому випадку при однаковому діаметрі електродів ядро зміщається в деталь більшої товщини, тому що в цій деталі виділяється більше тепла й менш інтенсивний його відвід до електрода.



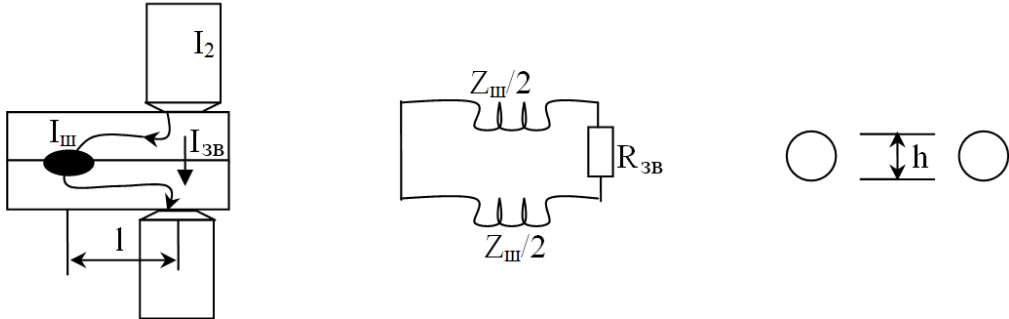
в) неоднаковий діаметр електродів.

Ядро зміщається до електрода з меншою контактною поверхнею, де вище щільність струму.



Шунтування струму при точковому зварюванні.

Під шунтуванням розуміють відгалуження струму, через раніше зварені точки або випадкові контакти.



$$I_2 = I_{зв} + I_{ш}$$

$$I_{ш} = I_{зв} R_{зв} / Z_{ш}$$

$$R = K_{\Pi} \rho_T \frac{2l}{h\delta}$$

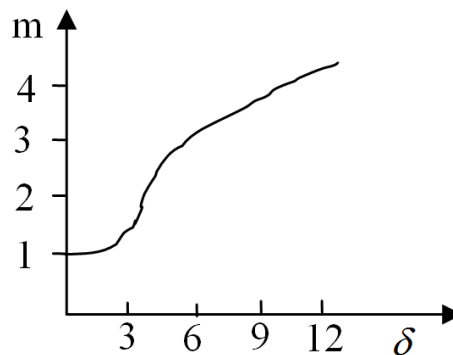
$$Z_{ш} = \sqrt{(mR_{ш})^2 + X_{Lш}^2},$$

де $X_{Lш}$ – індуктивний опір шунта

m – коефіцієнт поверхневого ефекту

$$X_{Lш} = 0, \text{ тоді } Z_{ш} = mR_{ш}$$

Коефіцієнт поверхневого ефекту m залежить від товщини деталей.



Графік залежності m від δ для сталей.

При зварюванні сталі товщиною менше 1 мм можна вважати $m=1$.

При шунтуванні через суміжну точку діаметром d_T , розташовану із кроком S у деталях товщиною δ й шириною b з питомим опором ρ_T

$$R_{\text{ш}} = K_{\text{п}} \rho_T \frac{2l}{h\delta}$$

$$R_{\text{ш}} = 2 R'_{\text{ш}} \frac{\rho_T}{\delta}$$

Безрозмірний параметр $R'_{\text{ш}}$ залежить від безрозмірних параметрів S/d_m і S/b .

Опір шунта зменшується зі збільшенням товщини деталей δ і зі зменшенням кроку точок S , тоді як опір зони зварювання $R_{\text{зв}}$ росте зі збільшенням δ . Ступінь шунтування зростає зі збільшенням товщини деталей і зі зменшенням кроку точок.

Для сталевих деталей товщиною ≤ 1 мм шунтуванням зазвичай можна зневажити. При товщині деталей 3 мм і більше струм шунтування може досягати $(0,3-0,4)I_{\text{зв}}$.

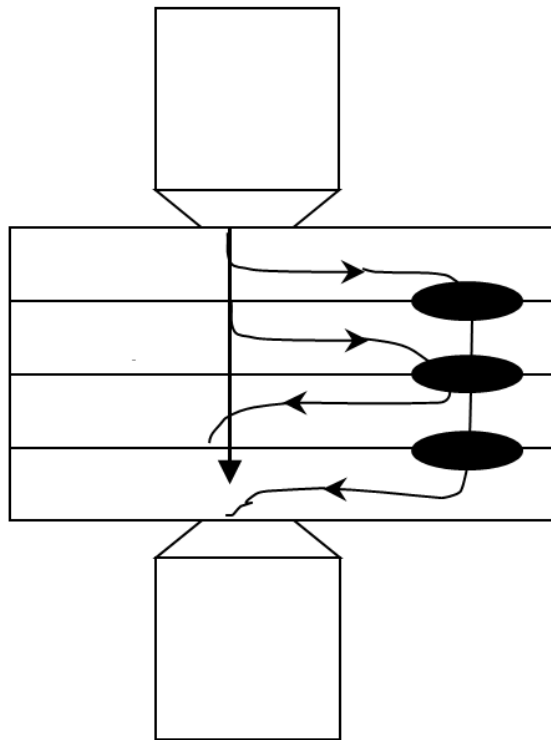
Особливо сильно проявляється шунтування при сусідстві точки, що зварюється, з декількома раніше звареними. Тому, важливу роль відіграє послідовність постановки точок. Наприклад, при зварюванні арматурної сітки із прутків діаметром 6 мм у послідовності по спіралі міцність останньої 36^ї точки, оточеної 4^{ма} раніше звареними точками, становить усього (0,3-0,4) від міцності першої.

14	15	16	17	18	1
13	26	27	28	19	2
12	25	30	29	20	3
11	24	23	22	21	4
10	9	8	7	6	5

При зварюванні тієї ж арматурної сітки послідовність рядами міцність будь-якої точки не нижче чому (0,8-0,9) від міцності першої.

1	2	3	4	5	6
7	8	9	10	11	12
13	14	15	16	17	18
19	20	21	22	23	24
25	26	27	28	29	30

Шунтування інтенсивне проявляється при зварюванні декількох деталей у пакеті. Тому при проектуванні конструкції необхідно прагнути до того, щоб якість деталей, що сходяться у вузлі, була мінімальна.

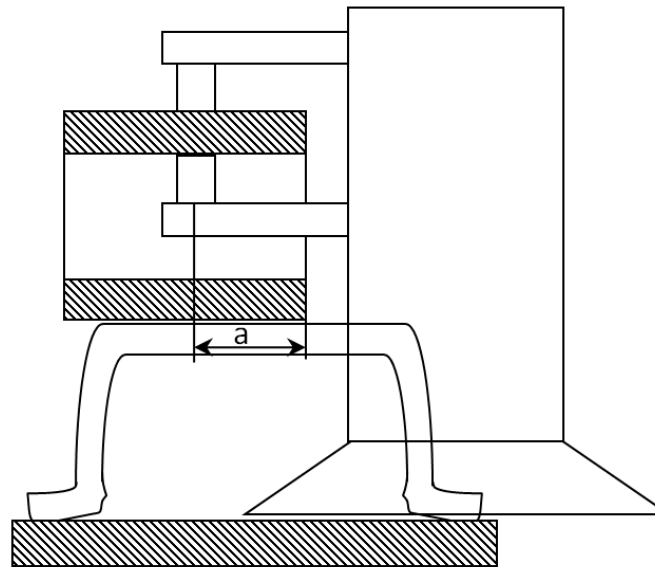
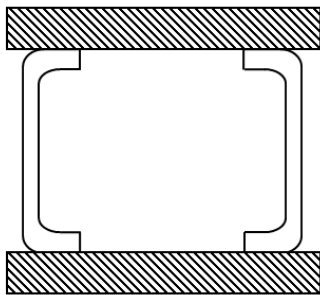


Шунтування особливо велике при зварюванні алюмінієвих сплавів з малим питомим опором і високим контактним опором плівки Al_2O_3 . Тому мінімальний крок точок при зварюванні цих сплавів більший, чим при зварюванні сталі тієї ж товщини.

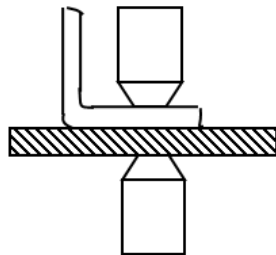
Конструктивне оформлення вузлів при точковому зварюванні.

Конструктивні вимоги до вузлів визначаються технологічним процесом зварювання й застосуванням устаткування. Спеціальне устаткування й пристосування дозволяють зварювати вироби дуже складної форми. При використанні універсального обладнання й найпростіших пристосувань бажано враховувати наступне:

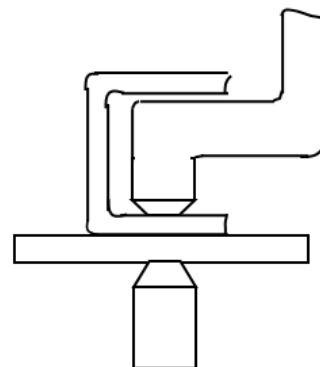
а) перетин деталей і пристосувань із магнітної сталі, що вводяться в контур машини, повинні бути мінімальними, тому що магнітна сталь, уведена в контур, збільшує його опір і знижує зварювальний струм. Зі зміною **а** змінюються умови зварювання, що веде до нестабільності її результатів. Тому конструкція із магнітної сталі з відборткою доцільніше коробчатого вузла, що надівається при зварюванні на хобот машини.



б) усі точки по можливості повинні допускати застосування нормальних інтенсивно охолоджуваних електродів. Тому з'єднання по мал. а доцільніше з'єднання по мал. б.



а)

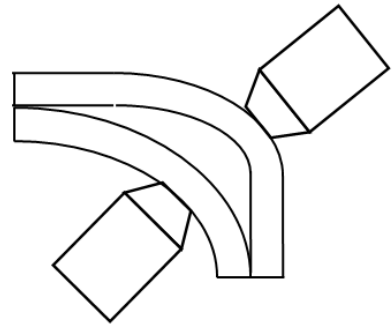
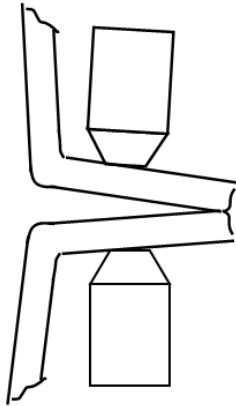


б)

в) бажано, щоб усі точки у вузлі можна було зварити в будь-якій послідовності, що полегшує боротьбу зі зварювальними деформаціями.

г) точки діаметром d_T не повинні розміщатися ближче, ніж на $1,5 d_T$ від краю деталі для запобігання видавлювання гарячого металу в крайки.

д) точки не повинні розташовуватися у важко деформуємих місцях.



Загальні особливості технології точкового зварювання.

При точковому зварюванні необхідно забезпечити високу й стабільну міцність з'єднань при мінімальних зварювальних деформаціях і високої продуктивності самого зварювання й пов'язаних з ним операцій.

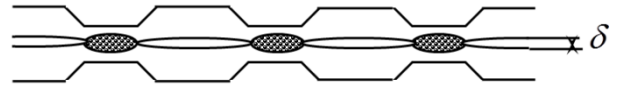
Точність звареного вузла забезпечується точною заготовкою й складанням деталей, відсутністю їх взаємного зсуву й більших деформацій при зварюванні. Неточна заготовка й погане складання спотворюють форму виробу й часто знижують продуктивність праці (через додаткове виправлення при зварюванні й після зварювання).

Деформації при точковому зварюванні бувають місцевими й загальними. Перші відбуваються поруч зі зварюємою точкою й зазвичай пов'язані з перегрівом місця зварювання – між деталями з'являється зазор δ , а поверхня деталей через глибокі вм'ятини здобуває вид стьобаної ковдри.

Загальні деформації зазвичай викликаються неоднаковим нагріванням



деталей. Наприклад, при зварюванні аркуша з невеликим косинцем останній прогривається сильніше й при остиганні кут помітно деформується.



При зварюванні великих і нежорстких вузлів (наприклад, обшивки вагона) можливі більші деформації й боротьба з ними – одне з головних завдань технолога.

Деформації зменшуються при твердих режимах зварювання, раціональній послідовності, надійнім закріпленні деталей при зварюванні (наприклад, при одночаснім їхньому затисненні більшою кількістю електродів у багатоточковій машині) і штучним охолодженні зони зварювання (наприклад, стисненням повітрям з розпиленою водою по способу МВТУ ім. Баумана).

Послідовність зварювання точок у вузлі встановлюється, так щоб зварити всі точки при мінімальнім шунтуванні струму. Починаючи зварювання із прихваток (точками), розміщують їх у місцях, що найбільше важко зварюються (поблизу ребер, на закругленнях і т.д.). Після прихватки інші точки бажано зварити підряд. Довгі з'єднання зварюються від середини до кінців.

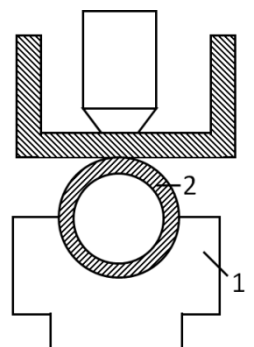
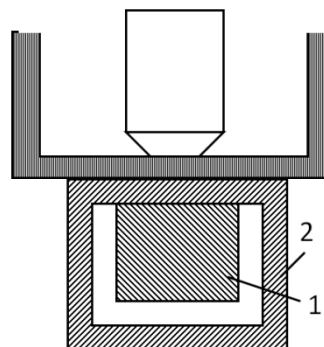
При зварюванні деталей неоднакової товщини режим визначається товщиною більш тонкої деталі зазвичай з невеликим збільшенням струму.

При зварюванні трьох деталей неоднакової товщини можливі два типові випадки:

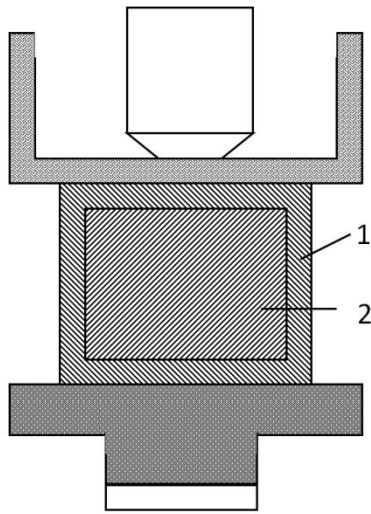
1) у середині розміщається товста деталь – режим вибирається по тонкій деталі з деяким збільшенням струму.

2) Тонка деталь затиснута між товстими – режим вибирається по товстій деталі зі значним зменшенням струму або $t_{зв}$.

Зварювання листових деталей із трубчастими можливе в трьох варіантах:



- 1) на підкладному електроді 1 (при достатній твердості труби 2)
- 2) на міднім оправленні 1 (при досить великому внутрішньому отворі й невеликій довжині деталі 2).



- 3) на підкладному електроді із заповненням нежорсткої деталі 1 легко плавким металом 2 (алюмінієм, цинком, звинцем), виплавленому після зварювання, а при більшій її твердості піском або парафіном.

Зварювання конструкційних сталей.

Холоднокатані сталі, не мають окалини й зазвичай не вимагають очищення перед зварюванням (якщо при зберіганні вони не поржавіли). У масовім виробництві відповідальних виробів деталі із цих сталей перед зварюванням знежирюють ацетоном, бензином або розчинником типу $\text{Na}_2\text{PO}_4(30\text{г})+\text{NaOH}(40\text{г})+\text{Na}_2\text{CO}_3(25\text{г})$ і промивають у гарячій (70-800С) і холодній воді.

Гарячекатана сталь покрита окалиною, а іноді й іржею. Зазвичай перед зварюванням вона очищається травленням у розчині $\text{H}_2\text{SO}_4(110\text{г})+\text{NaCl}(10\text{г})$ з нейтралізацією в розчині NaOH або KOH і промиванням у гарячій воді або механічно (наждаковим колом, напилками шкуркою, металевими щітками і т.д.). Кращі результати дає травлення.

Маловуглецеві сталі мало чутливі до термічного циклу зварювання й при товщині до 5 мм добре зварюються як при великий, так і при малій швидкості нагрівання (на твердих і м'яких режимах).

Щільність струму на м'яких режимах 80-60 а/мм², на твердих режимах 200-400 а/мм².

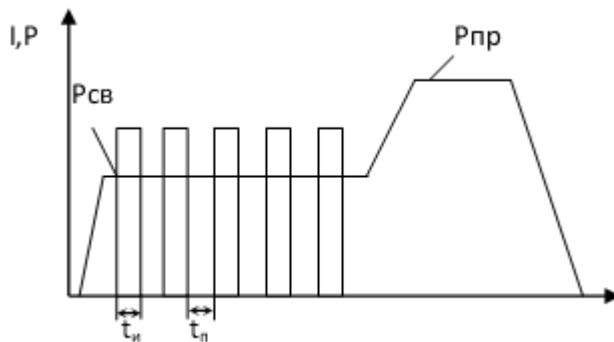
Діаметр електрода $d_3 = 2\delta + 3\text{мм}$, зусилля стиску (постійне при зварюванні й проковуванню) $P_{сж} = (100 - 200)\delta$. $P_{сж}=3-6\text{кг/мм}^2$ на м'які й $5-12\text{кг/мм}^2$ на твердих режимах.

Орієнтовні режими точкового зварювання низьковуглецевої холоднокатаної сталі.

δ , мм	d_3 , мм	Твердий режим			Середній режим			М'який режим		
		$P_{сж}$, кг	$I_{зв}$, кА	$t_{зв}$, сек	$P_{сж}$, кг	$I_{зв}$, кА	$t_{зв}$, сек	$P_{сж}$, кг	$I_{зв}$, кА	$t_{зв}$, сек
0,6	4	125	7	0,1	100	6	0,1	100	5	0,2

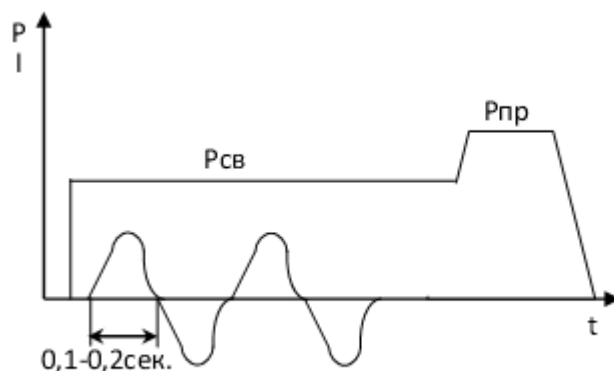
1,0	5	225	10,5	0,16	150	0,5	0,2	150	7,5	0,4
1,5	6,5	350	13	0,24	250	10,5	0,3	250	8,5	0,5
2	7,5	450	15	0,36	350	12,5	0,44	350	10,5	0,6

Деталі товщиною більше 5 мм зазвичай зварюють із підвищенням тиску при проковуванні $P_{пр}=(2-2,5)P_{зв}$. При цьому зазвичай використовується не один, а кілька імпульсів струму, що чергуються з паузами



Наприклад, маловуглецева сталь товщиною 8мм зварюється на машині потужністю 150 кВт 12-15 імпульсами струму тривалість 0,25-0,35 сек кожний з паузами 0,08-0,12 сек імпульсне включення струму поліпшує охолодження електродів і зменшує їхнє зношування. Деталі великої товщини доцільно також зварювати струмом низької частоти 3-5 гц. Для його одержання через зварювальний

трансформатор пропускаються імпульси випрямленого трифазного струму промислової



частоти. При низькій частоті пропорційне їй індуктивний опір машини дуже мало і тому знижується споживана потужність. Уведення в контур машини сталевих елементів практично не впливає на величину струму. Плавне наростання струму в кожному імпульсі зменшує перегрів і

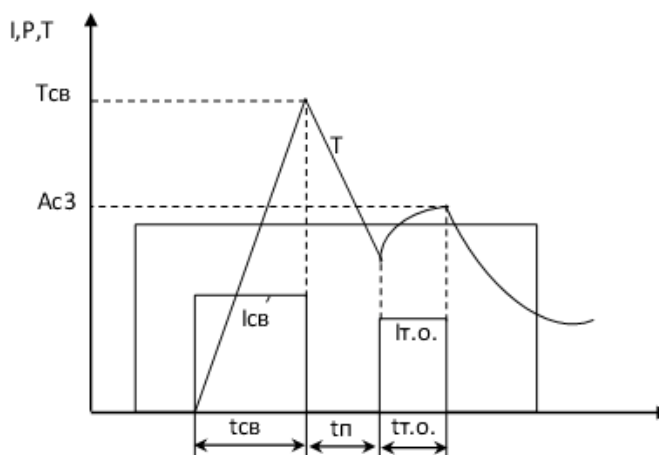
зношування електродів. Сталь товщиною 12 мм на низькочастотних машинах може зварюватися на наступному режимі: $I_{зв}=40000a$, $N=200кВт$, $t_{зв}=10-16сек$, $t_{пр}=3сек$, $P_{зв}=5000кг$, $P_{пр}=7500кг$. При цьому міцність точки досягає 20000кг.

Зварювання сталей, що гартуються.

Сталі, що гартуються при точковому зварюванні (вуглецева сталь зі змістом більш 0,20%С и низьколеговані сталі зі змістом більш 0,12%3) зварюються по трьом варіантам технології, що зменшують крихкість і небезпеку появи тріщин:

- 1) На «м'якому» режимі з наступної загальною термообробкою вузла.
- 2) На дуже «м'якому» режимі без наступної термообробки.

3) На «твердому» режимі імпульсом струму $I_{зв}$ із безпосередньо наступною за ним електродинамічною обробкою точки імпульсом струму $I_{т.о.}$.



Загальна дає найбільшу структуру й

термообробка однорідність властивостей,

але, як правило, знижує втомлювальну міцність через зняття наклепу в зоні зварених точок. Її застосування обмежується невеликими твердими вузлами. Недолік дуже «м'яких» режимів – знижена продуктивність і більші зварювальні деформації. Кращі результати забезпечує зварювання з електродинамічною обробкою.

Орієнтовні режими точкового зварювання сталей, що гартуються, марок 30ХГСА, 40ХНМА з наступною термообробкою в електродах машини.

δ , мм	$d_э$, мм	$P_{сж}$, кг	Імпульс зварювання		$t_{п,}$ с/к	імпульс термообробки	
			$I_{зв,ка}$	$t_{зв,сек}$		$I_{т.о.,ка}$	$t_{т.о.,сек}$
1	5-6	100	6	0,6	0,2	3	0,6
2	7-9	200	9	1,4	0,4	4,5	1,4
3	9-10	400	12	2,0	0,5	6	2,0

Точкове зварювання аустенітних сталей.

Хромонікелеві сталі типу 1Х18Н9 зварюють на твердих режимах із тривалістю в 1, 5-2 рази меншої, чому низьковуглецеві сталі. Тиск на електродах підвищується до 16 кг/мм², зварювальний струм через низькою тепло й електропровідність знижується на 30-40%.

Орієнтовні режими точкового зварювання стали типу 1Х18Н9

δ , мм	$d_э$, мм	$P_{сж}$, кг	$t_{зв,сек}$	$I_{зв,кА}$
------------------	---------------	------------------	--------------	-------------

0,5	4	90-180	0,04-0,08	3-4
1,0	5	200-400	0,10-0,16	4,5-6
2	8	450-700	0,20-0,28	6-10

Аустенітні сталі з підвищеним вмістом хрому й нікелю (наприклад, X23H18) зварюють на відносно «м'яких» режимах ($t_{зв}=0,8-1,5$ сек) щоб уникнути утвору гарячих тріщин, але при високих питомих тисках 18-22 кг/мм².

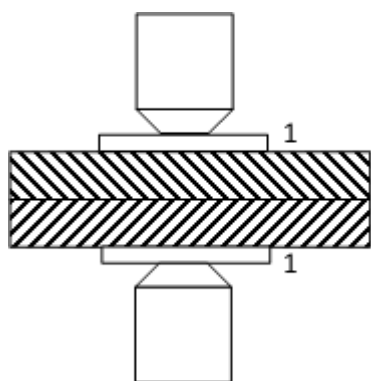
Аустенітні сталі добре зварюються з конструкційними. При цьому ядро точки зміщається в аустенітну сталь, що має більший питомий опір і більш низьку температуру плавлення.

Точкове зварювання кольорових металів і їх сплавів.

Алюміній і його сплави.

Чистий алюміній важко піддається точковому зварюванню через високу електро й теплопровідності. Зварювання супроводжується частковим приварюванням електрода до деталі через перегрів їх контакту. Це збільшує зношування електродів і псує поверхню деталей.

Іноді між електродом і деталлю вводять теплоізолюючі прокладки (1) з нержавіючої сталі товщиною 0,1-0,2 мм.

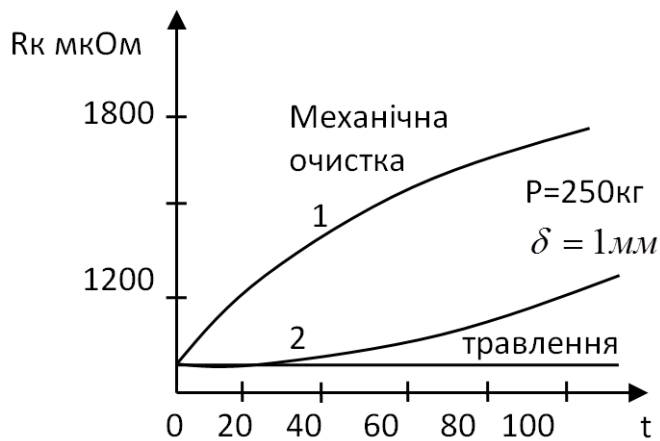


Ці прокладки не приварюються ні до електродів, ні до деталей.

Однак зварювання в цьому випадку відбувається з наскрізним проплавленням деталей, при якому ушкоджується лицьова поверхня деталей через наскрізні усадочні пороки ядра.

У силу цих причин точкове зварювання чистого Al застосовується рідко.

Точкове зварювання алюмінієвих сплавів широко застосовується в промисловості. Важливою особливістю зварювання цих сплавів є необхідність видалення окисної плівки Al_2O_3 , що володіє високим електроопором і твердістю. Тому перед зварюванням деталі зазвичай зазнають механічному очищенню сталевією швидкообертовою щіткою (із дротиками діаметром до 0,1 мм) або дрібним наждаковим папером, або хімічним очищенням. Після механічного очищення окисна плівка незабаром утворюється знову, і її опір швидкий росте із часом. Безпосередньо після очищення контактний опір становить близько 500 мком, а протягом 20-30 годин воно зростає (крива 1) до 1000мком і вище.



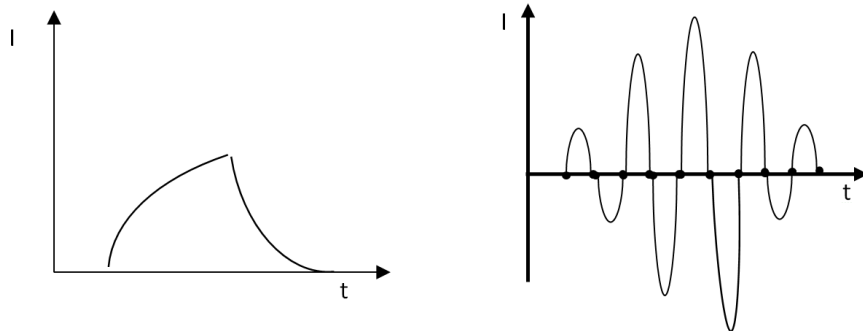
У великосерійному виробництві використовується хімічне очищення, що полягає з попереднього промивання бензином або ацетоном, знежирення в лужних ваннах, промивання, травлення в розчині ортофосфорної кислот H_3PO_4 (300-350 на 1 л води) з додаванням хромпіку $C_2Cr_2O_7$ (0,1-1г). При такій обробці на поверхні деталей утворюється тонка фосфатно-хромова плівка, опір якої дуже мало змінюється протягом трьох доби (крива 2).

Зварювання алюмінієвих сплавів доцільно проводити на твердих режимах, для зменшення зони місцевої втрати міцності термічно або механічно зміцнених сплавів.

$$t_{зв}=(0,15-0,4)\text{сек}, j=(1000-1500)\text{а/мм}^2, P=16-22\text{кг/мм}^2 \text{ при } \delta=1-3\text{мм}$$

Подальше зменшення $t_{зв}$ не поліпшує якості з'єднань, але веде до збільшення необхідної потужності машини.

Для зменшення перегріву контакти електрод-деталь зношування, що сприяє, електродів і ушкодженню деталей, бажано поступове наростання струму. Це забезпечується при зварюванні імпульсом випрямленого струму. На звичайних машинах змінного струму застосовується його модулювання.



Для зменшення початкового опору контакту електрод-деталь і забезпечення гарного тепловідводу застосовуються електроди зі сферичною контактною поверхнею

При зварюванні деталей товщиною до 1,5-2 мм вдається забезпечити ущільнення ядра при кристалізації без підвищеного куваляного тиску. Питомий тиск становить при цьому 16-22 кг/мм^2 . При більшій товщині деталей застосовують куваляний тиск

$$P_{пр}=(3-4)P_{зв}$$

Орієнтовні режими точкового зварювання дюралюмінію на імпульсних машинах (МТПТ-600).

δ , мм	R_3 , мм	$P_{зв}$, кг	$P_{пр}$, кг	$t_{имп}$, с/к	$I_{зв}$, кА
2,0	75	700	2400	0,22	47
3,0	100	800	2800	0,3	56
4,0	150	1100	4200	0,35	75
1,0		450	450	0,12	24

Мідь і її сплави.

Точкове зварювання чистої міді можлива тугоплавкими молібденовими або вольфрамовими електродами, або із застосування теплоізолюючих прокладок з нержавіючої сталі, розташовуваних між мідними електродами й деталями. Якість такого зварювання невисоке через ушкодження поверхні деталей, і вона не застосовується в промисловості.

Умови зварювання мідних сплавів визначаються їхніми фізичними властивостями й составом. Чим вище електро- і теплопровідність сплавів, тим сутужніше його точкове зварювання. Добре зварюються, наприклад, мельхіор (80%Cu;20%Ni; електропровідність близько 8% провідності міді), кремениста бронза (3%Si, електропровідність 9%). Трохи гірше зварюються латуні (електропровідність латуні Л62 становить близько 25% провідності міді). Латунь зварюється на твердих режимах ($t_{зв}=0,1-0,4$ сек) при відносно високій щільності струму (в 1, 5-2 рази вище, чим при зварюванні низьковуглецевої сталі тієї ж товщини). Латунь задовільно зварюється зі сталлю.

Режими точкового зварювання латуні Л62.

δ , мм	$P_{зв}$, кг	$t_{зв}$, с/к	$I_{зв}$, кА
0,5	120	0,1	15
1,0	200	0,16	19
1,5	300	0,20	24
2,0	400	0,24	30

Титан і його сплави

Титан дуже активно взаємодіє з киснем, азотом і воднем, однак при його точковому зварюванні зазвичай не потрібно спеціального захисту, тому що метал ядра не має прямого контакту з повітрям. По своїх фізичних властивостях титан близький до аустенітної сталі 1Х18Н9, і тому він зварюється на подібних режимах.

Режими точкового зварювання титанових сплавів.

δ , мм	$P_{зв}$, кг	$t_{зв}$, с/к	$I_{зв}$, кА
0,5	100-150	0,08-0,1	4,5-5
1,0	200-250	0,14-0,16	5-5,5
1,5	300-350	0,18-0,22	6,5-7,5

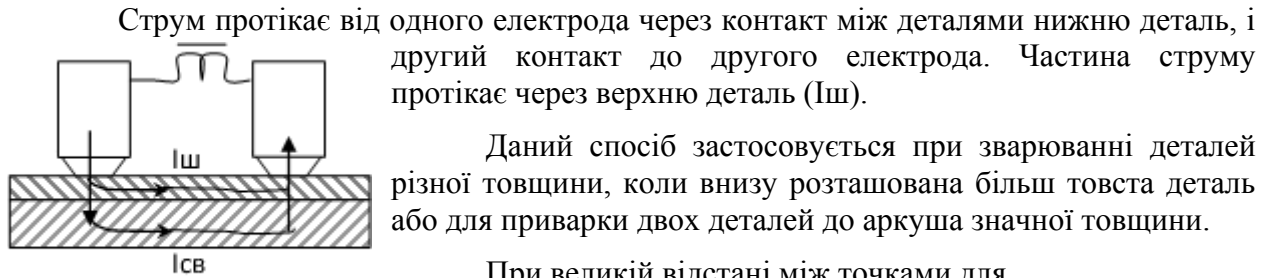
2,0	400-550	0,24-0,26	8,0-9,0
-----	---------	-----------	---------

Однобічне й двобічне двоточкове зварювання.

При виготовленні великих вузлів вагона, автомобіля, т.д. часто застосовується одне або двостороннє зварювання.

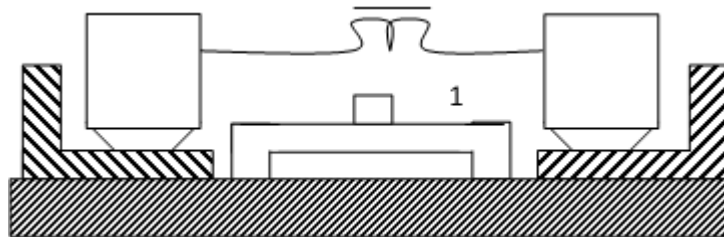
Однобічне двоточкове зварювання здійснюється по наступних схемах:

1) без шунтування



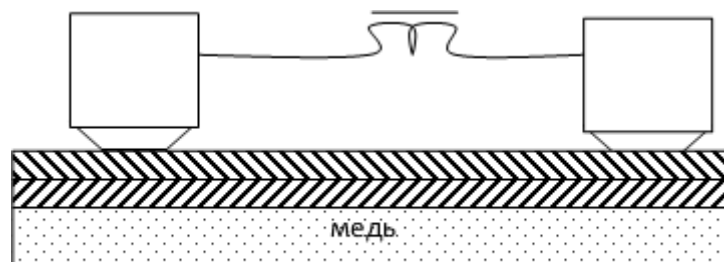
Даний спосіб застосовується при зварюванні деталей різної товщини, коли внизу розташована більш товста деталь або для приварки двох деталей до аркуша значної товщини.

При великій відстані між точками для зменшення непродуктивних витрат на нагрівання нижнього аркуша й запобігання його перегріву й жолоблення застосовується мідний електрод – перемичка, який опускається разом з електродами.



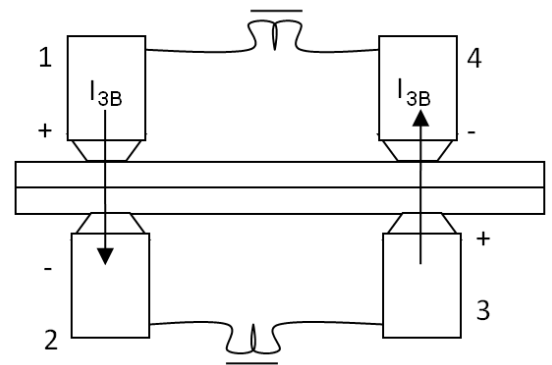
2) зварювання із шунтуванням на мідній підбивці.

Застосовується при зварюванні деталей невеликої товщини (до 1,5-2 мм).



Двостороннє двоточкове зварювання.

Електроди з'єднуються із двома трансформаторами, розташованими по обидві сторони від виробу. Струм протікає від електрода 1 до електрода 2 і далі від електрода 3 до електрода 4 без великого шунтування в деталях, що зварюються. Двоточкове зварювання має в порівнянні з односточковим ряд переваг: виріб не охоплюється контуром машини, що дозволяє зварювати більші вироби при помірній потужності; підвищується продуктивність процесу.



Многоелектродні машини, як правило, побудовані по двосторонній двухточковій схемі.

Дефекти й контроль якості точкового зварювання.

Дефекти при точковому зварюванні бувають зовнішні (виплески, глибокі вм'ятини, підплавлені поверхні деталей, що виходять на поверхню, тріщини) і внутрішні (непровар, крихкість, тріщина в ядрі).

Зовнішні дефекти виявляються оглядом. Зовнішній виплеск і подплавлення поверхні погіршує зовнішній вигляд з'єднань і різко знижує стійкість електродів. Зовнішній виплеск виникає при малім зусиллі стиску або при забрудненні поверхні деталей і електродів, а також при неправильній установці електродів. Глибокі вм'ятини на поверхні виникають при надмірному $I_{зв}$ або $t_{зв}$, малої контактної поверхні електродів або надмірному $P_{пр}$.

Внутрішні дефекти виявляються рентгенівським або ультразвуковим контролем. Внутрішні крихкості й тріщини зазвичай виникають внаслідок недостатнього тиску при проковуванні або при запізнюванні включення куваляного тиску.

Найнебезпечнішим внутрішнім дефектом, що різко знижує міцність точки, є непровар (відсутність або малі розміри литого ядра). Основними причинами непровару є наступні:

- 1) недостатня величина струму або зменшення його внаслідок спадання напруги мережі. Значного шунтування струму через малий крок точок, уведення в контур машини магнітної сталі, або ослаблення затягування й окиснення контактів вторинному ланцюга машини.
- 2) Недостатній час зварювання або його зменшення через нечітку роботу апаратури керування зварювальним циклом.
- 3) зміна електричного опору зони зварювання через погане очищення поверхні деталей або зміни величини прикладеного до електродів зусилля.

Боротьба з непроварами і іншими дефектами ведеться шляхом автоматизації процесу зварювання, що забезпечує суворе дотримання заданих його параметрів і шляхом контролю якості зварених точок. При активному контролі спочатку встановлюється режим зварювання тих або інших деталей на дослідних зразках, а надалі

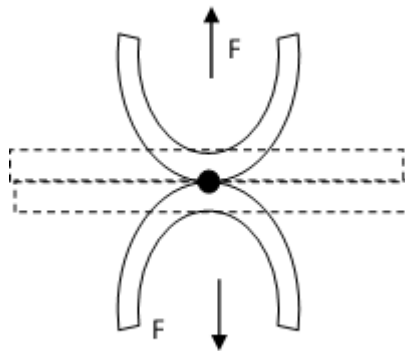
періодично (один, два рази в зміну) зварюються й випробовуються контрольні зразки для перевірки стабільності прийнятого режиму.

Випробування зварених точок зазвичай проводяться на зріз або розтягання.

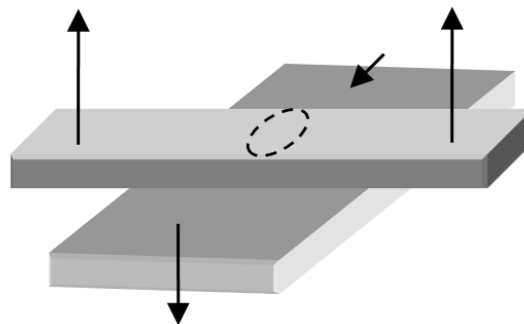
На зріз випробовуються зразки шириною $b = 5\delta + 15 \text{ мм}$ зварені однією точкою.



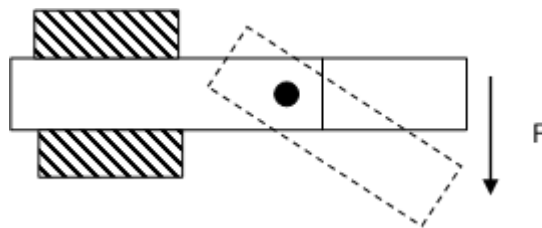
Випробування точки на розтягання при товщині деталей до 3-4^x мм проводяться на U-Образних зразках:



При більшій товщині на розтягання випробовуються хрестоподібні зразки:



При добірї режиму зварювання часто застосовуються прості технологічні проби: випробування на скручування:

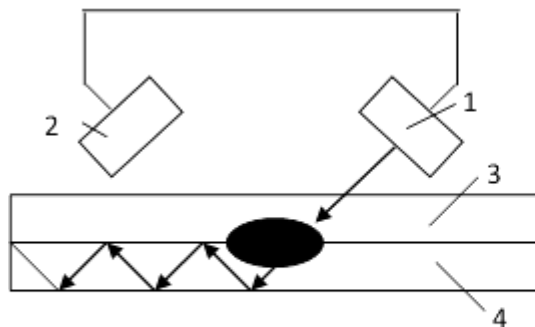


або руйнування зубилом зразка затиснутого в лещатах для виявлення ступеня провару.

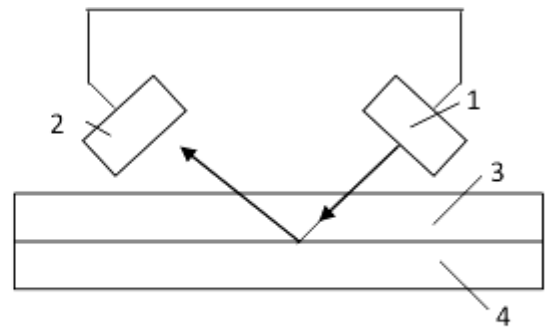
При зварюванні відповідальних виробів механічні випробування зразків доповнюються металургійним дослідженням перетину точок.

Іноді при зварюванні відповідальних виробів крім контролю режиму і якості зварювання на пробних зразках роблять контроль провару точок безпосередньо на виробі за допомогою рентгенопросвітлювання.

Розроблений також більш дешевий ультразвуковий контроль наявності і ступеня провару звареної точки:



є провар



немає провару

Ультразвукові коливання від випромінювача 1 (яким є п'єзокристал кварцу або титолату барію) уводяться у верхню деталь 3. при наявності провару між деталями ці коливання через зварену крапку проходять у нижню деталь 4, у якій розсіюються, не потрапляючи в прийомний щуп 2. У випадку неспроможності провару ультразвукові коливання відбиваються від границі роздільності між деталями 3 і 4 і попадають у прийомний щуп 2. На екрані індикатора з'являється сигнал, що свідчить про наявність неспроможності (при наявності провару при підході щупа до точки сигнал пропадає, а потім з'являється знову, у випадку неспроможності провару сигнал не пропадає).

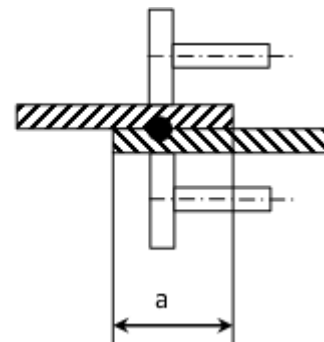
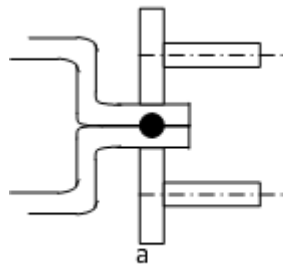
Роликове зварювання.

Область застосування роликового зварювання й типові вузли.

Роликове зварювання дає безперервний міцно-щільний шов. Роликове зварювання застосовується в автомобілебудуванні (зварювання бензобака, глушителя), у виробництві електрохолодильників (виготовлення шафи й випарника), при виготовленні бідонів вогнегасників і інших ємностей і т.д.

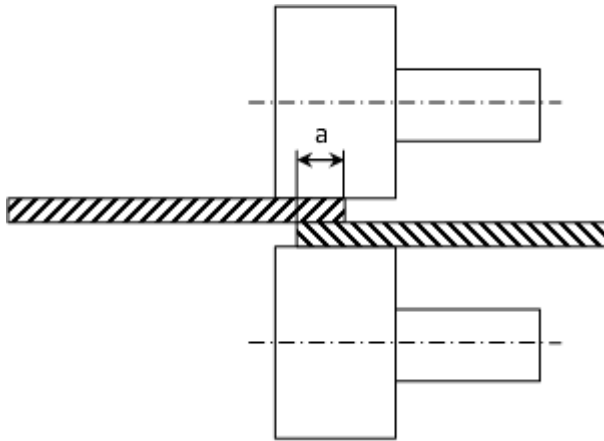
Тут треба відзначити більші заслуги радянських учених, які створили унікальні і єдині у світі машини для роликового зварювання.

Найбільше поширення при роликовій зварюванні одержали з'єднання з відбортовкою і у нахлист:



Перевагою з'єднання з відбортовкою є розміщення деталей поза зварювальним контуром машини, а також відсутність пересічних швів. Недоліком – необхідність штампування із глибокою витяжкою, що виправдовується тільки при масовім виробництві. Ширина відбортовки для запобігання видавлювання розігрітого металу й виплесків повинна бути не менш: 12 мм при $\delta=1\text{мм}$, 16 мм при $\delta=1,5\text{мм}$, 18мм при $\delta=2\text{мм}$.

Аналогічно ширина нахлисту (а) також повинна бути не менш 12-18 мм.



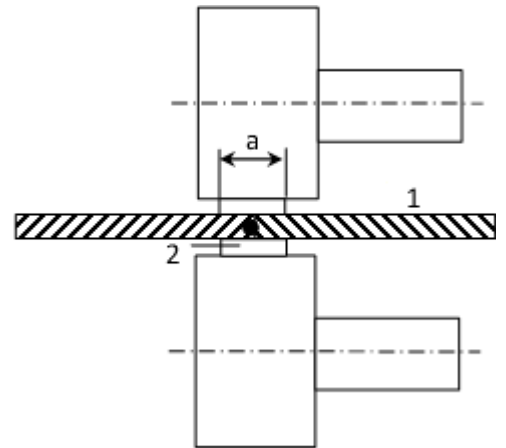
Іноді потрібно, щоб після роликового зварювання у нахлістку на поверхні виробу не було уступу. У цих випадках можливе зварювання з роздавлуванням крайок.

З'єднання збирається з вузької нахлістки ($a=(1,5-2)\delta$) і зварюється широкими роликами. Основний недолік даного методу – швидке зношування електродів і відносно невисоке міцність

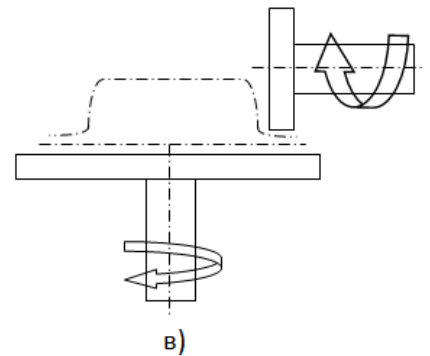
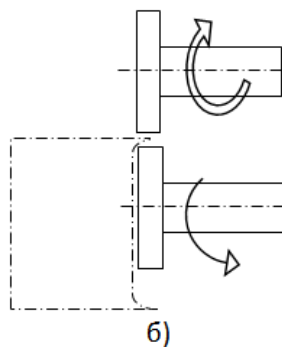
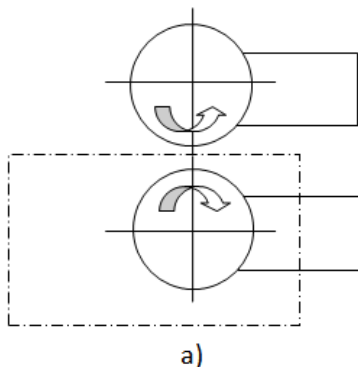
з'єднання.

Міцний стик без уступу може бути отриманий також при зварюванні з накладками.

При цьому деталі, що зварюються, 1 збираються устик, а на стик по обидва боки накладаються тонкі сталеві стрічки 2δ ($\delta=0,1-0,3\text{мм}$), що служать мов би теплоізоляцією зони зварювання від дискових електродів. При протіканні струму деталі в зоні стику нагріваються до розплавлювання, і утворюється міцне з'єднання із втисненими заподлице накладками.

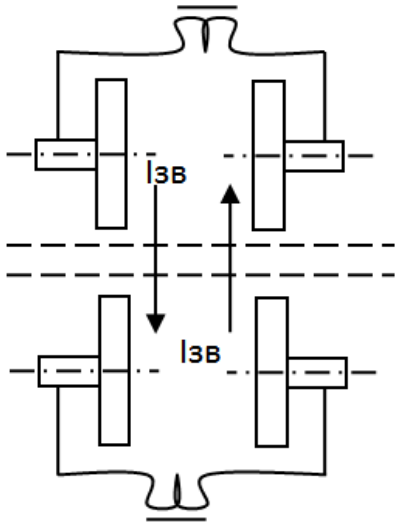


Сучасні роликові машини мають потужність від декількох кіловатів до 1000 кВт. Як правило, вони постачені автоматичною апаратурою керування. Зазвичай машини мають два дискові електроди-ролика для двостороннього зварювання поздовжнього (а), поперечного (б) і іноді фланцевого (в) шва:



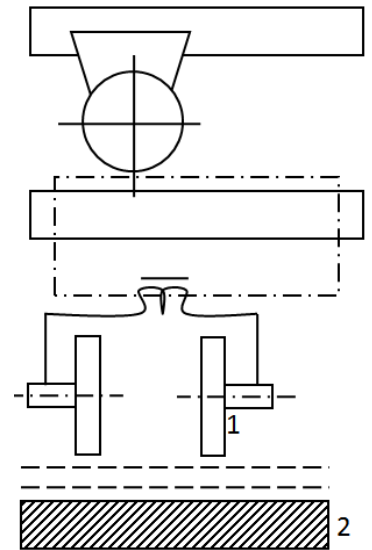
Іноді застосовується зварювання на електроді-оплавлення, при яким деталі закріплюються на нижньому електроді певної форми, а верхній ролик прокочується на нерухливій деталі.

Застосовується також однобічне двошовне зварювання двома електродми. При цьому деталі закріплюються на підкладному мідному електроді 2, а по них прокочуються ролики, з'єднані зі зварювальним трансформатором.



Можливе також двостороннє двошовне зварювання чотирма електродми.

Схема проходження струму та ж що й при двосторонньому двоточковому зварюванні.



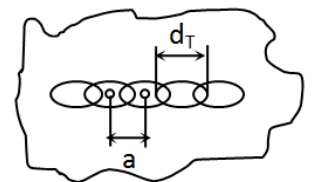
Сутність процесу й нагрівання при роликів зварюванні.

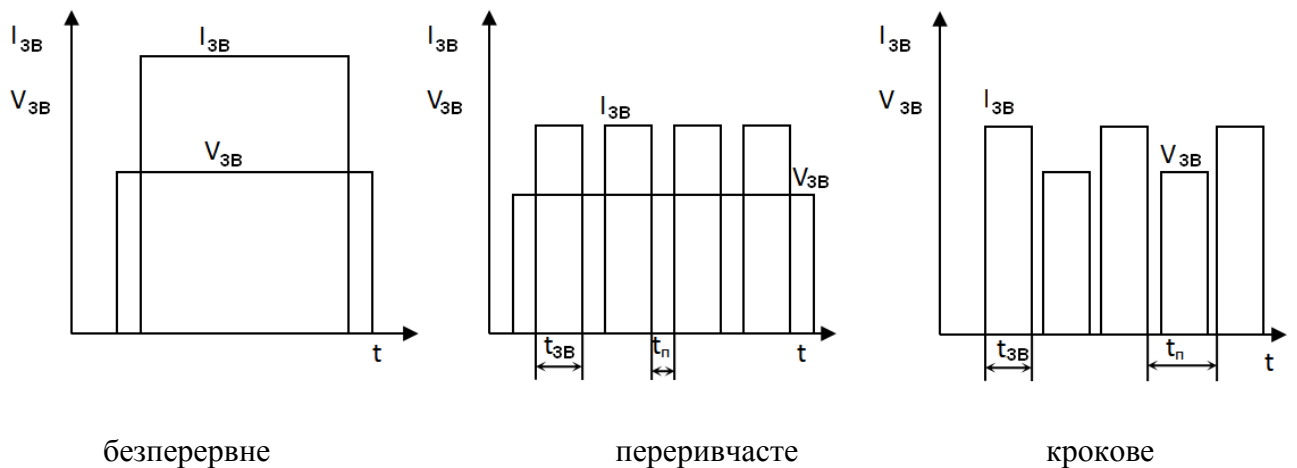
Роликове зварювання по суті є різновидом точкового зварювання, при яким окремі точки діаметром d_T частково перекривають один одну, утворюючи безперервний шов.

Для одержання щільного шва відстань між точками $a = (0,5-0,6)d_T$. При $a > d_T$ роликове зварювання переходить у високопродуктивне ролико-точкове зварювання.

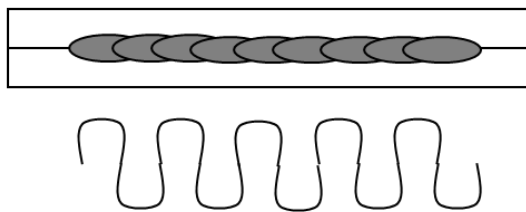
Внаслідок малої відстані між сусідніми точками спостерігається значне шунтування струму, ступінь якого, однак, зменшується внаслідок високої температури й, отже, високого питомого опору металу раніше звареної точки.

Роликове зварювання буває безперервним, переривчастим, кроковим:





Найбільше поширення одержало переривчасте роликове зварювання. Застосування безперервного роликового зварювання обмежене сильним перегрівом поверхні деталей, що стикається з електродами, що погіршує якість зварювання й підвищує зношування електродів. Однак, для певної швидкості зварювання й потужності машини можливе зварювання деталей невеликої товщини (менш 0,5 мм) безупинно включеним змінним струмом. (При цьому однієї півхвилі змінного струму частотою 50 Гц досить для формування розплавленого ядра точки, а час переходу струму через нуль досить для кристалізації ядра).

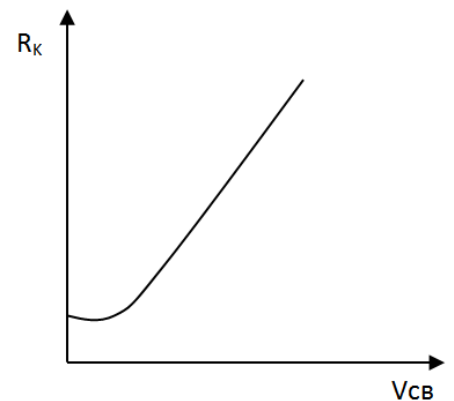


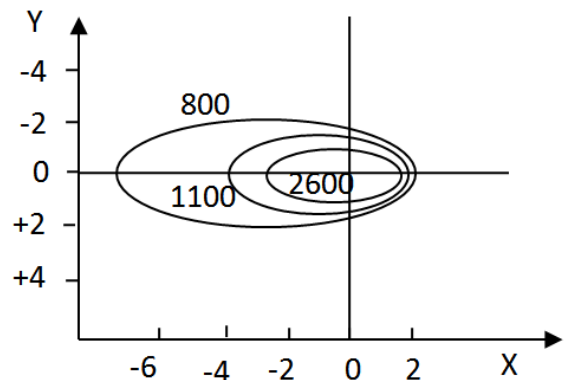
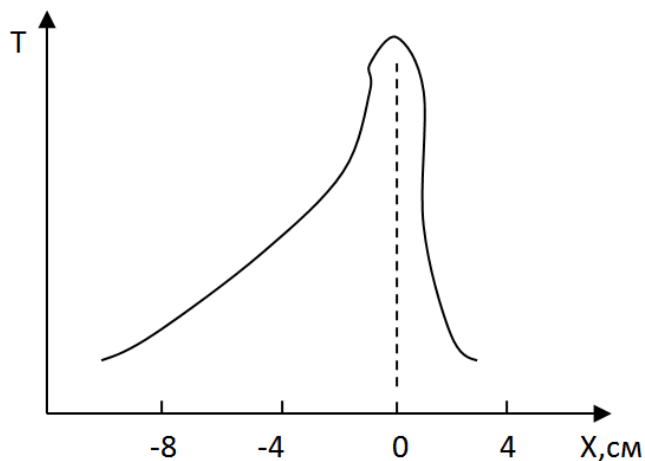
Крокове зварювання застосовується при зварюванні алюмінієвих сплавів. Завдяки тому, що при протіканні струму деталі нерухливі, зменшується опір контакту електрод-деталь і забезпечується більш глибокий провар без перегріву зовнішньої поверхні деталей, а також зменшується зношування електродів.

Зварювальний струм, час зварювання й зусилля на електродах виявляють на розміри й міцність кожної точки приблизно такий же вплив, як і при точковому зварюванні. У той же час при роликовому зварюванні є ряд особливостей, пов'язаних з переміщенням контакту електрод-деталь, рухливістю джерела нагрівання й значним шунтуванням зварювального струму.

Опір рухливого контакту значно вище, чим нерухливого й росте зі збільшенням швидкості зварювання.

Внаслідок рухливості джерела нагрівання температурне поле несиметричне щодо осі електрода.

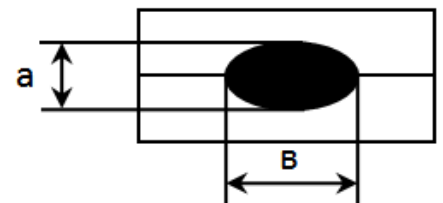
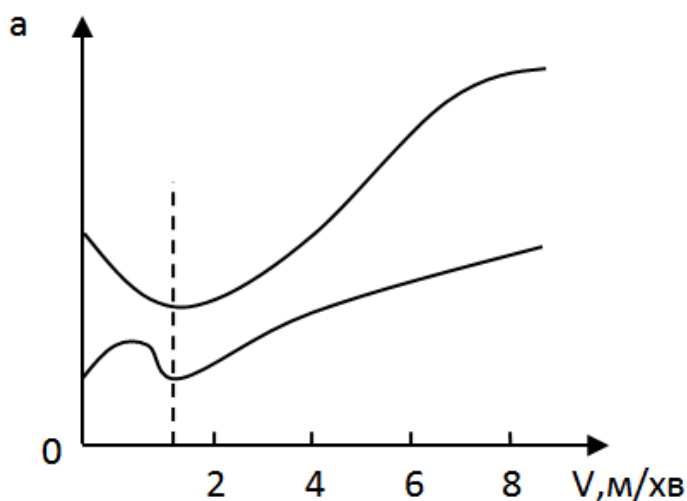




Розподіл температури при нагріванні й швидкість наступного охолодження визначається погонною енергією $q/V_{зв}$ (q – потужність у Дж/сек, V – швидкість зварювання, см/сек) і умовами охолодження.

При роликовій зварюванні потужність q у певних межах росте майже лінійно зі збільшенням $V_{зв}$ (тому що з ростом $V_{зв}$ росте R_k , а $q=I_{зв}^2 R$, тобто при $I_{зв}=\text{const}$ $q \approx R$), тому погонна енергія мало залежить від $V_{зв}$ і вона не повинна впливати на процес нагрівання. Однак $V_{зв}$ дуже сильно впливає на теплові процеси безпосередньо в зоні зварювання. Цей вплив різний при зварюванні матеріалів з високої й низкою тепло- і електропровідністю.

Наприклад, при зварюванні дуралюмінія ($\delta = 1+1\text{мм}$, $t_{зв}=0,1\text{сек}$, $I_{зв}=19\text{кА}$, $P=250\text{кВт}$) спочатку зі збільшенням швидкості від 0 до 1,65 м/хв розміри ядра трохи зменшуються, що пояснюється вдавненням обертових електродів у розм'якшений матеріал і поліпшенням теплопроводу. При більшій швидкості електроди увесь час приходять у контакт із холодним металом, вдавнення майже немає й тепловідвід в електроди незначний, тому ядро проплавляється на більшу глибину, а кристалізація внаслідок великої швидкості переміщення деталей відбувається без тиску, що приводить



до дефектів у ядрі й наскрізному проплавленню.

Зазвичай швидкість зварювання Al сплавів вибирають у межах 0,5-3 мм/хв. При зварюванні сталі (сталь 1X18H9T $\delta=1+1\text{мм}$, $t_{зв}=0,1\text{сек}$, $I_{зв}=9\text{кА}$ на $P=250\text{кг}$) спочатку з ростом $V_{зв}$ розмір ядра трохи росте, а потім поступово зменшується через недостатню погонну енергію.



Така залежність пов'язана з тим, що при зварюванні аустенітної сталі, метал поперед роликів має високий опір пластичної деформації навіть при високій температурі й вдавнення електродів у метал незначно. Отже, у цьому випадку умови тепловідводу мало залежать від швидкості зварювання. Погонна енергія $q/V_{зв}$ спочатку трохи зростає тому що при малих швидкостях контактний опір (а значить і q) росте швидше, чим $V_{зв}$, а при подальшій збільшенні $V_{зв}$ ріст R_k уповільнюється й погонна енергія зменшується, що й приводить до зменшення проплавлення.

При зварюванні металів з високої електро- і теплопровідністю великий вплив виявляє шунтування струму. Тому, при зварюванні алюмінієвих сплавів зі зменшенням струму через раніше зварені точки, розміри розплавленого ядра при цьому зменшуються.

При зварюванні сталей внаслідок високого питомого опору металу в розігрітому стані шунтування незначне. Однак, важливу роль відіграє підігрів металу перед зони зварювання. Тому зі зменшенням кроку точок розміри розплавленого ядра збільшуються.

Загальні особливості технології роликового зварювання.

Деталі перед зварюванням зазнають двосторонньої загальної або місцевої (на ширині близько 20 мм) очищення. Способи очищення ті ж що й при точковому зварюванні.

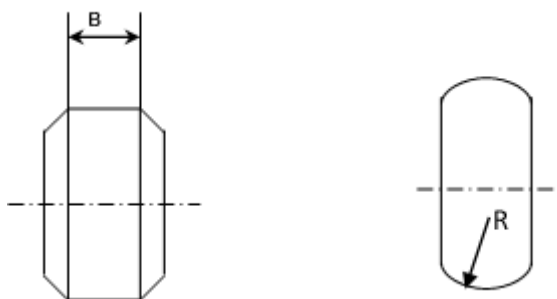
Деталі збираються в спеціальних пристосуваннях або на струбцинах. Для зменшення жолоблення деталей перед зварюванням їх прихоплюють по осі шва точками із кроком 50-100 мм, а прихватки зачищують металевою щіткою. Глибокі вм'ятини через можливі при зварюванні пропіків не допускаються. Невеликі деталі або деталі, що зварюються в пристосуваннях, зазвичай не прихоплюються.

Короткі шви зазвичай зварюють від одного кінця до іншого. Довгі - від середини до кінців.

При роликовій зварюванні часто виникають значні зварювальні деформації. Особливо великі деформації спостерігаються при зварюванні сплавів з високим коефіцієнтом теплового розширення (наприклад, аустенітної сталі 1X18H9T). Виправлення виробу по способу МВТУ ім. Баумана обкатуванням шва роликами вхолонду майже повністю усуває зварювальні деформації.

Основними параметрами режиму при роликовій зварюванні є:

- 1) крок точок a ;
- 2) зусилля на електродах P ;
- 3) діаметр електродів d_e ;
- 4) ширина робочої частини електродів u для електродів із циліндричною робочою частиною або радіус R для електродів зі сферичною робочою частиною;



- 5) тривалість імпульсу зварювального струму $t_{зв}$;
- 6) тривалість паузи між двома сусідніми імпульсами струму $t_{п}$;
- 7) швидкість зварювання $V_{зв}$;
- 8) зварювальний струм $I_{зв}$;

Крок точок для одержання герметично-міцних швів вибирають у межах $2-2,5 \delta$ для сталей і близько 3δ для алюмінієвих сплавів.

Як і при точковому зварюванні з підвищенням зусилля на електродах росте необхідний струм і потужність, підвищує стабільність якості швів.

У сучасній практиці віддають перевагу більшим зусиллям у комбінації з потужними машинами.

Якщо форма виробу допускає, то діаметр електродів повинен бути не менш 200-250 мм ($d_e \geq 200-250\text{мм}$). При $d_e < 150\text{мм}$ збільшується зношування електродів.

При переривчастім зварюванні тривалість одного циклу $t=t_{зв}+t_{п}$ у секундах визначається кроком точок a (мм) і швидкістю зварювання (м/хв):

$$t=0,06a/V_{зв}$$

Відношення $t_{зв}/t$ вибирається залежно від властивостей матеріалу, що зварюється, і зазвичай рівно 0,3-0,7. Зі збільшенням тепло- і електропровідності матеріалу це відношення зменшується, тому що росте струм, необхідний для забезпечення провару, а включення значного струму між малими паузами викликає неприпустимий перегрів поверхні деталей, що зварюються, і електродів.

Тривалість циклу зварювання t , а також $t_{зв}$ і $t_{п}$ на машинах змінного струму завжди вибирається кратним періоду змінного струму (0,02 сек). Здійснення зварювального циклу забезпечується апаратурою керування роликів машин.

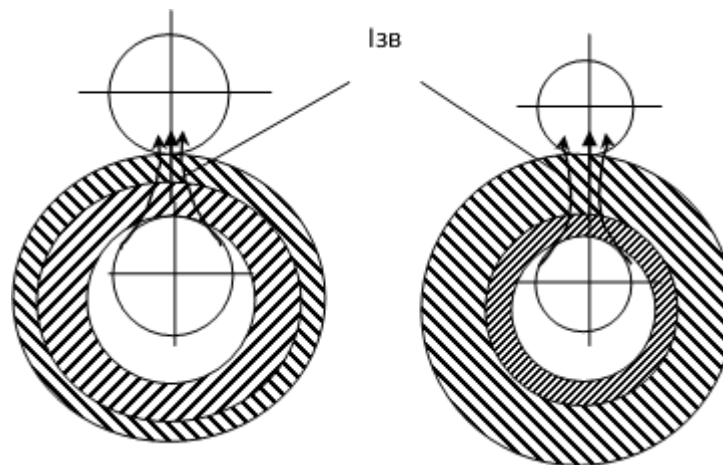
Необхідний зварювальний струм залежить від товщини й матеріалу деталей, що зварюються, і від швидкості зварювання. Як правило, струм при роликів зварюванні на 20-50% вище, чим при точковому зварюванні аналогічних деталей.

Швидкість зварювання лімітується потужністю машини, властивостями металу й умовами його кристалізації.

Швидкість переривчастого роликів зварювання зазвичай дорівнює 0,5-3м/хв. У сучасних потужних машинах вона нерідко досягає 5м/хв, а іноді й 10м/хв.

Як і при точковому зварюванні, режим спочатку орієнтовно визначають по довідкових таблицях або номограмах, а потім уточнюють випробуванням швів на зразках з того ж матеріалу що й підлягає зварюванню деталей.

Умови нагрівання при роликів зварюванні залежать також від форми й товщини деталей, що зварюються. Наприклад, при зварюванні кільцевого шва між деталями різної товщини кращі результати виходять при розміщенні більш тонкої деталі зовні, тому що при цьому вище щільність струму в контакті:



Бажаємо щоб співвідношення товщини деталей, що зварюються, не перевищувало 2:1.

Для поліпшення умов нагрівання можливо місцеве ущільнення однієї з деталей. Іноді з боку більш тонкої деталі використовують електрод з менш електропровідного матеріалу, що сприяє переміщенню ядра в тонку деталь і більш рівномірному проплавленню деталей неоднакової товщини.

Технологія роликового зварювання сталей.

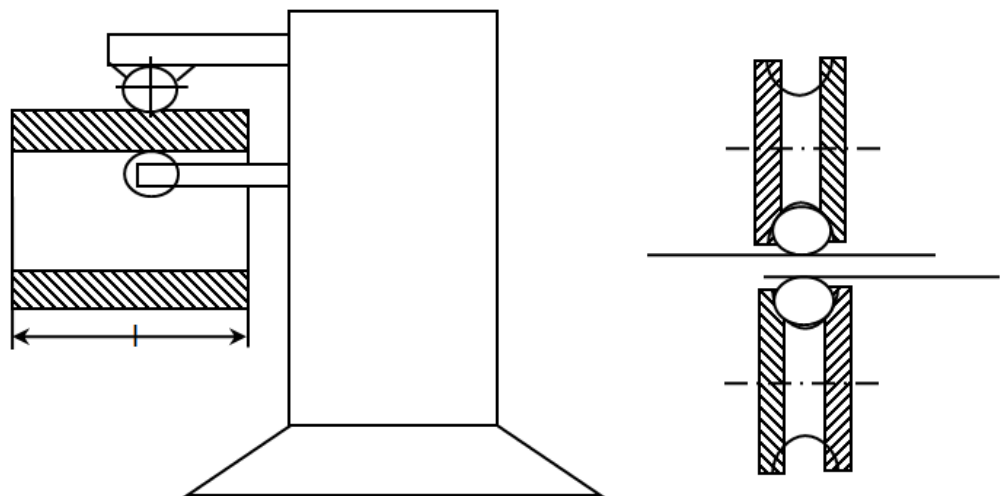
Сталі зазвичай зварюються на машинах змінного струму переривчастим способом.

Маловуглецеві сталі добре зварюються роликовим зварюванням, як на «м'яких» так і на «твердих» режимах. Холоднокатані сталі перед зварюванням бажано знежирювати. Гарячекатані – зазнають місцевого або загально-механічного очищення або травлення.

При виборі конкретних параметрів режиму враховується форма виробу, якість складання й очищення деталей, потужність наявного встаткування.

Маловуглецеві сталі із захисними покриттями зварюються на «твердих» режимах (для зменшення зони ушкодження покриття). При зварюванні оцинкованої сталі рекомендується застосовувати $t_{зв}/t=0,80-0,85$ для того, щоб цинк поперед зони зварювання підтримувався в розплавленому стані й витіснявся із зазору між деталями, що зварюються. Це зменшує виплески й поліпшує якість з'єднання. Свинцеві, цинкові та олов'яністі покриття деталей важко очищаються від роликів. Для усунення цього й підвищення швидкості зварювання (до 6-14 м/хв для жерсті товщиною 0,5-0,6 мм) використовується відпалений мідний або латунний дріт діаметром 1,5-3 мм, що безупинно переміщується в пазах ролика.

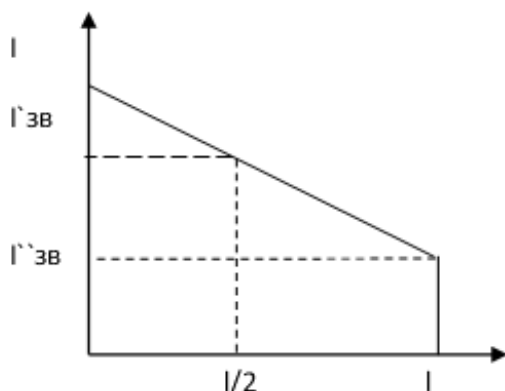
Ускладнення виникає при зварюванні поздовжніх швів на виробах з магнітної сталі, що вводяться в контур машини, наприклад, при зварюванні поздовжнього шва обичайки з магнітної сталі.



У процесі зварювання змінюється перетин магнітної сталі, уведеної в контур. При цьому змінюється індуктивний опір вторинного контуру машини, а також активні втрати

на нагрівання деталі поза зоною зварювання виникаючими в ній вихровими струмами й, як наслідок, змінюється зварювальний струм.

Якщо спочатку зварювання струм достатній для гарного провару, то до кінця або навіть до середини шва струм може зменшитися до величини недостатньої для провару.



Для запобігання цього користуються наступними прийманнями:

- 1) зварювання шва у два приймання від середини до кінців;
- 2) розбивка шва на кілька ділянок, що зварюються на різних режимах;
- 3) автоматичне регулювання зварювального струму в процесі зварювання шва;

сталі, що гартуються (наприклад 30ХГСА) для зменшення швидкості охолодження зварюються на відносно м'яких режимах ($t_{зв}$ збільшується приблизно в 2 рази в порівнянні зі зварюванням малоуглецевій сталі, максимальна швидкість зварювання не перевищує 0,7-1 //хв). Навіть зварювання на м'яких режимах дає крихкі з'єднання (при твердому режимі у шві з'являються тріщини). Крихкість усувається наступною термообробкою.

Аустенітні сталі добре зварюються роликівим зварюванням. Немагнитність цих сталей полегшує зварювання великогабаритних виробів, що вводяться при зварюванні в контур машини. Через високу жароміцність і низьку електропровідність аустенітних сталей зусилля на електродах збільшується на 30-1000%, а струм зменшується на 30-40% у порівнянні з Р і $I_{зв}$ при зварюванні таких же деталей з малоуглецевої сталі. Аустенітні сталі з невеликим змістом феррита (наприклад, 1Х18Н9Т) добре зварюються як на «твердих» (більш кращих) так і на м'яких режимах. Чисто аустенітні сталі (наприклад, Х23Н18) через схильність до гарячих тріщин зварюються на більш «м'яких» режимах.

Орієнтовні режими роликівого зварювання сталей.

матеріал	δ , мм	$I_{зв}$, кА	$t_{зв}$, сек	$t_{п}$, сек	Р, кН	$V_{зв}$, м/хв	В, мм
маловуглецева сталь	1,0	15	0,06	0,06	4	1,75	6
	2,0	16 - 19	0,12	0,1	6,5	1,4	10
30ХГСА	1,0	10 - 12	0,14- 0,16	0,18- 0,24	5-6	0,6 - 0,7	6
	2,0	17 - 19	0,2 -0,22	0,3 -0,36	10 -11,5	0,5 - 0,6	10
1Х18Н9Т ХН75Г ХН78Г	1,0	9-11	0,06- 0,08	0,12- 0,16	5 - 6,5	0,5 - 1,0	6

і ін.		12			10	0,3	
	2,0	-	0,12- 0,16	0,24- 0,32	-	-	10
		16			13	0,6	

Роликове зварювання кольорових металів і їх сплавів.

Алюмінієві сплави при товщині деталей до 1,5-2 мм можна зварювати на машинах змінного струму переривчастим зварюванням ($t_{зв}/t=0,3-0,4$). У зв'язку з високою електро й теплопровідністю алюмінієвих сплавів для їхнього зварювання потрібні більші струми (в 2-3 рази більше, чим для зварювання маловуглецевої сталі) і, отже, машини значної потужності ($N=200-400$ кВт). Для концентрації струму й зменшення перегріву застосовують електроди зі сферичною робочою поверхнею при $R=40-150$ мм. Необхідне зусилля на електродах росте зі збільшенням міцності сплаву й наближається до зусилля P для маловуглецевих сталей. Швидкість зварювання зазвичай менше, чим при зварюванні сталі через споживання великої потужності.

Режими роликового зварювання алюмінієвого сплаву Амгам на машинах змінного струму.

δ , мм	$I_{зв}$, кА	$t_{зв}$, сек	$t_{п}$, сек	P , кН	$V_{зв}$, м/хв
0,5	21	0,04	0,1	250	0,7
1,0	30	0,06	0,10	350	0,7
1,5	38	0,06	0,14	450	0,6
2	41	0,08	0,24	500	0,5

Якість з'єднань поліпшується і збільшується можлива товщина матеріалу, що зварюється (до 3-5 мм) при кроковому зварюванні на спеціальних машинах, що використовують для зварювання кожної точки імпульс випрямленого трифазного струму. Включення струму в моменти зупинки роликів, а також плавне наростання струму в імпульсі забезпечує більш глибокий провар без перегріву зовнішньої поверхні деталей і роликів, а також поліпшує умови охолодження й кристалізації розплавленого ядра.

Режими крокового роликового зварювання алюмінієвого сплаву Амг, Амц на низькочастотній машині МШШТ-600.

δ , мм	P, кН	$t_{зв}$, сек	$I_{зв}$, кА	величина кроку, мм	швидкість зварювання, точок/хв
1,0	5	0,08	43	2,5	150
2,0	7,5	0,12	55	4,0	100
3,0	700	0,16	60	5,0	70

Умови роликового зварювання *мідних* сплавів визначаються головним чином їх електропровідністю. Сплави з високим питомим опором (кремениста й фосфориста бронза) зварюються добре. Латунь зварюється задовільно при більших струмах.

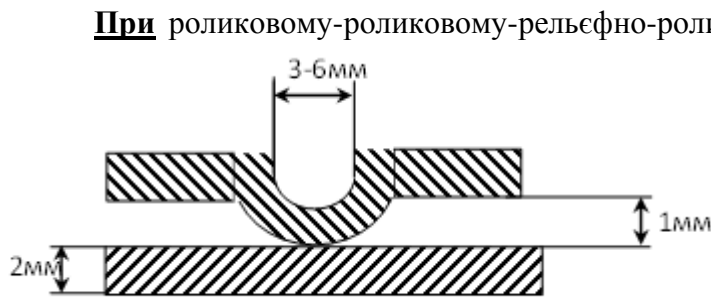
Режими роликового зварювання латуні Л62 переривчастим зварюванням на машинах змінного струму.

δ , мм	$I_{зв}$, кА	$t_{зв}$, сек	$t_{п}$, сек	P, кГ	$V_{зв}$, м/хв
0,5	19	0,06	0,06	200	0,75
1,0	27	0,08	0,10	400	0,70
1,5	36	0,12	0,14	550	0,60

Титан і його сплави близькі за своїми теплофізичними властивостями до аустенітних сталей і тому добре зварюються переривчастим роликовим зварюванням на звичайних машинах змінного струму.

δ , мм	$I_{зв}$, кА	$t_{зв}$, сек	$t_{п}$, сек	P, кГ	$V_{зв}$, м/хв
1,0	6-6,5	0,12-0,14	0,18-0,24	350-400	0,7-0,8
2,0	9-10	0,20-0,22	0,32-0,40	550-650	0,5-0,6
3,0	11-12,5	0,28-0,30	0,34-0,48	900-1100	0,3-0,4

Рельєфно-роликове зварювання.



При роликовому-роликовому-рельєфно-роликовім зварюванні в одній з деталей перед зварюванням уздовж шва видавлюється безперервний рельєф. Концентрація струму по рельєфу локалізує тепловиділення, і надійне зварювання досягається без глибокого проплавлення. Завдяки цьому кристалізація в

зоні зварювання завершується дуже швидко, що дозволяє різко збільшити швидкість зварювання. Наприклад, маловуглецева сталь товщиною 2 мм зварюється зі швидкістю 20 м/хв при $I_{зв}=70000\text{а}$, $P=1750\text{кг}$.

Дефекти й контроль якості роликового зварювання.

Роликовому зварюванню унахліст й точковому зварюванню властиві однакові дефекти й контроль їх якості здійснюється однаковими методами. Найважливіше значення має активний контроль процесу, супроводжуваний періодичними випробуванням зразків (технологічними пробами, механічним випробуванням і металографічним дослідженням). Крім того, міцнощільні шви перевіряються на герметичність, наприклад бензобак автомобіля, випробовується стисненим повітрям при зануренні у воду. Нещільність швів виявляється пухирцями повітря.

Розділ 3. Устаткування для контактного зварювання.

Класифікація й загальна характеристика машин для контактного зварювання.

Контактні машини по способу зварювання розділяються на стикові, точкові, рельєфні й роликові. За принципом дії машини можуть бути неавтоматичними, напівавтоматичними й автоматичними. По спеціалізації – універсальними й спеціальними. По приводу – з важільним, пружинним, механічним, електромеханічним, пневматичним, пневмогидравлічним або гідравлічним. По способу живлення – однофазні або трифазні, змінного або постійного струму, низькочастотні й з нагромадженням енергії. По способу установки – стаціонарними й пересувними.

На контактній машині, що працює автоматично, подача, закріплення й зварювання деталей проводиться без участі людини; на напівавтоматичній – установка й переміщення деталей здійснюється вручну; на неавтоматичній машині зазвичай автоматизоване тільки включення й вимикання струму.

Область застосування машини відповідного типу визначається енергетичними можливостями підприємства, конструкцією деталей, що зварюються, вимогами до якості й видом виробництва.

Універсальні машини застосовуються для зварювання різних, а спеціальні – для зварювання однотипних деталей.

У масовім виробництві доцільні спеціалізовані автоматично працюючі машини, а в дрібносерійному й індивідуальному виробництві – універсальні із пристроями для швидкого їхнього переналагодження.

Більшість машин установлюється стаціонарно; переносними й пересувними є лише деякі спеціалізовані машини.

Усі машини для контактного зварювання складаються із двох взаємозалежних частин: механічної й електричної. Механічна частина машини являє собою більш-менш складний верстат для закріплення, стиску й переміщення деталей, що зварюються, з органами керування й пристроями для регулювання основних механічних параметрів (зусилля затиснення й опаді, швидкостей переміщення і т.д.). Часто елементи цих механізмів проводять зварювальний струм.

Електрична частина машини зазвичай складається зі:

зварювальному ланцюга (зварювального контуру), що підводить струм від джерела живлення до електродів;

джерела живлення (у більшості машин однофазного зварювального трансформатора),

апаратури керування, що забезпечує задану послідовність і тривалість усіх або частини операцій зварювального циклу, а також регулюючої основні електричні параметри процесу (потужність, напругу, форму кривій струму).

Потужність і режим роботи контактних машин.

Для здійснення зварювання за час $t_{зв}$ у зварювальному ланцюзі машини повинен протікати заданий струм I_2 . Потужність, що розвивається при цьому на ділянці ланцюга між електродами (у зоні зварювання):

$$N_{зв} = I_2^2 R_{зв}$$

При цьому повна гадана потужність, що забирається машиною з мережі:

$$N = I_2^2 Z \frac{1}{\eta_{тр}} = I_2^2 \sqrt{(R_{св} + R_{вн})^2 + X_{Лсв}^2} \frac{1}{\eta_{тр}},$$

де $R_{вн}$ – активний опір зварювального контуру машини;

$X_{Лвн}$ – його реактивний опір;

Z – повний опір зварювального контуру деталей, що й зварюються;

$\eta_{тр}$ - ККД трансформатора (зазвичай більш 0,95).

Потужність, необхідна для зварювання заданих деталей непостійна й залежить від конструкції машини: чим більше її внутрішній опір $Z_{вн} = \sqrt{R_{вн}^2 + X_{Лсв}^2}$, тим більша необхідна потужність.

Для нормальної роботи машин необхідно, щоб зварювальний трансформатор забезпечував протікання зварювального ланцюга заданого струму $I_2 = E_2 / Z$ (де E_2 – ЕРС вторинної обмотки трансформатора) і виділення в зоні зварювання необхідної потужності $N_{зв}$.

Крім того, необхідно, щоб при цьому трансформатор і елементи зварювального контуру не перегрівалися. Нагрівання залежить від режиму роботи машини, обумовленого тривалістю її включення ПВ (в %).

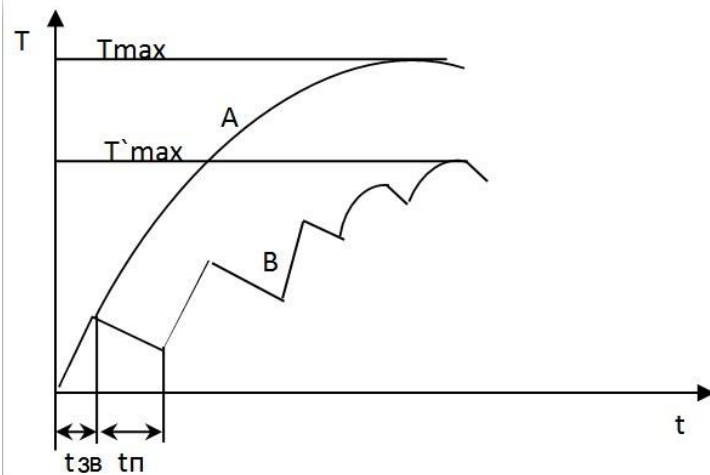
$$ПВ = \frac{\sum t_{св}}{\sum t_{св} + \sum t_n} \cdot 100\%$$

ПВ визначається за 5 хв і являє собою відношення загальної тривалості протікання струму $t_{зв}$ до суми $t_{зв}$ і пауз t_n . Величина ПВ залежить від призначення машини. Зазвичай вона дорівнює:

для стикових машин 5-50%,

для точкових 1,2-32%,

для роликових 32-80%.



При безперервній роботі (ПВ=100%) температура в будь-якому елементі, що нагрівається, наростає за експонентним законом (крива А) і досягає деякого значення, що встановилося, T_{\max} . При тому ж струмі, але переривчастім включенні, температура цього елемента буде змінюватися по кривій В доки не досягне значення, що встановилося, $T'_{\max} < T_{\max}$.

Якщо при безперервній роботі T_{\max} не перевищує припустимих меж, то відповідні до цих умов струм і потужність називаються *струмом тривалої роботи* I_{np} і *тривалою потужністю* N_{np} .

Кількість тепла, виділюваного в будь-якому елементі машини с опором R за час $t = t_{зв} + t_{п}$ при безперервній роботі (ПВ=100%), дорівнює $I_{np}^2 R t$. При переривчастім включенні за той же час t буде виділена кількість тепла дорівнює $I_{кр}^2 R t_{зв}$, де $I_{кр}$ – струм при повторно короткочасній роботі (короткочасний струм).

Однакове нагрівання при безперервній і повторно короткочасній роботі буде отримано при:

$$I_{np}^2 R t = I_{кр}^2 R t_{зв}$$

Звідси:

$$I_{кр} = I_{np} \sqrt{\frac{t}{t_{зв}}} = I_{np} \sqrt{\frac{100}{ПВ}}$$

За аналогією:

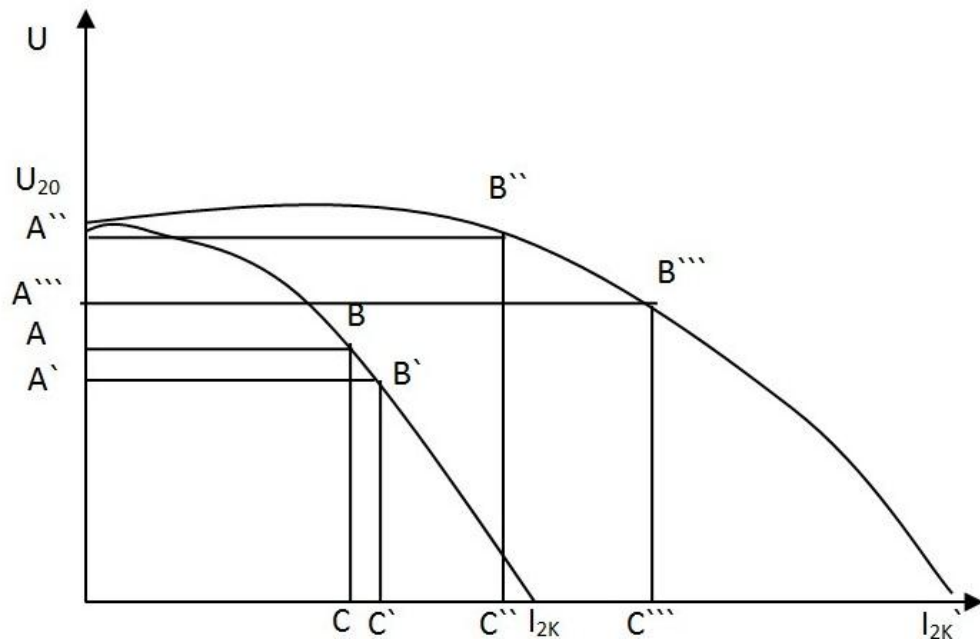
$$N_{кр} = N_{np} \sqrt{\frac{100}{ПВ}}$$

У паспорті машини зазвичай вказується номінальний режим роботи (ПВном) і номінальна потужність ($N_{ном}$), які при ПВном не викликає перегріву елементів машини. Якщо відомі $N_{ном}$ або ПВном, легко визначити припустиму короткочасну потужність $N_{кр}$, що не викликає перегріву при будь-якому іншому ПВ.

$$N_{кр} = N_{ном} \sqrt{\frac{ПВ_{ном}}{ПВ}}$$

Зовнішні характеристики контактних машин.

Залежність між напругою на електродах U_2 і зварювальним струмом I_2 називається зовнішньою характеристикою машини.



При холостому ході ($R_{зв} = \infty$) $I_2 = 0$ і $U_{20} = E_2$ (E_2 – ЕРС вторинної обмотки трансформатора; зазвичай $E_2 = 1-24$ В). При короткій замиканні $I_2 = I_{2k}$ і $U_2 = 0$. При заданому U_{20} струм короткого замикання (I_{2k}) буде тим більше, а зовнішня характеристика тим менша, чим менше повний опір зварювального контуру $Z_{вн}$, тому що $I_{2k} = U_{20} / Z_{вн}$.

Зовнішня характеристика дозволяє судити про деякі особливостях машини й про її придатність для виконання заданої зварювальної операції. Площа прямокутника $OABC$ пропорційна корисній потужності $N_{зв} = I_2 U_2 = I^2 R_{зв}$.

Якщо з якої-небудь причини змінюється $R_{зв}$, у результаті чого змінюються також I_2 і U_2 , то значення $N_{зв}$ визначиться площею $OA'B'C' \neq OABC$.

При крутоспадаючій характеристиці незначний зсув точки B і B' не викликає великої зміни площі прямокутника – при зміні умов зварювання корисна потужність мало зміниться. При малій характеристиці зсув B'' у B''' викличе різку зміну $N_{зв}$. Тому при точковому і роликовому зварюванні, коли для одержання з'єднань стабільної якості бажано, щоб кількість тепла, виділюваного в зоні зварювання мало змінилося при змінах $R_{зв}$, доцільні машини із крутоспадаючою характеристикою. Навпаки, при стиковому зварюванні оплавлення краще пологоспадаюча характеристика, при якій зменшення опору зварювальному ланцюга в момент утвору перемички між оплавленими торцями деталей веде до різкого збільшення струму, що прискорює нагрівання й руйнування перемички – оплавлення йде стійкіше. Слід зазначити, що через наявність у зварювальному ланцюзі індуктивного опору $X_{Лвн}$ – струм при зміні її параметрів змінюється не миттєво, досягає свого значення, що встановилося, відповідає значення U_2 і I_2 по зовнішній характеристиці, тим скоріше, чим менше постійна часу зварювального ланцюга:

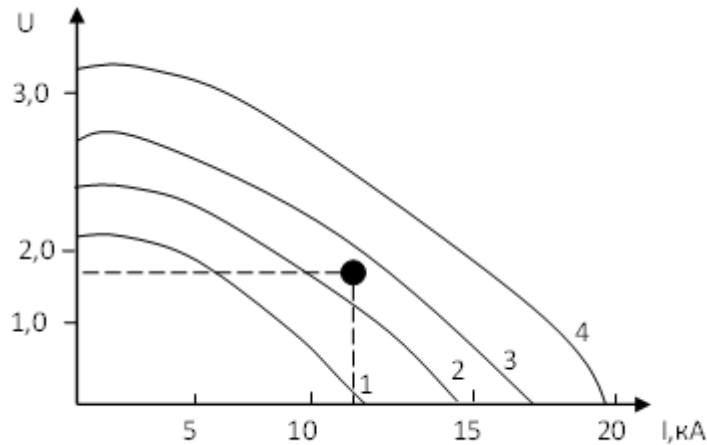
$$\tau = \frac{R_{св} + R_{вн}}{X_{Лвн}}$$

постійна часу зменшується зі зменшенням $X_{L_{BH}}$, тому для швидкого руйнування перемичок важлива не тільки полого характеристика (мале R_{BH}), але й малий індуктивний опір ($X_{L_{BH}}$).

Якщо відомі опір $R_{зв}$ і необхідний для зварювання струм I_2 , то по зовнішніх характеристиках машини можна визначити її придатність для виконання даної операції.

Приклад:

Зовнішні характеристики машини

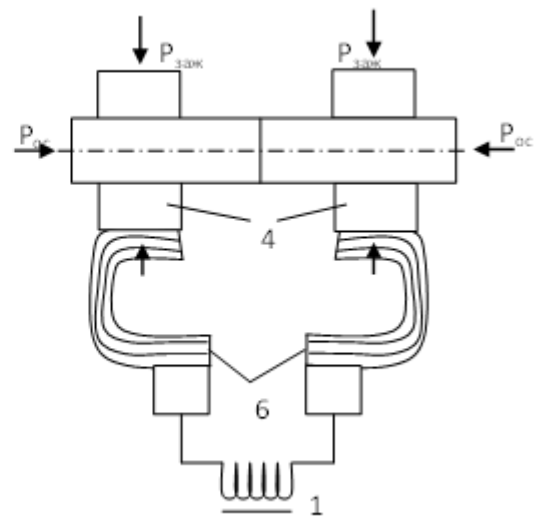
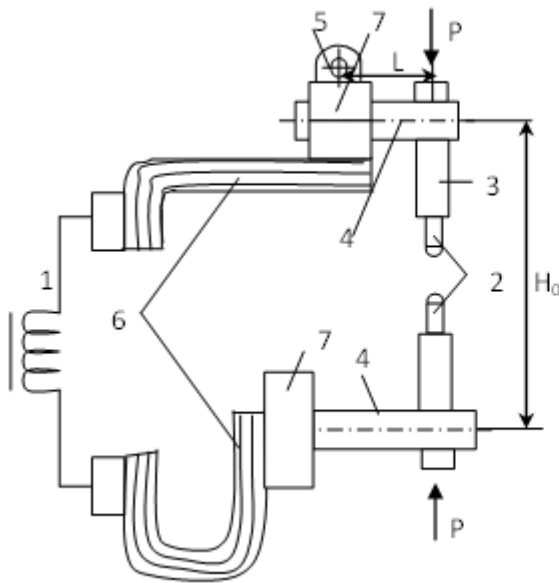


Відомо, що $R_{зв}=100\text{мкОм}$, а необхідний струм $I_2=12000\text{А}$, тоді напруга $U_2=R_{зв} I_2=1,2\text{В}$. По зовнішніх характеристиках визначаємо, що даний режим забезпечується машиною з характеристикою 3.

Загальні вузли контактних машин.

Зварювальний контур контактних машин.

Елементи, що з'єднують джерело живлення (трансформатор) з електродом утворюють зварювальний контур машини.



Зварювальний контур зазвичай складається з:

- а) електродів 2, що безпосередньо підводять струм до деталей, що зварюються, і передають необхідні зусилля для їхнього обтиснення. Іноді (у роликових машинах) електроди служать і для переміщення деталі.
- б) електродотримачів 3 для закріплення електродів.
- в) хоботів (у точкових і роликових машинах) або контактних плит (у стикових машинах) 4, з'єднаних з механізмами, що здійснюють стиск деталей з необхідним зусиллям P).

Під дією сил P хобот разом з електродотримачем переміщається для зближення електродів поступально (у машинах із прямолінійним ходом) або повертається навколо шарніра 5 (у машинах з радіальним ходом)

г) гнучких шин 6, що зв'язують колодки вторинного витка трансформатора з рухливими елементами контуру. У машинах малої потужності вторинний виток трансформатора іноді робиться гнучким з мідної фольги й може безпосередньо з'єднатися із тримачами хоботів 7 без проміжних шин.

Між елементами зварювального контуру є нерухливі або рухливі контакти (при роликовій зварюванні тримач жорстко пов'язаний з електродом роликом обертається).

Розміри контуру (корисний виліт L_0 й розчин H_0) обмежують габарити виробів, які можуть бути зварені з їхнім уведенням у контур машини. Тому що зі збільшенням L_0 і H_0 швидко росте внутрішній опір машини й падає її ККД і $\cos \varphi$, в універсальних машинах зазвичай виліт не перевищує 800-1000 мм, а розчин – 200-400 мм. Однак у деяких спеціальних машинах виліт досягає 3000 мм.

Усі елементи зварювального контуру, як правило, виготовляються з міді і її сплавів з досить високою електропровідністю й міцністю. Їхній перетин і взаємний розташування повинні бути такими, щоб при протіканні заданого струму й номінальному ПВ не було надмірних втрат на внутрішньому опорі контуру й перегріву його елементів, а також забезпечувалася необхідна зовнішня характеристика машини.

Значну частину активного опору контуру становить опір його контактів. В експлуатації розслаблення їх затягування й окиснення можуть різко змінювати опори машини. Тому контакти періодично розбираються й очищаються (при інтенсивній роботі – щомісяця) і систематично підтягуються.

Силові елементи контуру повинні мати достатню міцність і твердість, а електроди й рухливі контакти також зносостійкістю. Електродотримачі й хоботи повинні допускати швидко зміну електродів. Дуже важлива маневреність елементів контуру, що розширює можливість використання машини для зварювання вузлів складної форми. Маневреність найбільша якщо хоботи можна висувати (змінювати виліт L_0), розсовувати (змінювати H_0) взаємно зміщати в горизонтальній площині й, нарешті, повертати навколо своєї поздовжньої осі.

Станина й привід контактних машин.

Станина (або корпус) робиться звареною, а іноді для зменшення втрат енергії від магнітних потоків розсіювання литвою з немагнітного чавуну або сплавів алюмінію. Твердість станини, що сприймає зусилля стиску деталей, повинна бути достатньою для запобігання неприпустимого зсуву електродів або роликів, нерівномірного стиску рельєфів або скривлення стикуємих деталей.

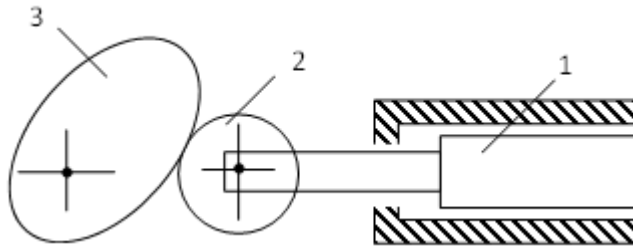
Привод у точкових і рельєфних машин переміщає електроди або плити й стискає деталі, у шовних – обертає ролики й стискає ними деталі, а в стикових – спочатку повільно зближає, а потім швидко здавлює затиснуті в губках деталі.

У малопотужних машинах зазвичай застосовують ручний, ножний, пружинний, механічний, електромагнітний; у машинах середньої потужності – пневматичний і пневмогідравлічний, іноді електромеханічний; у машинах великої потужності – гідравлічний. У масовім виробництві широко застосовується пневматичний привід.

Ручний важільний привід іноді застосовують при підігріві, оплавлення й осіданню в стикових машинах потужністю до 75 кВт (МС-1202, МС-1602). Система важелів служить для збільшення зусилля в стику. Зазвичай рухлива плита постачена покажчиком, який при переміщенні плити рухається уздовж шкали й по ній контролюється вкорочення деталей при підігріві, оплавленні й осаді.

Малопотужні стикові машини іноді забезпечуються пружинним приводом осаду, що стискає деталі при підігріві й (МС-201, МС-202).

В електромагнітному приводі зусилля стиску створюється електромагнітом при включенні його котушки в живильну мережу або в ланцюг зварювального струму.



У стикових машинах середньої потужності для оплавлення й осідання часто застосовується електромеханічний привод. Такий привод має електродвигун з регульованою або нерегульованою швидкістю обертання й систему зубчастих і черв'ячних передач. Наприклад, у стиковій машині МСМУ-150 рухливу плиту переміщає повзун 1 від кулачка 3 через опорний ролик 2. кулачок обертається від асинхронного електродвигуна через текстропну передачу з варіантом (як у машині МШП-100) змінні шестірні й черв'ячну передачу.

Електромеханічний привод стиску роликів має також деякі малопотужні роликові машини (наприклад, МШМ-25).

Ролик у шовних машинах приводиться в обертання через зубчасті й черв'ячні передачі від електродвигуна або безпосередньо від спеціального електродвигуна.

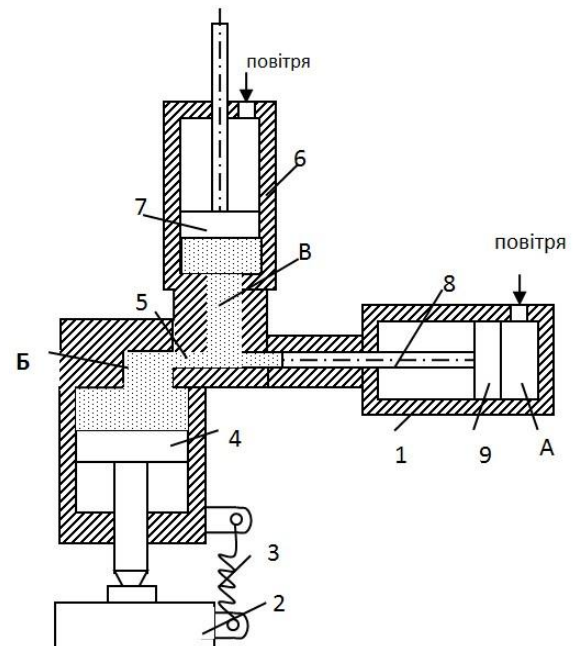
У більшості точкових і роликових машин для підйому й опускання верхнього електрода й стиску деталей використовується пневматичний привод, основною частиною якого є поршневий циліндр зі штоком і поршнем. Подача повітря в камеру циліндра здійснюється за допомогою електромагнітного пневматичного клапана.

Конструкція й принцип роботи пневмоприводу зазвичай аналогічна приводу машин МТП-100 або МШП-100. У деяких машинах використовується дисфрагментний пневмопривід.

Пневмопривід застосований у машинах: точкових – МТ-602, МТ-1605, МТ-1609, МТ-4001, МТПТ-600; роликових – МШ-1001, МШ-2001, МШП-200; стикових – МС-1604, і інших.

У потужних стикових точкових машинах іноді використовується пневмогидравлічний привід (МСЛ-300, МТПГ-150-2).

Повітря, що надходить у пневмоциліндр 6, впливає через поршень 7 на рідину 5, яка через поршень 4 прискорено опускає плиту 2. після попереднього затиснення деталей стиснене повітря (4-6 кг/див³) надходить у порожнину А циліндра 1. При цьому шток 8 поршня 9 перекривають порожнина В и створює високий тиск у порожнині Б. Цим тиском через поршень 4 здавлюються деталі. Плита 2 вертається у вихідне положення пружини 3.



У потужних стикових машинах (МСГУ-500) а також у рельєфних машинах застосовується гідравлічний привід. У гідравлічному приводі циліндри зазвичай працюють при високих тисках рідини (150-200атм) і мають значно менші розміри, чому в пневматичному приводі. Гідравлічний привід при якіснім виготовленні гідроапаратури досить надійний у роботі й швидкохідний.

Деякі стикові машини мають змішаний привід – електромеханічний при оплавленні й пневматичний, пневмогідравлічний або гідравлічний при осаді (МС-2501, МСЛ-300).

Перетворювачі енергії (джерела живлення).

1. Трансформатори.

У більшості контактних машин джерелом живлення є однофазний трансформатор, що перетворює енергію сіткової напруги в енергію необхідну для контактного зварювання.

Основними параметрами трансформатора є:

- а) первинна напруга (напруга живильної мережі 380В; і 220В)
- б) частота струму (зазвичай 50Гц, в окремих випадках 3-10Гц)
- в) вторинна напруга U_{20} (зазвичай U_{20} лежить у межах 1-24В)
- г) номінальна потужність $Н_{ном}$ (найбільше поширення мають машини із трансформаторами потужністю від кількох сотень ват до 300кВт. Іноді потужність трансформаторів досягає 1000 кВт й вище.
- д) номінальна тривалість включення ПВнОм.

Внаслідок низького U_{20} вторинна обмотка зварювальних трансформаторів має всього 1 або (при $U_{20}=20-24В$) два послідовні витки. В ідеальному трансформаторі умовно допускається, що опір первинної і вторинної обмотки дорівнює 0, відсутні втрати в сердечнику і відсутнє магнітне розсіювання, тобто весь магнітний потік, створюваний обмотками трансформатора повністю замикається через сердечник і одночасно пронизує обидві обмотки. У ідеального трансформатора ККД дорівнює 1 і для нього доречні наступні співвідношення:

$$U_1 = E_1 = 4,44 f w_1 \Phi_m$$

$$U_2 = E_2 = 4,44 f w_2 \Phi_m$$

$$U_1 / U_2 = W_1 / W_2 = n$$

$$W_2 = 1, n = W_1$$

де: U_1 – напруга мережі.

U_2 – напруга на затискачах вторинної обмотки трансформатора.

E_2 і E_1 – ЕРС первинної й вторинної обмотки.

W_1 і W_2 – число витків первинної й вторинної обмотки.

Φ_m – амплітудне значення магнітного потоку.

n – коефіцієнт трансформації.

f – частота струму.

У реальному трансформаторі частота індукційних ліній магнітного потоку замикається, минаючи сердечник і утворюючи магнітні потоки розсіювання. Потоки розсіювання створюють індуктивний опір обмоток реального трансформатора. Наявність активного й реактивного опору обмоток приводить до додаткового спадання напруги усередині цих обмоток ($E_1 < U_1$; $U_2 < E_2$). При розімкнутому вторинному ланцюзі ($I_2 = 0$) у первинній обмотки протікає струм холостого ходу I_{10} . Струм холостого ходу геометрично складається з реактивного струму, що намагнічує, і активного струму,

викликуваного втратами енергії в сердечнику гістерезису й вихрових струмів. У сучасних трансформаторах для контактного зварювання струм холостого ходу зазвичай не перевищує 10% від робочого струму.

Конструкція трансформаторів.

У машинах для контактної зварювання застосовуються три типи трансформаторів з різними сердечниками: стрижневий, броньовий і кільцевий. *Стрижневий трансформатор* простий у виготовленні, але має більші потоки розсіювання й низький ККД, застосовується рідко й тільки в машинах малої потужності.

1 – сердечник.

2 – первинна обмотка.

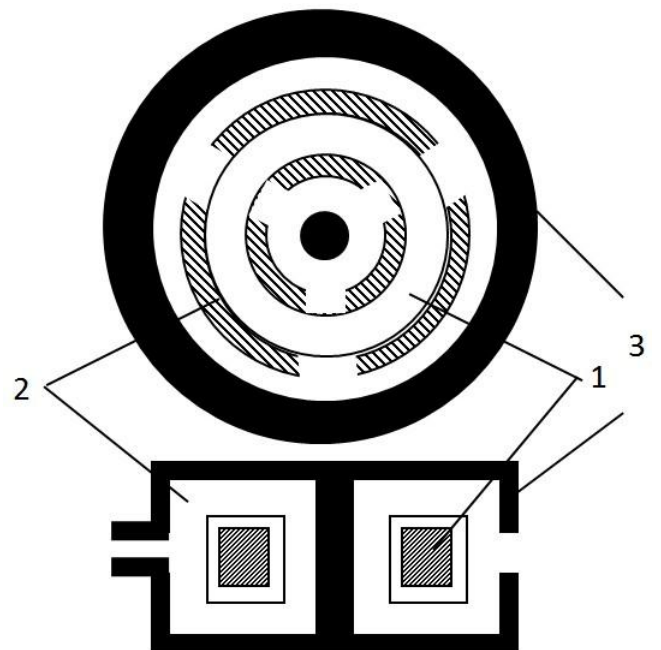
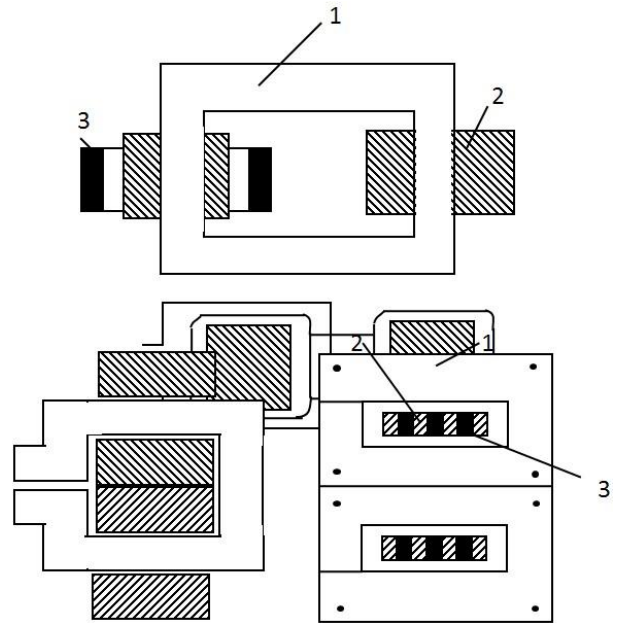
3 – вторинний виток.

Броньовий трансформатор.

На середньому стрижні сердечника розміщені елементи, що чергуються, вторинного витка й секції первинної обмотки. Елементи вторинного витка штампуються з мідного аркуша, по периферії до кожного витка припаюється трубка водяного охолодження. Броньові трансформатори для контактних машин одержали найбільше поширення для зменшення втрат енергії на вихрові струми сердечник трансформатора набирається зі смуг електротехнічної сталі, товщиною 0,3-0,5 мм, ізолюваних один від одного папером або лаком.

Кільцевий трансформатор.

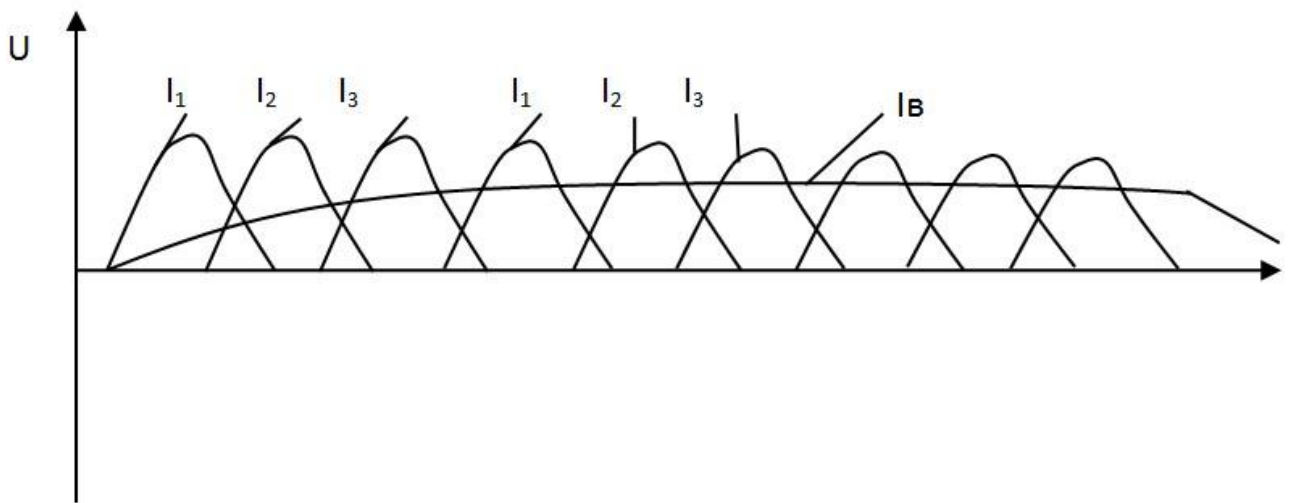
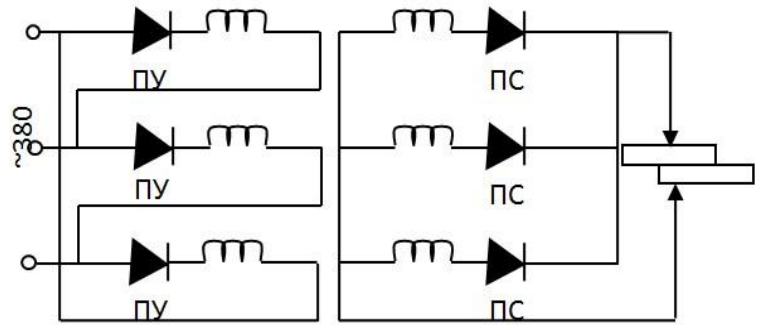
Кільцеві трансформатори іноді застосовуються в спеціалізованих стикових машинах для зварювання труб і в трубозварювальних станах.



2. Схеми живлення низькочастотних машин і машин з випрямленням струму.

У машинах з випрямленням струму використовується трифазний трансформатор.

Первинні обмотки трансформатора включені в мережу через керовані вентиля ПУ (ігнітрони або тиристори), тривалість включення яких визначає тривалість імпульсу. Імпульс струму, що випрямлюється, I_B виходить шляхом подачі в первинний ланцюг пакета імпульсів трифазної напруги однієї полярності.

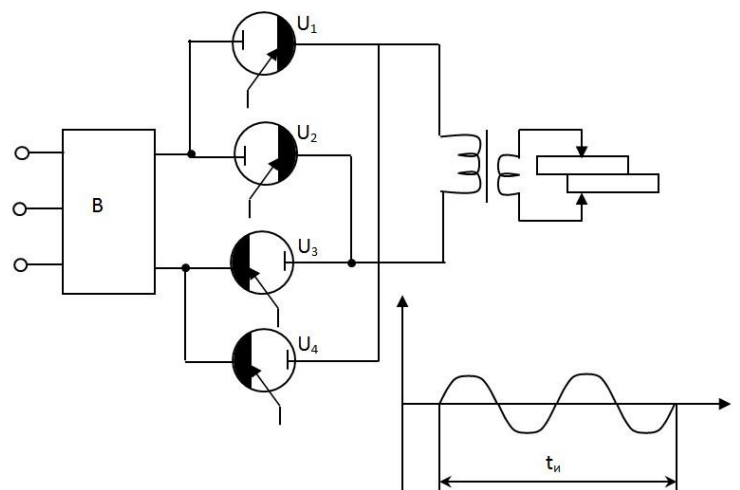


Більша індуктивність зварювального контуру машини згладжує пульсації випрямленого струму. Така система живлення при великому зварювальному контурі суттєво споживає з мережі потужність. Так, для приблизно однакових умов зварювання машини з випрямленим струмом споживають 480 кВт, а однофазна 2750 кВт. Ця система використана в потужних точкових машинах МТВ-63, МТВ-80, шовних МШВ-16, МШВ-63, а також у рельєфних МРВ-63, МРВ-40, МРВ-80.

У низькочастотних машинах частота перетворюється почерговою подачею на зварювальний трансформатор імпульсів випрямленої напруги протилежної полярності.

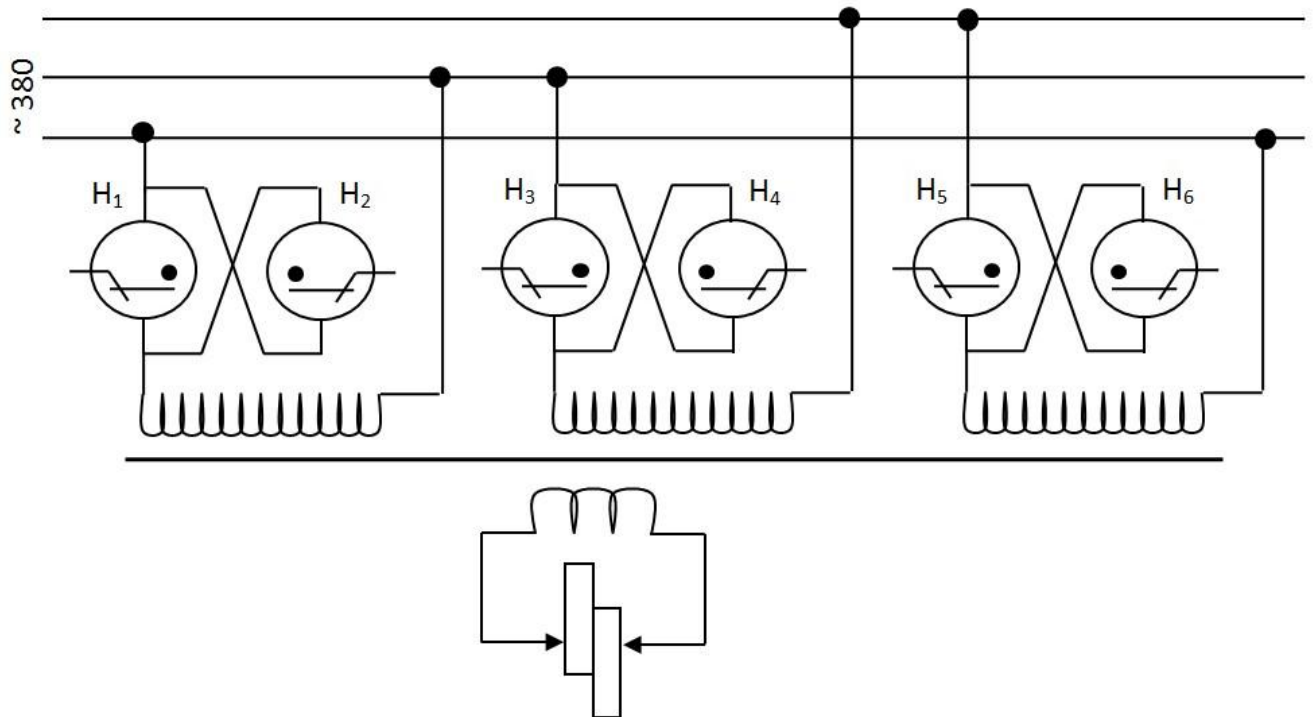
Напруга однієї полярності досягається при одночаснім включенні випрямляча В з ігнітронами U_1 і U_3 , а зворотної полярності при одночаснім включенні випрямляча й ігнітронів U_2 і U_4 . Тривалість зварювального імпульсу $t_{и}$ визначається тривалістю включення випрямляча, а частота струму частотою включення ігнітронів.

У точкових машинах для зварювання легких сплавів одним імпульсом продуктивністю до 50 точок у хвилину замість ігнітронів



застосовують механічні контактори, що включаються без зварювального струму електромагнітним або пневматичним приводом.

У низькочастотних машинах використовують також схеми перетворення із трифазним трансформатором, у яких ігнітрони U_1 ; U_3 і U_5 включаються спеціальною схемою керування зі зсувом в 120° і пропускають по черзі струм через первинні обмотки трансформатора ТС, так щоб магнітні потоки склалися



Якщо включені ігнітрони U_2 , U_4 , U_6 , то до обмоток прикладається напруга зворотної полярності й у зварювальному контурі індуктується струм зворотної напруги.

Трифазний випрямляч забезпечує рівномірне завантаження фаз і знижує при малому індуктивному й активному опорі контуру споживану потужність.

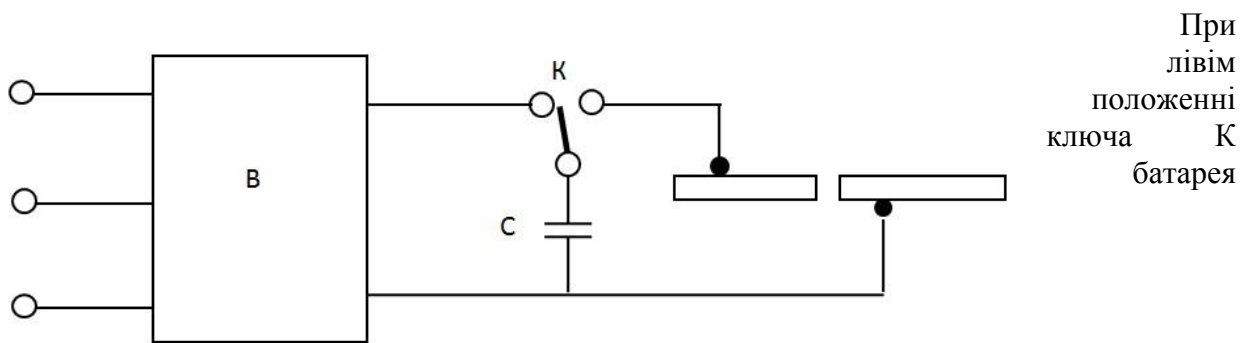
Імпульсні схеми живлення.

Імпульсними називаються схеми живлення, у яких енергія, споживана від мережі, витрачається на зварювання не безпосередньо (через понижувальний трансформатор), а перетворюється в імпульс спеціальної форми. Такі схеми обов'язково мають накопичувач енергії, у якому запасється суворо дозована заздалегідь задана кількість енергії. Такий накопичувач зазвичай є електростатичне поле конденсаторів або електромагнітне поле сердечника спеціального трансформатора.

Головна перевага імпульсних схем полягає в тому, що необхідна для зварювання енергія забирається з мережі повільно, тобто при малій споживаній потужності, а витрачається швидко механічно оптимальної потужності, а також є можливість суворого дозування енергії, що витрачається на одне зварювання.

Основна область застосування імпульсних схем – зварювання деталей малої товщини й сплавів з високої електро- і теплопровідністю.

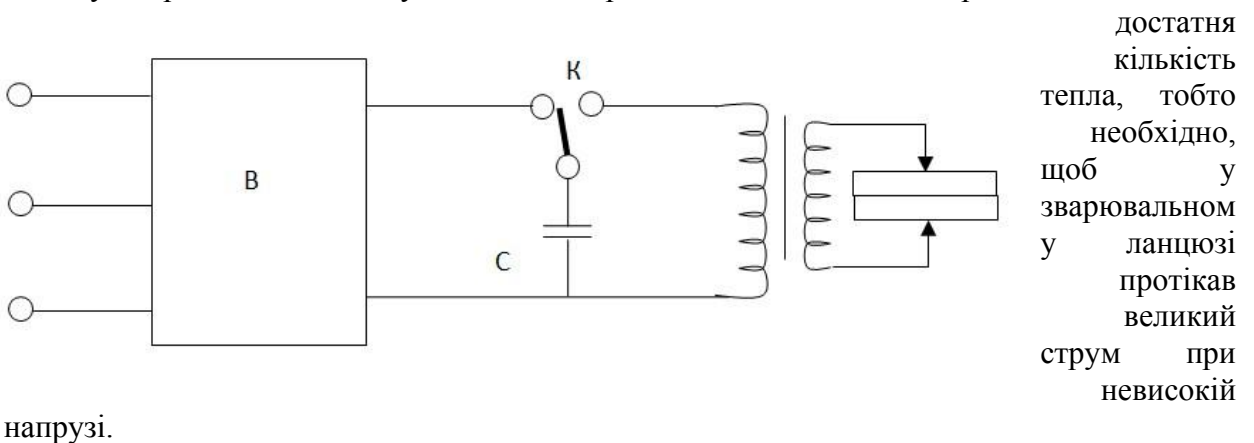
Найчастіше в якості накопичувача енергії використовується батарея конденсаторів. Існує дві схеми конденсаторного зварювання: безтрансформаторна й з понижувальним трансформатором. Безтрансформаторна схема застосовується для стикового зварювання опалвленням.



конденсаторів С заряджається від високовольтного джерела постійного струму, яким може бути випрямляч або спеціальний генератор.

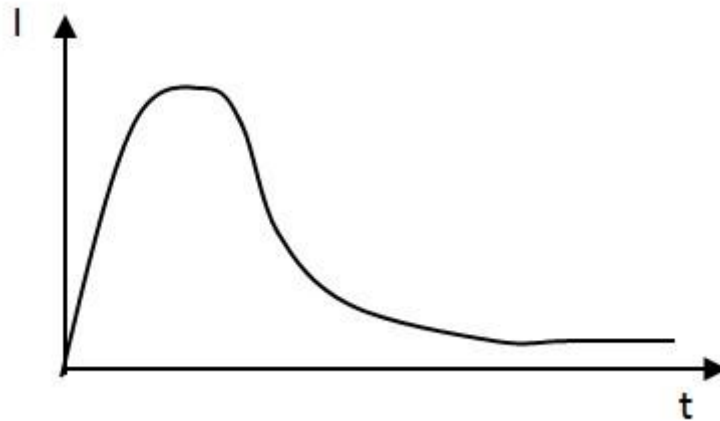
Після закінчення зарядки ключ переводиться в праве положення, і конденсатор розряджається при швидкій зближенні деталей. При протіканні через деталі, що зварюються потужного короткочасного імпульсу струму (тривалістю(4-10)10-4сек) торці деталей опалвляються, а потім осаджуються й зварюються.

При роликовому й точечно-конденсаторному зварюванні зазвичай застосовується схема з понижувальним трансформатором, тому що в цьому випадку необхідно, щоб при малому опорі деталей затиснутих між електродами машини в зоні зварювання виділялася

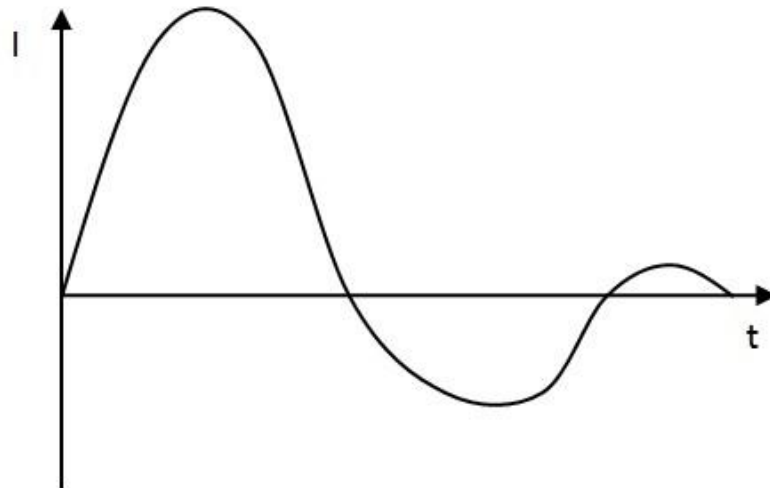


Форма кривої розрядного струму залежить від співвідношення індуктивності зварювального ланцюга, її активного опору і ємності конденсаторів.

При $R > 2\sqrt{\frac{L}{C}}$ розряд конденсаторів буде аперіодичним (R і L омичний опір і індуктивність зварювального ланцюга, наведені до первинного ланцюга трансформатора $R=n^2R_2$; $L=n^2 L_2$ n – коефіцієнт трансформації).



При $R < 2\sqrt{\frac{L}{C}}$ розряд конденсаторів буде носити коливальний характер.



У машинах для контактного конденсаторного зварювання співвідношення R , L і Z_i зазвичай вибирається таким щоб забезпечувався коливальний розряд, при якому основна частина енергії виділяється протягом першої півхвилі. Іноді при великому опорі в зоні зварювання, розряд стає аперіодичним.

Кількість енергії, що запасається батареї конденсаторів визначається по формулі:

$$W = CU^{2/2} \quad (1)$$

де C – ємність батареї конденсаторів;

U – напруга зарядки конденсаторів.

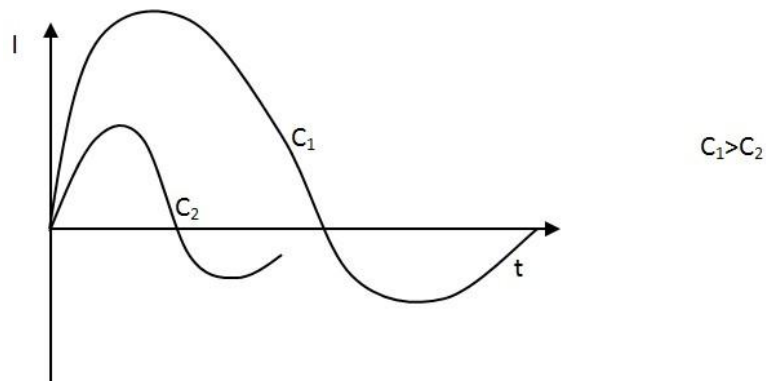
Тому доцільно застосування високих напруг зарядки конденсаторів.

Напруга зарядки обмежується умовами безпеки. При нагромадженні невеликої енергії (0,1-0,2 кВт/сек) напруга не перевищує 1000В. Якщо воно вище, то застосовують проміжні трансформатори, що знижують напругу на зварювальному трансформаторі. Машина з енергією до 1кВт/сек живляться від однофазної мережі (наприклад, ТКМ-7). Потужніші машини (наприклад, МТК-75 з енергією до 22квтсек) від трифазного зарядного трансформатора через випрямляч при стабілізації напруги зарядки. З формули (1) бачимо, що величини енергії, що накопичується в конденсаторах можна регулювати зміною ємності батареї конденсаторів або зміною напруги їх зарядки.

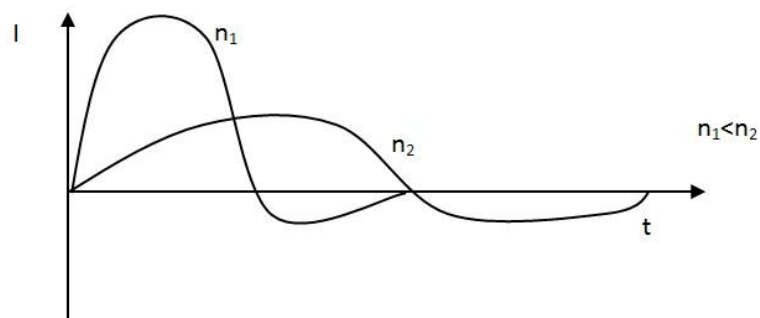
У більшості машин енергію необхідну для зварювання встановлюють, змінюючи ємність конденсаторів.

Форму кривої розрядного імпульсу можна змінювати зміною ємності конденсаторів, напруги їх зарядки й коефіцієнта трансформації.

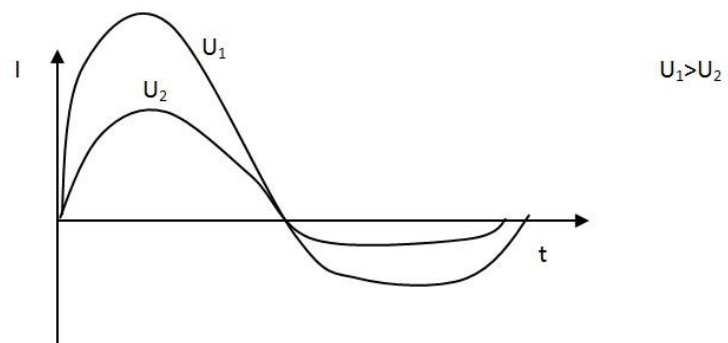
При збільшенні ємності конденсаторів зростає амплітуда розрядного струму й тривалість імпульсу.



При збільшенні коефіцієнта трансформації зменшується амплітуда розрядного струму й за рахунок цього збільшується тривалість імпульсів (енергія імпульсів від n не залежить).



При збільшенні напруги зарядки конденсаторів зростає амплітуда імпульсу, а його тривалість залишається без зміни.



Апаратура керування машин для контактного зварювання.

Робота електричних, механічних, пневматичних і гідравлічних будов машини управляє електрична, пневматична й гідравлічна апаратура. Апаратура керування здійснює включення вимикання різних будов машини в заданій послідовності, іноді контролюючи або регулюючи основні параметри процесу.

Включення й вимикання струму здійснюється контакторами або спеціальними переривниками. Пневматична апаратура керування складається із клапанів, редукторів, лубрикаторів і ін.

Контактори.

У контактних машинах застосовуються асинхронні й синхронні контактори. Асинхронні контактори включають і виключають змінний струм у довільний момент часу, не зв'язаний по фазі із синусоїдою струму. Більш досконалі синхронні контактори включають струм у заданій точці синусоїди, а виключають струм тільки при його нульовім значенні.

Іноді асинхронні контактори, що включають струм у довільній точці синусоїди, а, що виключають струм при його переході через нуль, називаються напівсинхронними. Трансформатор і особливо зварювальний контур має велику індуктивність, тому при їхньому включенні на синусоїдальну напругу струми в первинній і зварювальній ланцюгах досягають своїх значень, що встановилися, не відразу, а тільки поле закінчення коливального перехідного процесу. Характер і амплітуда цих коливань залежить від того, у якій точці синусоїди здійснюється включення струму.

Незважаючи на те, що встановлений стан у зварювальному ланцюзі досягається відносно швидко (протягом 1-3 періодів змінного струму), коливання у величині струму. Пов'язані з асинхронним включенням, можуть суттєво впливати на зварювальне нагрівання, особливо при точковому зварюванні на «твердих» режимах і при роликовім зварюванні.

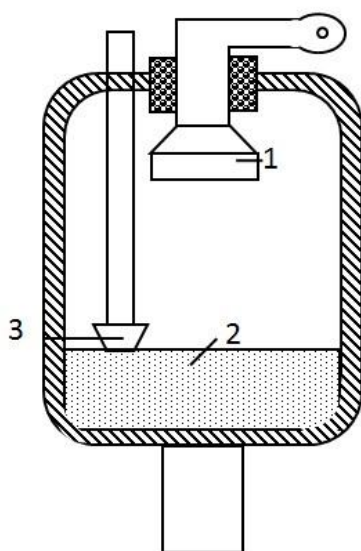
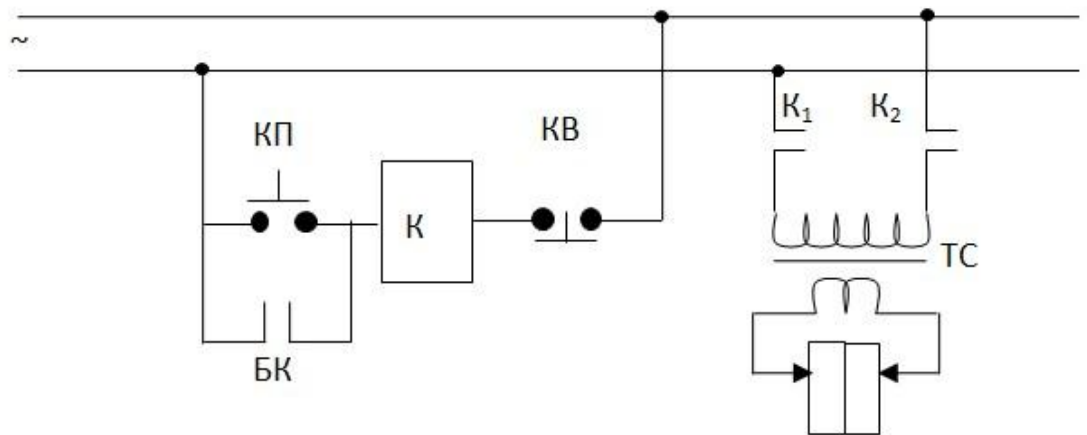
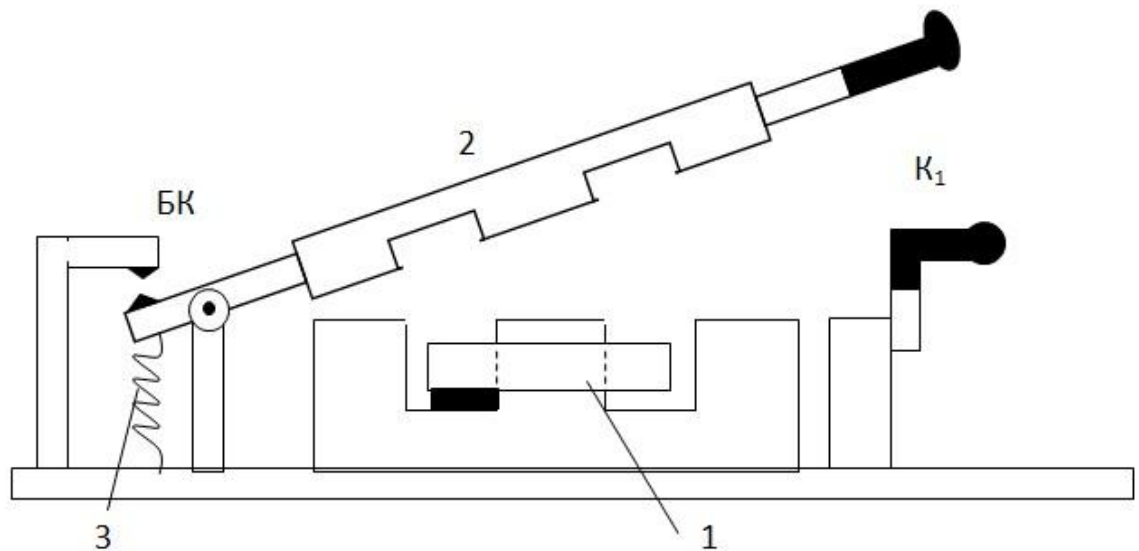
Не менш суттєво при контактнім зварюванні синхронне вимикання струму. Якщо струм вимикається не при нульовому значенні, то в контакторі виникає електрична дуга, що руйнує контакти й затримуюча дійсне вимикання струму на $t_d=0,02-0,05$ сек стосовно моменту спрацьовування контактора. При випадковому спрацьовуванні контактора поблизу нульового значення струму дуга не загоряється й запізнювання не буде. Затягування вимикання струму також як і несталі процеси при його включенні, ведуть до нестабільності енергетичних параметрів зварювання.

У машинах для контактного зварювання встановлюються електромагнітні, а також ігнітронні або тиристорні контактори. Електромагнітні контактори є асинхронні, а ігнітронні й тиристорні залежно від схеми запалювання – синхронними або напівсинхронними.

Електромагнітні контактори.

Коли час включення струму досить велике ($t_{зв}>0,25-0,35$ сек) нестабільність режиму, пов'язана з асинхронним включенням і вимиканням струму, мало позначається

на стабільності якості з'єднання. У цих випадках, зокрема машинах для стикового зварювання широко застосовуються прості й дешеві електромагнітні контактори.

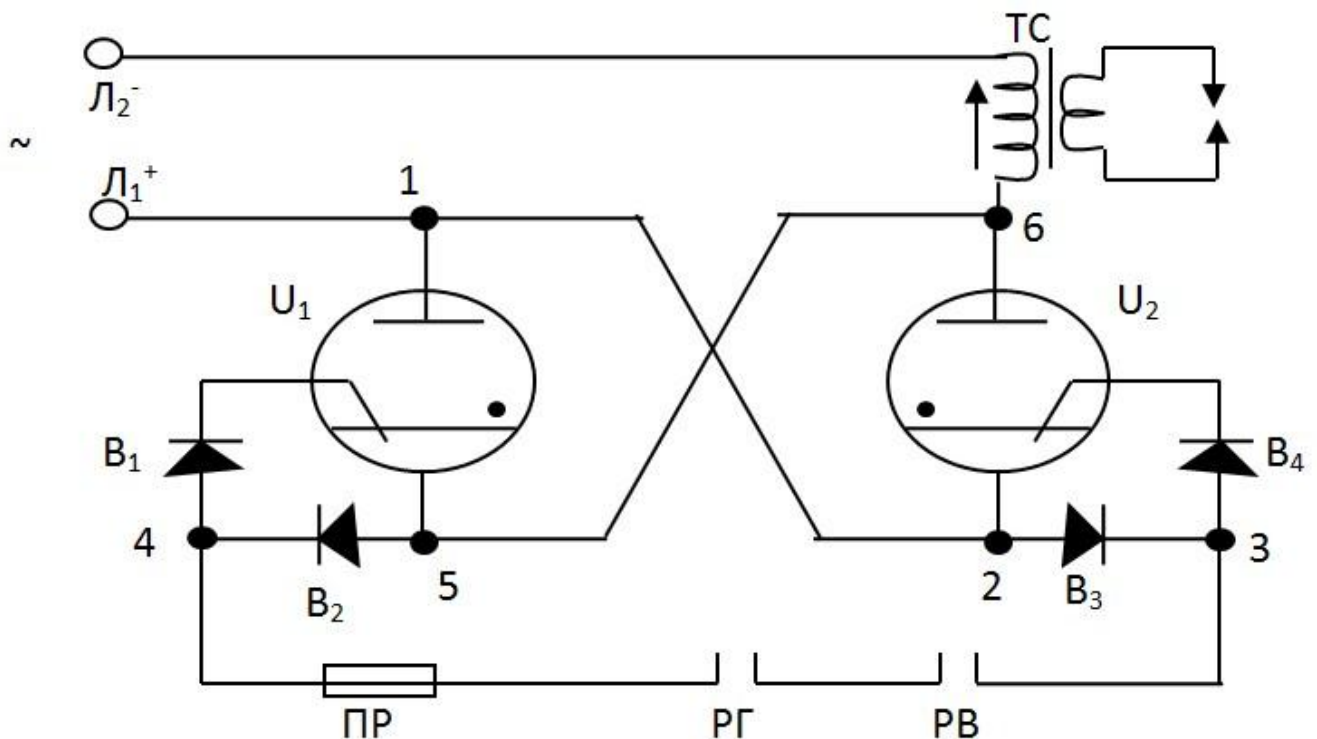


При натисканні кнопки КП замикається ланцюг котушки 1 контактора К, яка притягає якорь 2, замикаються силові контакти K_1 і K_2 , що включають зварювальний трансформатор і блокувальні контакти БК. Після закінчення зварювання (наприклад, після оплавлення й опаді на задану величину при стиковім зварюванні) спрацьовує кінцевий вимикач КВ, що розмикає ланцюг котушки контактора П. При цьому якорь контактора вертається у вихідне положення під дією пружини 3 і розмикаються контакти K_1 і K_2 , відключаючи трансформатор.

Ігнітронні й тиристорні контактори.

У точкових і роликівих машинах включення й вимикання струму зазвичай здійснюється ігнітронними або тиристорними асинхронними (напівсинхронними) або синхронними контакторами. Ігнітрон являє собою керований газорозрядний ртутний прилад, що пропускає струм одного напрямку при горінні дуги між сталевим або графітовим анодом 1 і ртутним катодом 2. Ігнітрон приводить струм при подачі на його палій, яким зазвичай є напівпровідниковий кристал карбіду бору або карборунду частково занурений у ртуть, позитивного, щодо катода, напруга 15-20В перед кожним періодом горіння основної дуги. Основна дуга запалюється менш ніж, через 0,001 сек після порушення допоміжної (чергової дуги) між підпалювачем і ртутним катодом (допоміжна дуга іонізує пари ртуті в балоні ігнітрона і якщо при цьому на анод подана позитивна, щодо катода напруга, то між ними запалюється дуга). При включенні ігнітрона в ланцюг змінного струму анодний струм починає протікати в позитивний півперіод при наявності напруги підпалу на палії. При переході струму через нуль ігнітрон гасне. Протягом негативного півперіоду пари ртуті встигають повністю деіонізуватися й для запалювання ігнітрона в наступний позитивний півперіод необхідний новий імпульс підпалу.

У машинах малої й середньої потужності ігнітрони замінюються тиристорами – чотиришаровими напівпровідниковими керованими приладами типу ВКДУ-150, ВКДУ-320, Т-320, Т-600. Тиристор, як ігнітрон пропускає струм тільки одного напрямку й тільки при подачі на керуючий електрод імпульсу запуску. Тиристор може включатися при подачі на керуючий електрод низької напруги (1-6В) і протіканні невеликого струму 80-300 мА, (в ігнітрона 10-30А). Крім того, тиристор значно менше ігнітрона за обсягом і ваги. Асинхронний ігнітронний контактор типу КИА містить два зустрічно паралельно включені ігнітрони, що забезпечують протікання струму через трансформатор в обоє



півперіоду сіткової напруги.

Палій ігнітронів включені через вентиля В 1-В4 плавкий запобіжник ПР, контакт реле часу РВ, що визначає час роботи контактора й контакт гідрореле РГ. Контакт РГ замикається тільки при достатній витраті води, що прохолоджує ігнітрони.

Припустимо, що в перший півперіод полярність сіткової напруги, така як зазначено на схемі.

У цьому випадку провідним може бути тільки ігнітрон U_1 , у якого на аноді $+$. Якщо контакт РВ замкнеть, то в ланцюзі палія ігнітрона U_1 протікає струм по шляху:

Л 2-В 4-В 1-ПУ -С-Л2.

Ігнітрон U_1 запалюється й пропускає через первинну обмотку півхвилю струму в напрямку зазначеною стрілкою по шляху:

Л1-1-и Тих-Л2

У наступний півперіод полярність сіткової напруги міняється на протилежну. Ігнітрон U_1 гасне, а провідним може бути ігнітрон U_2 , у якого тепер $+$ на аноді. Якщо контакт РВ залишається замкненим, то в ланцюзі палія ігнітрона U_2 протікає струм по шляху:

Л 5-В 3-В 4-ПУ 1-Л1

При цьому запалюється ігнітрон U_2 і пропускає через первинну обмотку трансформатора півхвилю струму в напрямку назад зазначеному стрілкою по шляху.

Л 6-и 1-Л1

Таким чином, зустрічно паралельне включення ігнітронів забезпечує протікання через первинну обмотку трансформатора змінного струму. При розмиканні контакту РВ палаючий ігнітрон відключається не одразу, а тільки при переході струму через нуль. Аналогічну схему має асинхронний тиристорний контактор.

У синхронному тиристорному контакторі КТС, запуск тиристорів здійснюється спеціальною напівпровідниковою схемою керування, що забезпечує включення тиристорів у заданій (установлюваної за допомогою регулятора) точці синусоїди.

У точкових і роликівих машинах широко застосовуються синхронні ігнітронні переривники типу ПИТ і ПИШ. Ці переривники забезпечують синхронне включення струму в заданій точці синусоїди, установлюваної потенціометром нагрівання, а також схему стабілізації струму й схему коректування, що забезпечує рівність півхвиль струму через трансформатор в обоє півперіоду.

Переривник ПИТ забезпечує пропущення одного імпульсу струму тривалістю від 1 до 19 періодів (тривалість імпульсів установлюється перемикачем «імпульс»).

Переривник ПИШ забезпечує пропущення через трансформатор імпульсів струму, що чергуються з паузами. Тривалість імпульсів і пауз установлюється в межах від 1 до 19 періодів перемикачами «імпульс» і «пауза».

У точкових машинах послідовність і тривалість елементів циклу зварювання точки «стиск», «зварювання», «проковування» і «пауза» задається за допомогою електронного реле часу типу РВЭ-7, РВЭ-8. Більш точний відлік тривалості кожної операції можливий у цифрових пристроях типу регулятора РВД-200, що працює на напівпровідниках з декатронами лічильниками або регулятор РЦС-403, РСЦС-5, побудованих на транзисторних безконтактних елементах «логіка». У цих регуляторах відлік часу будується по числу періодів змінного струму.

Машина для стикового зварювання.

Типові машини.

Машина МСУ-150 призначена для зварювання деталей з низьковуглецевої сталі перетином до 1000 мм² безперервним оплавленням і до 2000 мм² оплавленням з підігрівом. Привод оплавлення й опаді електромеханічний, затискачі пневматичні. Швидкість оплавлення регулюється сталевим кулачком змінними шестірнями й текстропною передачею $N_{ном}=150\text{кВт}$.

Машина МС-1604 призначена для зварювання оплавленням і оплавленням з підігрівом деталі із чорних і кольорових металів перетином до 300 і 1500 мм² відповідно. Затискачі машини пневматичні. Привод оплавлення й опаді пневматичний. Тривалість імпульсу підігріву, опаді під струмом і без струму задаються електронним регулятором. Підігрів здійснюється автоматично за допомогою електронного реле напруги. Контактір – ігнітронний. Зусилля опаді досягають 5т, швидкість оплавлення від 0,15-20мм/сек, швидкість опаді 250мм/сек.

Машина МС-1202 і МС-1602, розраховані на зварювання деталей з маловуглецевої сталі перетином 300 і 600 мм² мають ручний важільний привод, відповідно $I_{ном}=1200\text{А}$ и 16000А ; $N_{ном}=55\text{кВт}$ й $96,5\text{ кВт}$.

Машина МСЛ-300 призначена для зварювання безперервним оплавленням смуг зі сталі й кольорових металів товщиною 1,5-6 мм і шириною до 300мм. Привод оплавлення електромеханічний, період оберту кулачка, що переміщає пересувну плиту при оплавленні, регулюється зміною швидкості обертання двигуна постійного струму.

Привод опаді й затискачів пневмогідралічний. Контактір – електромагнітний. Машина комплектується гратознімачем плужкового типу $N_{ном}=300\text{кВт}$.

Машина МС-2501 призначена для зварювання смуг з низьковуглецевих сталей товщиною 0,8-3,5мм і шириною 30-250мм. Затискачі пневматичні. Привод оплавлення електромеханічний, опаді – пневматичний. Машина постачена гратознімачем.

Машина МСГУ-500 призначена для зварювання оплавленням і оплавленням з підігрівом деталей з низьковуглецевої й низьколегованої сталі перетином до 8000мм². Затискачі машини пневмогідралічні. Привід оплавлення й опаді гідралічний.

Машина МС-201 і МС-202 призначені для зварювання дроту з вуглецевої сталі діаметром 0,5-3мм і 1,6-6мм із термообробкою в машині. Машина має пружинний привод, що забезпечує для діапазону регулювання опаді для кожної машини від 0,1 до 1,6 і від 0,2 до 3,2 кг, а також від 1,0 до 5,6 і від 1 до 10кг, МС-201 $I_{ном}=1600\text{а}$.

Машини для точкового зварювання.

Типові машини.

Машина МТ-601 призначена для точкового зварювання деталей з низьковуглецевої сталі. Машина має радіальний хід верхнього електрода й пневматичний привод стиску ($P_{\max}=200\text{кг}$). Регулятор часу на електронній лампі забезпечує плавне регулювання тривалості зварювання й пауз. Контактір електромагнітний.

$U_{20}=1,5-2,5\text{В}$ $I_{\text{ном}}=6300\text{А}$ $N_{\text{ном}}=14,2\text{кВт}$.

Машина МТ-602 такого ж виконання, але замість електромагнітного контактора має асинхронний переривник на тиристорах.

Машина МТ-605 призначена для точкового зварювання деталей з вуглецевої сталі товщиною до $5+5\text{мм}$, нержавіючої сталі до $1,2+1,2\text{мм}$ і алюмінієвих сплавів до $0,8+0,8\text{мм}$. Машина має прямолінійний хід верхнього електрода від пневмоприводу ($P_{\max}=650\text{кг}$) $U_{20}=3-6\text{В}$. Контактір ігнітронний.

Машина постачена безконтактним регулятором циклу зварювання типу РСЦС-5. У пневмосистемі передбачені більші прохідні отвори, установлений швидкодіючий клапан КПЭД-5, полегшений повзун і циліндр із діафрагменним приводом. Це дозволяє одержувати на машині до 500 точок у хвилину.

$I_{\text{ном}}=76000\text{А}$ $N_{\text{ном}}=85\text{кВт}$.

Машина МТ-1609 відрізняється від МТ-1605 радіальним ходом верхнього електрода й меншим темпом роботи (до 150 точок у хвилину). Вона призначена для зварювання низьковуглецевої сталі товщиною $0,5-2,5\text{мм}$ на твердому режимі й до $5+5\text{мм}$ на м'якому.

$I_{\text{ном}}=16000\text{а}$, $N_{\text{ном}}=85\text{кВт}$.

Машина МТ-4001 призначена для зварювання деталей з низьковуглецевої сталі товщиною від $3,5+3,5\text{мм}$ до $12+12\text{мм}$. Машина має ігнітронний контактор і електронне реле часу типу РВЭ-7 або РВЭ-8. Привод стиску – пневматичний.

Машина МТПТ-600 призначена для точкового зварювання деталей з алюмінієвих сплавів товщиною від $1,5+1,5$ до $4,0+4,0\text{мм}$ імпульсом випрямленого струму. Привод стиску пневматичний діафрагменний. Машина має електродвигун додаткового ходу, що дозволяє встановлювати до зварювання верхній електрод у необхідне положення. Випрямляч зібраний по трифазній мостовій схемі на ігнітронах.

$I_{\text{ном}}=100000\text{а}$, $N_{\text{ном}}=600\text{кВт}$.

Машина ТКМ-7 призначена для точкового конденсаторного зварювання деталей товщиною до $0,5-0,7\text{мм}$ і таким же або більш товстим металом.

Машина МТВ-6303 $N_{\text{ном}}=500\text{кВт}$ товщиною деталей, що зварюють: коррозійно-стійких сталей $3-12\text{мм}$, алюмінієвих сплавів $1-3,5\text{мм}$

$R_{зв}=1000-6000\text{кгс}$, $R_{пр_{\max}}=10000\text{кгс}$.

Машина МТК-75 призначена для точкового конденсаторного зварювання деталей з алюмінієвих сплавів товщиною від 0,3+0,3мм до 2,5+2,5мм. Максимальна енергія, що запасасться в конденсаторах, 22кВт.сек. Випрямляч заряду конденсатора трифазний ігнітронний. Привод такий же, як у машині МТПТ-600. Максимальний імпульс струму досягає 80ка. Так само виготовляються машини МТК-1201 (енергія 0,24 кВт.сек), МТК-5-3 (енергія 2,7кВт.сек), МТК-6301 (енергія 9,8+166,6кВт.сек).

Машини для шовного зварювання.

Типові машини.

Машина МШ-1001 призначена для поздовжнього й поперечного шовного зварювання деталей з низьковуглецевої сталі товщиною до 1,2+1,2мм. Машина має пневматичний привод з радіальним ходом ролика. Універсальна поворотна головка із вбудованим безступінчастим приводом обертання ПСМ-0,17 забезпечує поздовжнє й поперечне зварювання. Трансформатор включається електромагнітним контактором.

$I_{ном}=10000\text{а}$, $N_{ном}=27\text{кВт}$.

Машина МШ-2001 призначена для поздовжнього й поперечного шовного зварювання деталей з низьковуглецевої й легованої сталі товщиною від 0,5+0,5мм до 1,8+1,8мм. Машина постачена синхронним ігнітронним переривником. Привод стиску пневматичний. Верхня головка має карданний безступінчастий привод ПМС із відцентровим регулятором швидкості.

$I_{ном}=20000\text{А}$, $N_{ном}=130\text{кВт}$.

Машина МШП-200-5 призначена для поперечної, а машина МШП-200-6 для поздовжнього зварювання низьковуглецевої й легованої сталі товщиною до 2,5+2,5мм. Ролики приводяться від асинхронного електродвигуна через карданний вал і систему зубчастих і черв'ячних передач. Машина забезпечується асинхронним ігнітроном переривником типу ПИШ-100-4

$N_{ном}=200\text{кВт}$

Машина МШВ-6301 $N_{ном}=450\text{кВт}$, $I_{ном}=63\text{кА}$. Товщина деталей, що зварюються, з коррозійно-стійких сталей 0,3-2,5мм, алюмінієвих сплавів 0,5-2,5мм

$R_{зв}=200-1100\text{кгс}$, $R_{пр}=2200\text{кгс}$, $V_{зв}=0,2-8\text{м/хв}$.

Список літератури:

1. В. Д. Орлов (Технологія й устаткування контактного зварювання) Машинобудування, 1975 р.
2. Н. С. Кабанів “Зварювання на контактних машинах”, 1973 р.
3. А. С. Гельман “Технологія й устаткування контактного зварювання”, 1960 р.
4. Л. В. Глебов, Ю К. Філіппов і ін. “Установка й експлуатація машин для контактного зварювання”, 1973 р.
5. П. Л. Чулошников “Точкове й роликове зварювання легованих сталей і сплавів”, Машинобудування, 1974 р.
6. О. Орлов, П. Л. Чулошников “Контроль точкового й роликового зварювання”, 1973 р.
7. В. Е. Недорезов “Електрозварювальні машини”, 1977 р.