УДК 621.791.14

ОСНОВНІ ОСОБЛИВОСТІ ЗВАРЮВАННЯ ТЕРТЯМ

В.В. Якименко , студент магістратури, **А.М. Євдокимова,** доктор техн. наук
Одеський державний аграрний університет

Розглянуто основні особливості одержання нерухомих з'єднань зварювання тертям і показані переваги цього виду зварювання, а також необхідність мати для її здійснення спеціальні машини тертя, здатні забезпечувати швидкий останов обертання і значні зусилля притиску в другій стадії процесу зварювання.

Ключові слова: тертя, зварювання, переваги, недоліки, машини для зварювання.

Вступ. В даний час при виготовленні і ремонті машин і механізмів і різноманітних з'єднань застосовують різні способи, що забезпечують нерухоме з'єднання матеріалів [1-3]. Видне місце серед них займає зварювання, усі відомі способи якої звичайно розділяють на дві великі групи: зварювання плавленням і зварювання тиском (або інакше - пластичним деформуванням).

Аналіз останніх досліджень та публікацій. При зварюванні плавленням крайки деталей, що з'єднуються, розплавляються і зазор між ними заповнюється розплавленим металом; утворення нероз'ємного з'єднання відбувається в результаті охолодження і спільної кристалізації металу деталей, що зварюються і присадочного металу (у тих випадках, коли він додається). Зварювання тиском відбувається, як правило, у твердій фазі, без розплавлювання металу; нероз'ємне з'єднання утвориться в результаті зближення поверхонь, що зварюються, до таких малих відстаней (порівнянних з між атомними), при яких у відомих умовах між сполученими точками цих поверхонь виникають міцні зв'язки, аналогічні силам взаємодії атомів у цільному шматку металу. Кожен такий одиничний зв'язок незначний по величині; зварене з'єднання може вийти лише в тому випадку, коли число таких зв'язків (взаємодіючих точок) буде дуже великим. Однією з необхідною (однак ще недостатньою) умовою для цього є висока пластичність металу на сполучених поверхнях деталей, що зварюються. Деякі метали, наприклад мідь, алюміній, свинець, срібло (досить пластичні в нормальних умовах), зварюються тиском при кімнатних і навіть при негативних температурах. Такий процес з'єднання пластичних металів називається холодним зварюванням. Інші метали для зварювання у твердій фазі повинні бути піддані штучному підвищенню пластичності шляхом нагрівання поверхонь, що з'єднуються, до більш-менш високих температур, що не перевищують, однак, точок плавлення. До зварювання тиском відносяться ковальська, газопресова, електрична контактна й інші. Зварювання тертям також є різновидом зварювання тиском: зварене

з'єднання утвориться в результаті спільного пластичного деформування деталей, що з'єднуються, у твердій фазі. Від інших видів зварювання тиском вона відрізняється насамперед способом нагрівання, точніше, - способом введення тепла в деталі, що зварюються. При зварюванні тертям механічна енергія безпосередньо перетвориться в теплову, причому генерування тепла відбувається строго локалізовано в тонких приповерхніх шарах металу. Ця особливість процесу визначає основні достоїнства зварювання тертям.

Мета досліджень. Метою статті є дослідження основних достоїнств зварювання тертям і можливостей її використання в промисловості.

Результати досліджень. Найпростіша схема процесу зварювання тертям зображена на рис. 1.

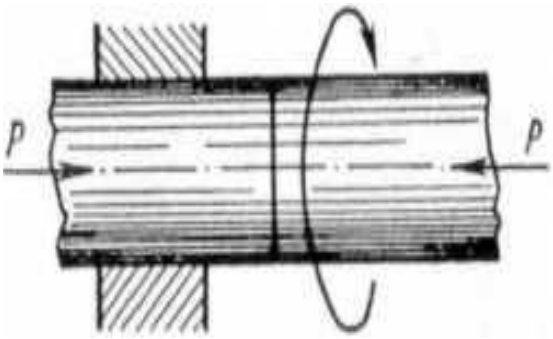


Рис. 1. Принципова схема процесу зварювання тертям.

Дві деталі, що підлягають зварюванню, розташовуються співвісно в затисках машини; одна з них закріплюється нерухомо, а інша приводиться в процесу зварювання тертям обертання навколо їхньої загальної осі. На сполучених поверхнях деталей, притиснутих одна до іншої осьовим зусиллям Р, виникають сили тертя. Робота, затрачувана при відносному обертанні деталей на подолання цих сил, перетворюється в тепло, що виділяється на поверхнях тертя і викликає їхнє інтенсивне нагрівання до температур, необхідних для утворення звареного з'єднання (стосовно до зварювання чорних металів ці температури, у залежності від режиму процесу, лежать у межах 950-1300°С). По досягненні необхідної температури відносний рух поверхонь повинен бути по можливості швидко (практично миттєво) припинено; при цьому припиниться і тепловиділення. Процес утворення звареного з'єднання завершується стадією "проковування": до нагрітих, але вже нерухомим деталям на якийсь час прикладається стискальне зусилля. Під час і після проковування відбувається природне охолодження зварених деталей. Зварювання тертям володіє поруч важливих достоїнств, багато хто з яких є результатом властивого цьому процесу локалізованого виділення тепла в тонких приповерхніх шарах металу, тобто саме там, де це і потрібно для цілей зварювання. Коротко їх розглянемо.

Висока продуктивність. Обсяг тонкого шару металу, що нагрівається, настільки незначний, що весь цикл його нагрівання звичайно укладається в дуже малий проміжок часу - від декількох секунд до на півхвилини (у залежності від властивостей матеріалу і розмірів перетину деталей, що

зварюються,); тому продуктивність зварювання тертям дуже висока, і конкурувати з нею в цьому відношенні може лише електричне контактне зварювання.

Мале споживання енергії і потужності. Малий обсяг металу, нагріваємого при зварюванні тертям, визначає і винятково високі енерге- тичні характеристики процесу; витрата енергії і потужності (рис. 2) на зварювання в 5-10 разів менше, ніж при контактному зварюванні. Основним енергетичним вузлом машин для зварювання тертям звичайно є асинхронний двигун; тому споживана для зварювання потужність рівномірно розподіляється між трьома фазами живильної електричної мережі і притім з високим (моторним) коефіцієнтом потужності cos φ = 0,8-0,85 (при електричному зварюванні навантаження на мережу, як правило, однофазна і зі значно меншим коефіцієнтом потужності).

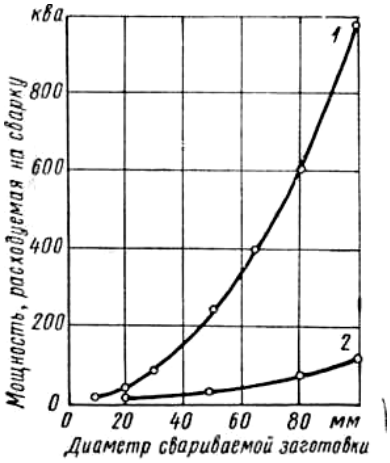


Рис. 2. Споживана з мережі потужність: 1 - при електричному контактному зварюванні; 2 - при зварюванні тертям.

Висока якість звареного з'єднання. Одним з найбільш важливих переваг зварювання тертям є висока якість одержуваних зварених з'єднань. При правильно обраному режимі зварювання метал стику і прилягаючих до нього зон має міцність і пластичністю, не меншими, чим основний метал деталей, що зварюються. Це порозуміється наступним: 1) всі окісні й адсорбовані плівки і різні сторонні частки, завжди покриваючі металеві поверхні і перешкоджаючі утворенню звареного з'єднання, у процесі зварювання тертям віддаляються зі стику в грат завдяки механічному зносу сполучених поверхонь при терті і деформуванню металу в радіальних напрямках, у результаті чого утвориться характерний "комір" (рис. 3). Щільний контакт між поверхнями тертя перешкоджає новотворам окислів у процесі зварювання. У результаті в стику відсутні непровари, пори, раковини, окісні і жужільні включення, тріщини й інші макропороки металу; 2) у стику і прилягаючих до нього зонах термічного впливу метал здобуває структуру з рівновісним і різко здрібненим (у порівнянні з основним металом) зерном (рис. 4); така структура утвориться в результаті швидкого локального нагрівання малих обсягів металу і високих швидкостей

їхнього охолодження (інтенсивний тепловідвід у маси навколишнього металу) у присутності значних тисків, що досягають 300-500 ат і більш (тиск при навантаженні звичайно складає 3-5 кг/мм^2), крім того, має місце механічне дрібнення зерен у процесі тертя. Тонка структура металу, вільного від макропороків, визначає високі механічні показники звареного з'єднання. Крім названих вище, зварювання тертям володіє й іншими, не менш важливими достоїнствами.

Стабільність якості зварених з'єднань. Партія деталей, виконаних за допомогою зварювання тертям без переналагодження машини, має сталість якості з'єднань і по ряду показників (тимчасовий опір розриву, кут загину, ударна в'язкість) коливання величин не перевищує 7-10%. Це порозумівається сталістю основних параметрів процесу - швидкості відносного обертання, величини осьового зусилля і часу нагрівання, і тим, що властивості звареного з'єднання практично не залежать від таких зовнішніх (збурюючих) факторів, як коливання напруги живильної мережі, якість допоміжних матеріалів, кваліфікацію і ступінь стомленості зварника і т.п. , що при інших видах зварювання значною мірою впливають на сталість властивостей зварених з'єднань. Висока стабільність механічних показників звареного з'єднання, що є важливою особливістю процесу зварювання тертям, дозволяє цілком обґрунтовано застосовувати вибірковий контроль виробів шляхом, наприклад, руйнування декількох деталей, відібраних від партії. Особливо це важливо в сучасних умовах виробництва, коли практично відсутні прості, дешеві і надійні способи контролю зварених стикових, що не руйнує, з'єднань, придатні для використання в зварювальних чи заготівельних цехах.

Можливість зварювання металів і сплавів у різних сполученнях. Накопичений вже чималий виробничий досвід застосування зварювання тертям показує, що одним з найважливіших її достоїнств є можливість здійснення міцних з'єднань не тільки з однойменних, але також і з великого числа сполучень різнойменних металів і сплавів, у тому числі і таких, теплофізичні характеристики які різко різні. За допомогою зварювання тертям отримані й освоєні в промисловому виробництві, зокрема, з'єднання таких пар металів, що іншими видами зварювання або були зовсім нездійсненні, або виходили з великим зусиллям, наприклад алюміній зі сталями, титан з алюмінієм, мідь зі сталлю й інші.

Можливість зварювання деталей неопрацьованими поверхнями. Зварювання тертям невибагливе у відношенні забруднення і чистоти обробки бічних поверхонь деталей, призначених до зварювання, і цим вигідно відрізняється, наприклад, від електричного контактного зварювання, при якому операція їхнього ретельного зачищення необхідні і віднімає багато часу. До поверхонь, що підлягають з'єднанню, у більшості випадків, особливо при зварюванні деталей з однойменних матеріалів, також не пред'являються вимоги чистоти і точності обробки, допускаються забруднення й іржа, а неперпендикулярність торців осі обертання без помітного погіршення якості з'єднання може досягати 5-7°. На поверхнях тертя неприпустима лише окалина;

її присутність може привести до утворення недоброякісного з'єднання.

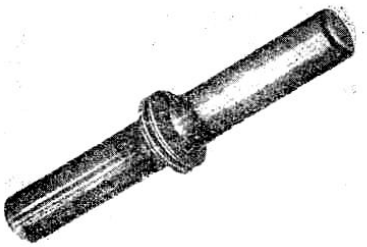
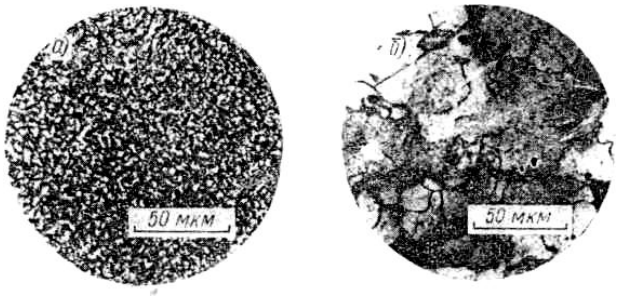


Рис. 3. Сталеві стрижні, зварені тертям, з утвореним на них гратом.



а ***б***

Рис. 4. Зварювання тертям маловуглецевої сталі. Структура металу стику (а) і основного металу (б).

Гігієнічність процесу. Зварювання тертям від інших видів зварювання вигідно відрізняє гігієнічність процесу: відсутність ультрафіолетового випромінювання, шкідливих газових виділень, гарячих бризів металу і т.п. Це дозволило багатьом підприємствам установити машини для зварювання тертям у лініях механічної обробки деталей, цілком відмовитися при цьому від внутрішньозаводських перевезень деталей з механооброблюваних цехів у зварювальні , і назад і в результаті одержати значний економічний ефект.

Вибір режимів зварювання тертям. Вибір величини питомого тиску нагрівання і проковування. Питомий тиск, як вище відзначалося, відіграє велику роль при нагріванні деталей і особливо в останньої - четвертої - фазі процесу зварювання, коли необхідне зусилля прикладається до деталей, що зварюються, для максимального зближення їхніх поверхонь. За аналогією з ковальським зварюванням четверта фаза процесу зварювання тертям одержала назву проковування. Існує типовий графік зварювання тертям, представлений на рис. 5. Крива 1 відповідає зміні тиску; 2 - швидкості тертя. При удаваній своїй простоті здійснення цього графіка в реальній установці дуже важко. Насамперед через необхідність швидкої зупинки обертання зразка. Машини для зварювання тертям звичайно містять у собі наступні основні вузли (рис. 6) два затиски 5 і 7 для підлягаючих зварюванню деталей 6, з яких одна обертовий; передня бабка 4 зі шпинделем, що несе на собі обертовий затиск 5; вузол 8, у якому розміщений необертовий затиск 7; привід обертання шпинделя

з двигуном 1, пасовою передачею 2 і пристроєм для натягу ременів ; фрикційна муфта 3 для зчеплення шпинделя з приводним пристроєм, а також для гальмування шпинделя, пневматичні чи гідравлічні циліндри 9, що забезпечують створення необхідного робітника (осьового) зусилля машини; пневматична, пневмогідравлічна чи гідравлічна схема керування силовим приводом машини; електрична схема керування машиною; станина машини, шафа керування. Технічна характеристика машини для зварювання тертям показана в таблиці 1. Видно, що час прогріву деталей, що зварюються, складає 10...50 секунд, а проковування 1,5-2 секунди. Звідси і висока продуктивність порядку 1000-150 зварювань у годину. Однак зусилля притиску при нагріванні коливається від 0,5 103 кг (5 103 Н) до 10 103 кг (10 104) при зварюванні деталей до 50 мм. Ця особливість вимагає оснащення машин для зварювання тертям ефективним гальмом, майже миттєвим, а також підшипниками, що сприймають високі осьові завзяті підшипники.

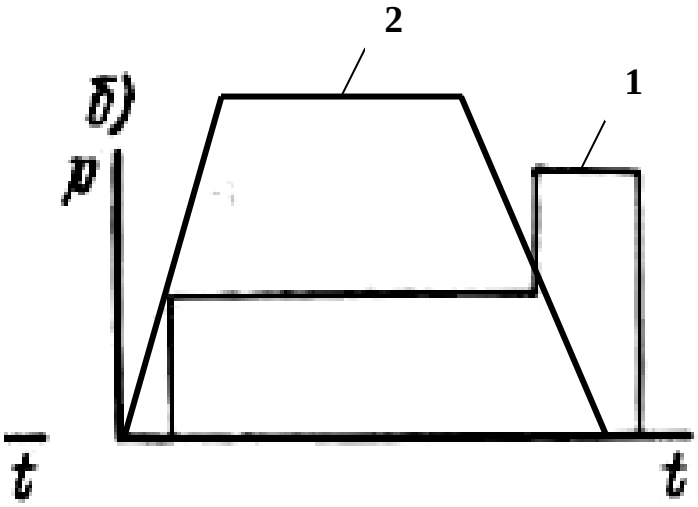


Рис. 5. Типовий графік зварювання тертям. 1 - зміна тиску в часі; 2 - швидкість.

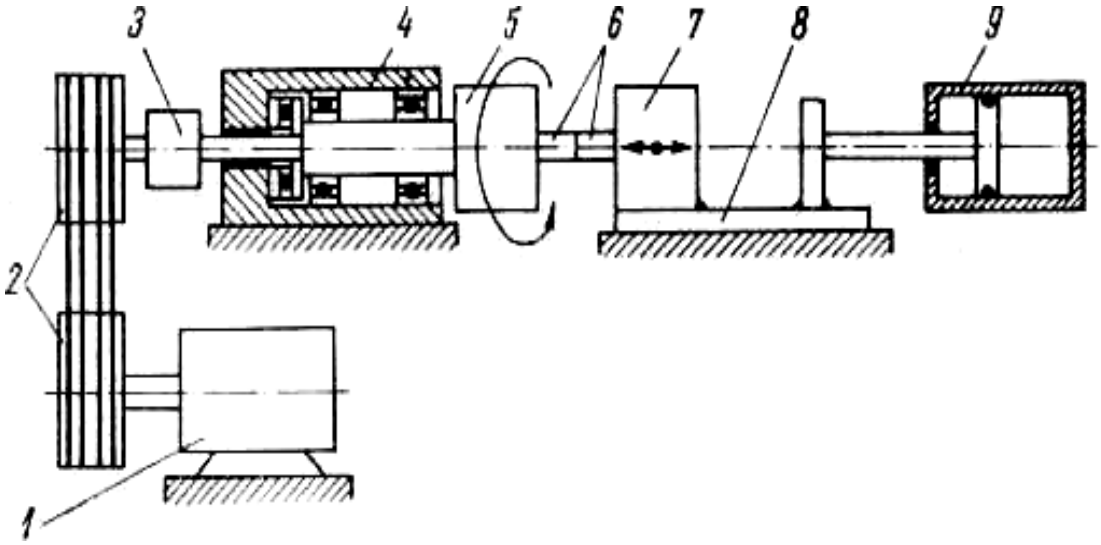


Рис. 6. Принципова конструктивно-кінематична схема сучасної машини для

зварювання тертям.

У практичному плані застосування зварювання тертям особливо цікаве виготовлення випускних клапанів двигунів внутрішнього згоряння, що вигідно роблять з різних матеріалів. Частини цих клапанів працюють в умовах, що вимагають застосування сталей із властивостями, що відрізняються. Так, тарілки клапанів іспитують дію високих температур в абразивно-корозійному середовищі, тоді як штоки не іспитують цих впливів. Тому вартість сталей цих складових частин клапанів істотно відрізняється.

Таблиця 1.

Технічні характеристики машин загального застосування.

Найменування характеристики	Одиниці виміру	Типорозміри машин			
		МСТ-23	МСТ-35	МСТ-41	МСТ-51
Потужність (номінальна)	кВт	10	22	40	75
Осьове зусилля:					
при нагріві до	*кГ*	2500	5 000	10 000	20 000
максимальне	*кГ*	5000	10 000	20 000	40
Діаметр зварюваних стержневих заготовок					
мінімальний	*мм*	10	16	22	32
максимальний	*мм*	25	36	50	70
Діаметр трубчастих заготовок (максимальний)	*мм*	32	39	52	75
Діаметр дискових заготовок (максимальний)	*мм*	110	180	180	320
Довжина обертаємої заготовки					
мінімальна	*мм*	45	50	60	65
максимальна	*мм*	600	500	900	1200
Довжина нерухливої заготовки					
мінімальна	*мм*	50	60	70	80
максимальна	*мм*	Необмежено			
Термін нагріву	*сек*	10-20	10-30	15-45	20-50

Термін проковки	*сек*	1,5-2,0	1,5-2,0	1,5-2,0	1,5-2,0
Продуктивність	*Зварювання в годинах*	До 150	До 120	До 100	До 70
Напруга живленої мережі	*В*	380	380	380	380
Тиск повітря (номінальне)	*кГ/см*^{2}	4,5	4,5	4,5	4,5
Габаритні розміри машини: довжина ширина висота	 *мм* *мм* *мм*	 1825 580 1250	 1800 720 1300	 2150 770 1350	 2910 1110 1675

Висновки. 1.Зварювання тертям дуже економічне і має високу продуктивність, пожежною безпекою при простоті використання. 2. Для використання зварювання тертям необхідно мати установку, що володіє можливістю збільшення тисків з миттєвим припиненням обертання деталей, що зварюються, до їхнього охолодження. 3. Зварювання тертям має перевагу здійснювати нероз'ємне з'єднання протягом машинного часу порядку 50-120 сек без попередньої обробки торців деталей, що зварюються. 4. При зварюванні тертям відбувається незначне зменшення довжини деталей, що зварюються, яке варто враховувати при призначенні їхніх розмірів. 5. Приведено можливий розрахунок для визначення необхідних температур і тисків при зварюванні тертям і режими зварювання, що рекомендуються, у практичних цілях.

ЛІТЕРАТУРА

1.Костецкий Б.И. Трение, смазка и знос в машинах. / Б.И. Костецкий. К:Техника,1970.-396 с.

2. Макаренко А.С. Трибология поверхностей под воздействием электромагнитного поля на зону фрикционного контакта. Монография.- Одесса: Интерпринт, 2009-390 с.

3. Евдокимова А.Н. Знакопеременность сдвиговых деформаций при высокоскоростном трении и шлифовании и свойства поверхностных слоев.- Киев, Одесса: Консалтинг, УМАОИ, 1998.-230 с.

ОСНОВНЫЕ ОСОБЕННОСТИ СВАРКИ ТРЕНИЕМ

Якименко В.В., Евдокимова А.Н.

Ключевые слова: трение, сварка, преимущества, недостатки, машины для сварки.

Резюме

Рассмотрены основные особенности получения неподвижных соединений сваркой трением, показаны преимущества этого вида сварки, а также необходимость иметь для ее осуществления специальную машину трения, которая обеспечивает быстрый останов вращения и значительные усилия прижатия в другой стадии процесса сварки.

THE BASIC FEATURES OF THE FRICTION WELDING

Jakimenko V. V, Evdokimova A.N

Key words: a friction, welding, advantages, deficiencies, cars for welding.

Summary

The basic features of reception of fixed joints of a friction welding are observed and advantages of this aspect of welding, and also necessity to have for its realisation special cars of the friction, capable to provide sweeping twirls and considerable force of a clip in the second stage of process of welding are shown.