

Технологія фрикційного формоутворення нероз'ємних вузлів

У статті викладено деякі теоретичні підходи до розробки технології фрикційного формоутворення нероз'ємних з'єднань деталей у вузли. Ця технологія останнім часом, привертає увагу як дослідників так і промисловців, дякуючи своїй енергоекономічності та простоті реалізації її технологічних схем.

тертя, робота, потужність тертя, розподіл енергії, система, нероз'ємні з'єднання, вузли

Вступ

У сільськогосподарському та побутовому машинобудуванні досить часто зустрічаються нероз'ємні з'єднання, які з успіхом можуть бути зварені тертям. Проте можливості технології фрикційного формоутворення (ТФФ) у цій царині значною мірою є “terra incognita” для конструкторів і тому при проектуванні вузлів, розраховані на використання ТФФ, в конструкціях машин пропонуються порівняно рідко. Однією з причин є те, що інформації щодо використання технології фрикційного формоутворення при виготовленні нероз'ємних з'єднань дуже мало. Певною пересторогою є також недовіра до надійності та нерозуміння технологічності та економічної ефективності таких з'єднань. З другого боку, зростаюча необхідність економії ресурсів змушує шукати нові підходи в цьому напрямку.

Механічній роботі, яка виконується при переборенні сил сухого тертя ковзання, машинобудівниками завжди приділялась значна увага, оскільки це пов'язано зі зносом деталей, довговічністю та надійністю машин. Особлива увага цій проблемі приділялась зокрема, при розробці гальмівних пристроїв та механізмів автомобілів, літаків, залізничних вагонів тощо. На загаль, вважається що біля 95-98% роботи тертя перетворюється у тепло[1,2]. Тому зверталась увага на значну теплогенерацію при сухому терті, яка нерідко настільки потужна, що може змінити закономірності його перебігу і, навіть, вивести механізм із ладу.

Проблеми, що пов'язані із теплом сухого тертя активно розроблялись у 50-60 роки минулого століття у зв'язку з дослідженнями, пов'язаними з ракетною технікою та широко відомою зваркою тертям [2]. Різноманітні експерименти багатьох авторів в останньому напрямку показали економічність такої зварки, високу надійність з'єднань та порівняну легкість автоматизації процесу і зрештою привели до випуску спеціальних зварочних машин для стикової зварки стержнів тертям [3]. Успіх досягнутий на цій ниві став каталізатором досліджень фізичних процесів при сухому терті і появи ряду нових технологій: розрізка тертям [4,5], зняття шару металу з поверхні заготовки термофрикційною обробкою [6], підігрів важкооброблюваного різанням металу при його обточці [7], наплавка тертям [8], формування головок заклепок [9,10], фрикційне формоутворення [11,12]. Останнім часом з'явилася інформація щодо зварки тертям листів алюмінію [13,14]. Проведені рядом авторів дослідження щодо використання теплогенерації тертя вертіння при виготовленні широкого кола нероз'ємних з'єднань дали добрі результати (рис. 1-7). Позитивний ефект має місце внаслідок спрощення обладнання та оснащення, зменшення числа деталей у вузлі, зменшення енерговитрат,

покращення товарного вигляду вузла тощо. Проте такі дослідження ще далеко не завершені, а можливості ТФФ не вичерпані. З часом вони розширились на проблеми, що виникають при поєднанні фрикційного формоутворення з обробкою металу різанням.

Основна частина

Все вищевикладене має пряме відношення до виготовлення нероз'ємних вузлів за ТФФ. Автор розглядає вищеперечислені технологічні прийоми як окремі розділи нової технології що зароджується, основними параметрами якої є: тиск на поверхні тертя, відносна кутова швидкість обертання, потужність теплогенерації, закономірності розподілу тепла між контртілами, зміна коефіцієнта тертя в циклі з часом та впродовж радіуса поверхонь, теплофізичні, термомеханічні та інші характеристики матеріалів. Як відомо зварка тертям має принаймі дві основні стадії: розігрів та проковку (осадку). Формовка головок невипадаючих ручок та закупорка (герметизація) балончиків практично повністю повторюють цикл зварки тертям. Основними параметрами такого процесу є швидкість відносного руху на поверхні тертя, осьове зусилля та величина осадки, яка формує головку чи заглушку. При цьому питомий тиск на поверхні рекомендується витримувати в межах 20-120 МН/м.кв., а кутова швидкість має перевищувати 160с^{-1} .

Оскільки результати дослідження енергетичних затрат при виконанні з'єднань тертям мають пряме відношення до теми даної роботи оглянемо основні публікації, пов'язані з теоретико-експериментальними дослідженнями моменту та потужності теплогенерації при сухому терті вертіння. Фундаментальне теоретичне рішення потужності теплогенерації N при терті вертіння у залежності від розподілу питомого тиску на поверхні тертя приведено в [15]. Прогнозуючи рівномірний (1) або обернено пропорційний (2) радіусу поверхні тертя розподіл тиску по поверхні контакту, і виходячи з того, що $N = M_{tr} * \omega_{vid}$, де M_{tr} – момент крутний, який слід прикласти до пари контртіл, щоб перебороти сили тертя, а ω_{vid} – їх відносна кутова швидкість, автор приводить вирази для випадку (1) $M_{tr} = \frac{2}{3} \mu Pr$ та для випадку (2) $M_{tr} = \frac{1}{2} \mu Pr$. На думку автора роботи [15] останній вираз визначає величину крутного моменту, який відповідає припущенню рівномірної роботи по всій поверхні тертя.

У технологічній практиці визначають потужність теплогенерації за виразами, до яких входять безпосередньо, так звані, активні параметри процесу, тобто ті, якими технолог може керувати. Так в [2] приводиться вираз для визначення сумарної

$$N = k * P * \mu * n * d, \quad (1)$$

а в [19] по суті аналогічний вираз для визначення питомої

$$N_0 = k * P_0 * \mu * n * r. \quad (2)$$

теплових потужностей. У цих виразах k – числові коефіцієнти, $P (P_0)$ – сила стискання контртіл, μ – коефіцієнт тертя, n – швидкість відносного обертання та $d (r)$ – діаметр (радіус) поверхні тертя. Для практичного використання таких виразів необхідно знати значення числового коефіцієнта k та μ . Останній, як відомо, залежить від матеріалів контртіл і, по даним різних авторів, суттєво залежить від температури кожного окремого локального кільця контакту, яке за звичай приймається за основу при інтегруванні елементарних робіт тертя по всій її поверхні.

В роботі [17] приведено інший вираз для визначення повної теплової потужності на етапі квазісталого процесу

$$N = \frac{2}{3} M * \mu * P * V_0, \quad (3)$$

де M – тепловий еквівалент механічної роботи, який відповідає, по даним автора, $2,34 \cdot 10^{-2}$ кал/кгсм;

μ – коефіцієнт тертя;

P – сила стиснення контртіл;

V_0 – колова швидкість обертання стержня.

При цьому підрозумівається квазістала фаза процесу. При дослідженні зварки тертям труб в роботі [17] апріорі, прийнявши закон розподілу питомого тиску обернено пропорційний радіусу поверхні тертя $p_0 = \frac{P}{2\pi r(r_2 - r_1)}$, потужність теплогенерації

визначається як

$$N = \frac{2\pi P n}{r_2 - r_1} \int_{r_1}^{r_2} f_0 r dr, \quad (4)$$

де P – сила стиснення;

n – відносне число обертів зварюваних деталей;

f_0 – коефіцієнт тертя на локальній елементарній площині кільцевидної форми.

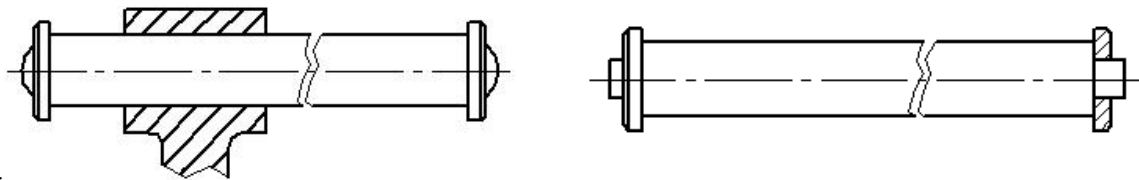


Рисунок 1а – Невипадаюча ручка приводу свердла електричного колонкового СЕК-1 (до модернізації)

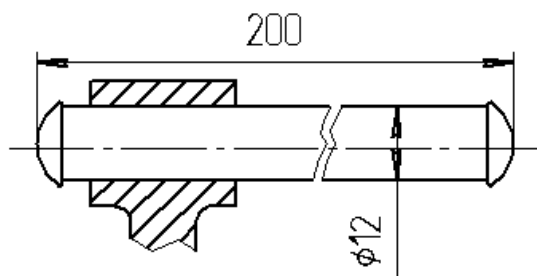


Рисунок 1б – Невипадаюча ручка приводу свердла електричного колонкового СЕК-1 після модернізації на основі ТФФ [13].

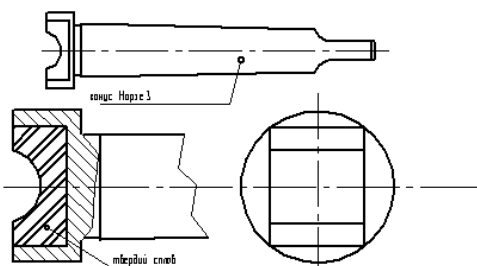


Рисунок 2 – Інструмент для формування головки невивпадаючої ручки приводу свердла електричного колонкового СЕК-1

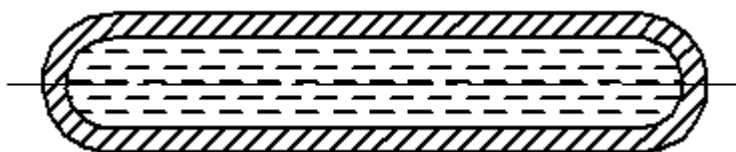


Рисунок 3 – Акумулятор тепла

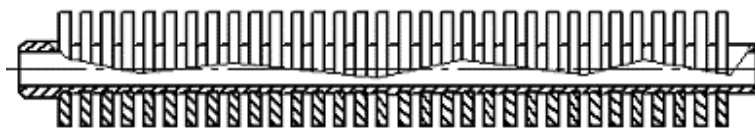


Рисунок 4 – Радіатор теплообмінника



Рисунок 5 – Вал лапшерізки [12]

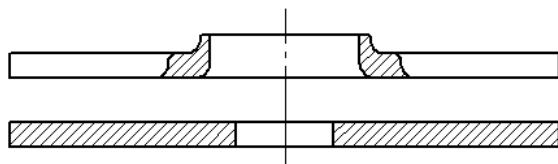


Рисунок 6 – Відбортка, як засіб створення опори для вала в тонкій стінці [12]

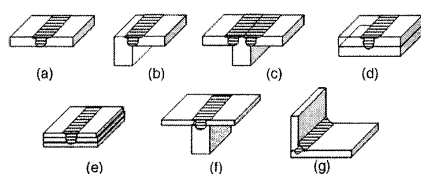
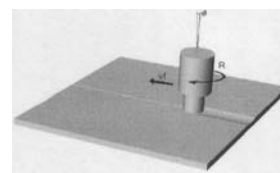


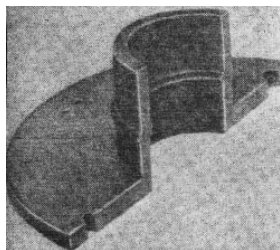
Рисунок 7 – З'єднання зваркою тертям алюмінієвих листів [11]



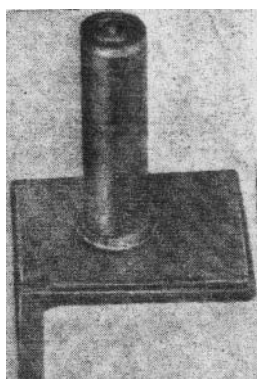
Станом на сьогоднішній день, ці та подібні вирази мають лише пізнавальний характер, а для практичного використання вони мало придатні, оскільки коефіцієнт тертя та, так звані, числові коефіцієнти, що входять у такі вирази теоретично не визначаються через складності фізичних процесів, що мають місце на робочій поверхні. До того ж у різних фазах (стадіях) перебігу процесу потужність теплогенерації досить різна в тому числі і через суттєву зміну коефіцієнта тертя μ . Так в [17] показано, що при зміні відносної швидкості руху та осьового тиску при зварці сталевих стержнів коефіцієнт тертя змінюється від 0,2-0,35 на початку процесу до 0,95-2,4 наприкінці. Згідно з [20] питома потужність теплогенерації знаходиться на рівні 8-20 Вт/мм.кв. При цьому загальна потужність пропорційна перерізу зварюваних стержнів. Додамо, що при зварці тертям деталей витрати енергії менші на порядок (порівняно із зваркою оплавленням), що пояснюється виключно раціональним способом вводу енергії в зону нагріву, мінімальними витратами у навколишнє середовище з огляду на надзвичайно короткий цикл зварки, який не перевищує 30 сек. для перерізів зварюваних деталей площею до 4000 мм. кв.



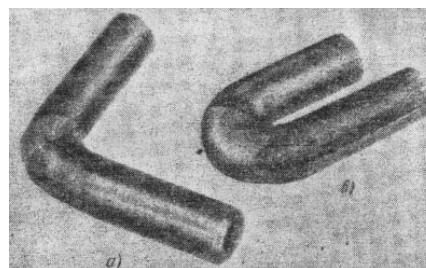
а)



б)



в)



г)

Рисунок 8 – Зварка тертям: а) стержнів; б) фланця; в) шпильки до кутника, г) випробування зварного вузла на гин

Звертається увага на те, що двигун приводу обертання контртіл працює з рівномірним навантаженням фаз та коефіцієнтом завантаження по потужності на рівні 0.8-0.85. Характерна осцилограма моменту тертя (рис.9) підказує, що економічність таких процесів може бути підвищена в циклічному режимі з використанням інерційного маховика, як накопичувача потенціальної енергії.

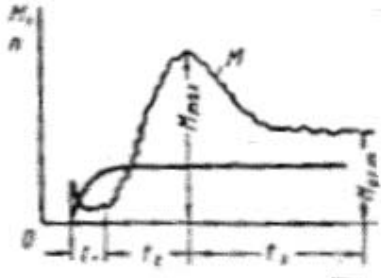


Рисунок 8 – Типова осцилограма зміни крутного моменту за цикл зварки тертям

Висновок

Існує певний ряд конструктивних елементів, які, згідно теорії технології машинобудування, відносять до вузлів чи нероз'ємних з'єднань, на яких ТФФ може принести суттєвий економічний ефект, заощадивши при цьому певні виробничі ресурси: електроенергію, виробничу площу, послуги робітників, метал та допоміжні матеріали, суттєво поліпшивши товарний вид виробу та його експлуатаційні якості.

Процес фрикційного формоутворення має технологічні можливості як виготовлення певних нероз'ємних вузлів, так і, навпаки, роз'єднання деталей, наплавки різнорідними матеріалами, зміни розмірів та

форми заготовок гарячою пластичною деформацією, яка непогано кореспондується з обробкою різанням напівфабрикату. Теоретичний розрахунок потужності теплогенерації при фрикційному формоутворенні станом на даний час очевидно вимагає подальших поглиблених досліджень, тому для практичних цілей рекомендується віддавати перевагу досвідно-експериментальним методикам. По даним різних авторів значення активних робочих параметрів знаходяться в межах: по питомому тиску 20-120 Мн/м.кв., відносній кутовій швидкості 1600-6000об/хв зі зниженням цієї величини пропорційно збільшенню діаметра робочої поверхні тертя від 6 до 60 мм, питомою потужністю зварки не більше 20 В/мм.кв та тривалістю цикла зварки менше 30с.

Список літератури

1. F.Bowden, P.A.Persons. Deformation, heating and melting of solids in high - speed friction. Proceedins of The Royal Society. -1961. -S.A. - No 1303, - v 260,.
2. Вилль В.И. Сварка трением: Справочник / Под общей ред. акад. АН УССР К. Лебедева и др. - Л.: Машиностроение. 1987. - 236с.
3. Шпейзман М.М. Машина типа МСТ_1 для стыковой сварки трением. Сварочное производство №9, 1957. –С.23-24.
4. Сизий Ю.А. Теоретические основы управления структурой и параметрами системы фрикционной разрезки. Автореф.дис. докт. тех. наук 05.02.08; 05.03.01. / Харьков. Из-во политехнического униерситета, 1996.- 41с.
5. Горбатов Н.И. Пилы трения. – К., М.: Машгиз. 1950. -80 с.
6. Зарубицкий Е.У. Термофрикционная обработка деталей // Машиностроитель. –1989, №11. – С.30 - 31.
7. Итимия Р. Исследование резания металлов в нагретом состоянии и новый метод нагрева трением. Перевод ВИНТИ N 48808/5 с японского.
8. Кершенбаум Я.М., Авербух Б.А. Новый метод наращивания металлов и сплавов на детали машин посредством трения // Машины и нефтяное оборудование (ЦНИИТЭнефтегаз) –1963, № 11, - С.34-36.
9. Петров И.Н., Дашевский Б.И. Развальцовка заклепок с использованием теплового эффекта трения // Вестник машиностроения. -1956. - N 8. - С. 69 - 70
10. Клементьев Н.М. Фрикционный способ посадки головок болтов, стержней и заклепок /Бюллетень Промышленность Хабаровского края/. – 1962. - №2.

11. Крыськов О.Д. Изготовление втулок методом пластической деформации с использованием тепла трения / Проблемы технологии производства, качества, надежности и долговечности в сельскохозяйственном машиностроении. -Днепропетровск:“Промінь”, 1968. - С.6-7.
12. Kriskov O. Industrial Production Technology for Parts made Of Some Nonferrous Metals and their Alloys by Using heat of Friction. Proceedings of the International Scientific Conference. MECHANICS'98. V.2. Edited by Mieczslaw Korzynski. Rzeszow, June,1998.– P.21-25.
13. G Buffa, J.Hua, R.,Shivpuri,L.Fratini. A continium based fem model for friction stir welding – model development. Vaterials Science and Engineering A 419 (2006) 389 – 396 / The Ohio State University, Departament of Industrial, Dipartimento di Tecnologia Meccanica, Produzione e Ingegneria Gestionale, Universita di Palermo, www.elsevier.com/locate/msea.
14. R.S.Mishra, Z.Y.Ma. Friction Stir welding and processing. Center for Friction Stir Processing, Departament of Materials Science and Engineering, University of Missouri,USA; Institute of Metalls Research, Chinese Academy of Science, Shenyang,China. Reports: A Review Journal, Materials Science and Engineering R50 (2005) 1-78.
15. Фихтенгольц Г.М. Курс дифференциального и интегрального исчисления. Том. 3, Гос издательство физико-математической литературы, 1960. – 656с.
16. Рыкалин Н.Н., Пугин А.И., Васильева В.А., Нагрев и охлаждение стержней при стыковой сварке трением. Сварочное производство №10, 1959. – С.15-18.
17. Закон Р.И.,Вознесенкий В.Д. Энергетические и тепловые параметры сварки трением. Сварочное производство №10, 1959. – С.21-22.
18. А.С.Гельман., Сандер М.П. Мощность и нагрев при сварке трением стальных толстостенных труб. Сварочное производство №10, 195.9 – С. 18-20.
19. Вилль В.И. Мощность при сварке трением стальных стержней. Сварочное производство №10, 1959. –С.12-15.
20. Вилль В.И. Сварка металлов трением. Сварочное производство №9, 1959. – С.19-23.

В статье обобщены некоторые теоретические и практические подходы к разработке технологии фрикционного формообразования неразъемных соединений деталей в узлы, которая в последнее время все больше привлекает внимание как исследователей так и промышленников, благодаря энергоэкономичности и простоте реализации ее технологических схем.

Some theoretical approaches to development of technology frictional formation one-piece connections of details in units which recently draws attention as of researchers and industrialists more and more, due to the to an economical power consumption and simplicity of realization of its {her} technological circuits are stated.