

УДК 621.791

Веремчук С. - ст. гр. МПс-31

*Тернопільський національний технічний університет ім. І. Пулюя*

## **МАТЕРІАЛИ ІНСТРУМЕНТІВ ЗВАРЮВАННЯ ТЕРТЯМ З ПЕРЕМІШУВАННЯМ**

Науковий керівник: к.т.н, доцент Лазарюк В.В.

Veremchuk S.

*Ternopil Ivan Puluj National Technical University*

## **MATERIALS FOR FRICTION-STIR WELDING TOOLS**

Supervisor: PhD, docent Lazaryuk V.V.

Ключові слова: зварювання тертям з перемішуванням, жаростійкість, механічні властивості

Keywords: friction stir welding, heat resistance, mechanical properties

Розвиток сучасного конкурентного виробництва характеризується як підвищенням вимог до якості конструкцій, так і зменшенням енергетичних затрат та впливу на навколишнє середовище. Ряд зварювальних процесів при застосуванні досяг "технічного піку", тому на даний час особливо масове виробництво очікує впровадження інноваційних, якісних, дешевих та безпечних технологій з'єднання деталей.

Успішну науково-дослідну апробацію отримало ротаційне зварювання тертям з перемішуванням (далі FSW, friction stir welding), винайдене у 1991 році Британським інститутом зварювання. Нагрівання зварюваного матеріалу до пластичного стану відбувається в результаті процесу тертя FSW інструменту з поверхнею деталі. Температура в зоні контакту різко піднімається після утворення невеликої кількості матеріалу у замкнутому просторі навколо п'яти пальця інструменту. Основним джерелом нагрівання під час зварювання є тертя заплечиків інструменту, рис. 1, та деталі. Максимальні температури досягаються біля основи пальця в зоні його сполучення із заплечиками із невеликою різницею (десятки градусів) у ділянках набігання та відходу заплечиків.

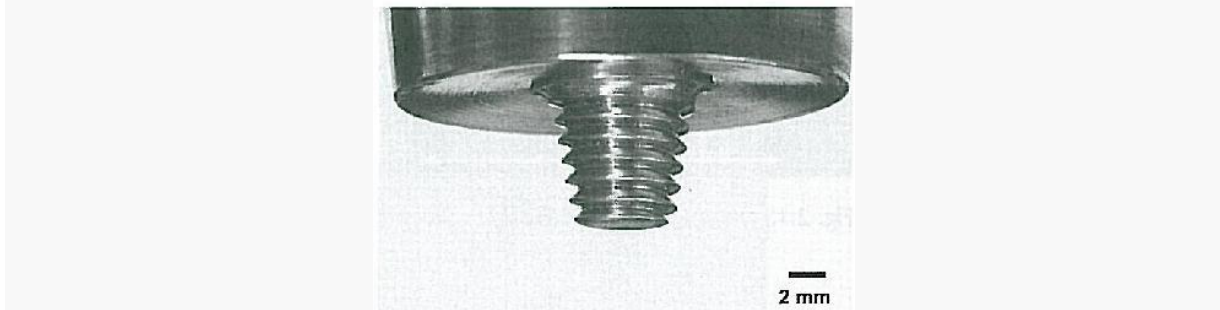


Рис. 1 – Типовий інструмент для зварювання з перемішуванням

На відміну від традиційного зварювання тертям невеликих осесиметричних деталей, зварювання тертям з перемішуванням може бути використане для зварювання стикових, кутових, таврових з'єднань. У FSW з'єднаннях відсутні пори і тріщини. Методу притаманні високі економічні та виробничі показники, висока екологічність.

Так, виробничий цикл зменшується на 50-75% у порівнянні зі звичайними способами зварювання. Відсутні додаткові роботи після зварювання, такі як зачистка та правка. Одним FSW інструментом можна виконати до 1000 м шва.

Температурним діапазоном роботи FSW інструменту є діапазон 0,6–0,85  $T_{\text{пл}}$  (де  $T_{\text{пл}}$  — температура плавлення зварюваного матеріалу), що підтверджується науковими дослідженнями [1-3]. Наприклад, для міді температури в зоні зварювання становлять 466–693 °C [2]. Слід врахувати взаємодію компонентів матеріалу інструменту та зварюваного матеріалу. Зварювання тертям з перемішуванням також широко використовується для з'єднання деталей з алюмінієвих сплавів систем Al-Cu, Al-Mg, Al-Mg-Si, Al-Zn, Al-Li товщиною від 1,5 до 75 мм. Важливою проблемою впровадження зварювання тертям з перемішуванням є вибір матеріалу для FSW інструменту, який працює в складних умовах одночасної дії високої температури та механічних навантажень, та повинен володіти високою термостійкістю, міцністю на стиск при підвищеній температурі, тріщиностійкістю, однорідністю, а також стійкістю до зношування при робочих температурах даного виду зварювання. При виборі матеріалу для FSW інструменту враховують, що робочі температури на його поверхні вищі на 100-200 °C від температури рекристалізації зварюваного матеріалу.

Інструментальний матеріал повинен мати високу стійкість до стискаючих навантажень, що виникають під час початкової стадії занурення інструменту у зону формування з'єднання, та достатню міцність на стиск при підвищених температурах. Високотемпературна границя міцності на стиск повинна бути не менше нормальних сил, що діють на інструмент. Важливо відмітити, що зношування, зміна форми та руйнування інструменту відбуваються внаслідок зміни властивостей та структури інструменту задовго до втрати термостійкості матеріалу.

Важливою механічною властивістю матеріалу інструменту для FSW є також в'язкість руйнування, що відіграє вирішальну роль у стійкості інструменту на стадіях впровадження та виходу. Значні локальні навантаження під час першого контакту з поверхнею деталі та раптові бокові переміщення шпинделя під час його обертання є найбільш частими причинами поломок інструментів з малов'язких, проте перспективних для FSW високотемпературних металокерамічних матеріалів.

Для зварювання алюмінієвих сплавів рекомендують, як матеріал наконечника та заплечиків, використовувати інструментальні сталі, наприклад 4X5MФ1С, X12MФ, жароміцні сплави, наприклад ХН55ВМКТЮ, а також тверді сплави на основі карбідів вольфраму або титану.

Отже, для матеріалу FSW інструменту найбільш важливими властивостями є міцність та твердість при температурах пластичного стану зварюваного матеріалу, в'язкість руйнування, жаростійкість. Як матеріал наконечника та заплечиків FSW інструменту використовують інструментальні та жароміцні сталі, перспективними є також тверді сплави.

1. Mironov S., Sato Y. S., Kokawa H. Influence of welding temperature on material flow during friction stir welding of AZ31 magnesium alloy // Metallurgical and Materials Transactions A. – 2019. – Vol. 50, No. 6. – P. 2798–2806.

2. Bulacu, R.N.; Dhondt, M.; Demmouche, Y.; Bădulescu, C.; Nițu, E.L.; Iordache, D.M. A Review on Friction Stir Welding of Copper: Tool Geometry, Process Parameters, and Joint Properties. Materials 2024, 17, 5374.

3. Cederqvist L. Friction Stir Welding of Copper Canisters Using Power and Temperature Control: Doctoral thesis / Lars Cederqvist ; Lund University, Faculty of Engineering LTH, Department of Design Sciences, Division of Machine Design. – Lund, 2011. – 87 p.

4. Лазарюк В. Перспективи застосування керметів на основі карбиду титану для інструментів зварювання тертям з перемішуванням / В. Лазарюк // Матеріали Міжнародної науково-технічної конференції „Фундаментальні та прикладні проблеми сучасних технологій“ до 60-річчя з дня заснування Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя та 175-річчя з дня народження Івана Пулюя, 14-15 травня 2020 року. — Т. : ТНТУ, 2020. — С. 29–30.