

Застосування титану у вигляді фольги для натирання неметалевих матеріалів з метою їх змочування і паяння металевими припоями

В. С. Журавльов*, В. П. Красовський

Інститут проблем матеріалознавства ім. І. М. Францевича НАН України
Україна, 03142, Київ, вул. Омеляна Прицака, 3
*E-mail: vszhuravlyov@gmail.com

Наведено короткий огляд публікацій з металізації неметалевих матеріалів натиранням титаном для подальшого їх паяння металевими припоями. Запропоновано та виготовлено два нових види інструменту для натирання з використанням фольги титану товщиною 0,07—0,10 мм. Отримано зразки високоглиноземних керамік А995 та ВК94-1, металізованих запропонованим способом. Вивчено змочування кераміки з покриттям припоєм ПСр72 (мідно-срібна евтектика), отримано паяні з'єднання та досліджено мікроструктуру зони контакту метал—неметал. Проаналізовано отримані результати. Встановлено головну роль металізації натиранням, що полягає в постачанні титану до розплаву припою. Показано переваги натирання кераміки інструментом з фольги у порівнянні з інструментом з компактного металу.

Ключові слова: натирання металами, фольга з титану, паяння кераміки, металеві припої, мікроструктура.

Вступ

Найбільш поширеними способами паяння неметалевих матеріалів металевими припоями є попередня металізація їх тугоплавкими металами або застосування адгезійно-активних припоїв [1]. Оксидні матеріали зазвичай металізують Мо—Мп пастою, яка вживлюється в поверхню неметалу впалюванням. Однак у зв'язку зі складністю та тривалістю процесу такої металізації його застосовують тільки при масовому виробництві [1]. Більшість металевих припоїв не змочують неметалічні матеріали. Для покращення змочування припої легують хімічно активними до неметалів металами, які обирають із групи *d*- або рідше *f*-елементів періодичної системи. Це пов'язано з тим, що ці елементи під час взаємодії, наприклад, з оксидними матеріалами, утворюють металоподібні сполуки, які добре змочуються металевими розплавами [2—4]. Як адгезійно-активну добавку найбільше застосовують титан. Проте виготовлення припійних сплавів, які містять титан, потребує спеціальних методів їх отримання та обладнання, що ускладнює процес та підвищує вартість таких припоїв. Найбільш простим у використанні є спосіб плавлення в тугоплавких тиглях, але його застосування неможливе, оскільки немає матеріалів для тигля, які б не змочувалися розплавом, що містить титан. (Було розроблено галогенідний вогнетрив та тиглі з нього [5—7], але вони мають обмеження по температурі використання). Крім того, титанові розплави дуже чутливі до атмосфери, в якій відбувається процес плавлення — титан активно взаємодіє з киснем, азотом та іншими компонентами атмосфери печі. Також інтерметаліди титану є крихкими, тому важко піддаються прокатці.

У зв'язку з цим легування основи припою (тобто припоїв без Ti) частіше виконують безпосередньо в процесі паяння. Для цього в паяльний зазор вводять активний елемент, наприклад титан у вигляді фольги [8] чи пасти, або використовують деталь з титану, що припаюють, яка частково розчиняється в інертному припої та насичує його адгезійно-активним компонентом. У всіх цих випадках хімічно активний до неметалу елемент розчиняється в розплаві, взаємодіє з неметалевим матеріалом і утворює на ньому шар (покриття) з продуктів взаємодії, які мають значну частку металічної складової хімічного зв'язку, чим і забезпечуються необхідні змочування та адгезія. Рівноважне значення крайового кута змочування визначається енергією взаємодії розплаву з утвореним покриттям [4].

За останні два десятиліття в літературі з'явилися повідомлення про нанесення покриття з активного металу на керамічні матеріали методом натирання. Подібні дослідження проводяться в Німеччині [9], Бразилії [10], Естонії [11] та особливо активно в Польщі [12—15]. Нанесення металізаційного шару (покриття) полягає в наступному: інструмент з активного металу швидко обертається, притискається до неметалевого матеріалу з певним зусиллям та переміщується вздовж поверхні, що металізується, і залишає шар натертого металу. Швидкість обертання та зусилля притискання варіюються в широких межах залежно від схеми натирання і швидкість коливається в межах $(4—16) \cdot 10^3$ об/хв [9—15]. Зазвичай для натирання використовують пристрої, подібні до токарного верстата, коли в супорт затискають кераміку, яка металізується, а замість різця встановлюють інструмент для натирання [9] або схожі на верстат для свердління [12—15]. У останньому випадку відбувається натирання торцем стрижня з активного металу, що призводить до більш інтенсивного зношення (на відміну від “токарної” схеми) поверхневого шару кераміки. Для зменшення руйнування застосовують спеціальні пружини [15]. Інструментом для натирання зазвичай служить стрижень діаметром до 10 мм, інколи використовують щітки з титанового дроту діаметром 0,3—0,4 мм та ін. [11]. Повідомлень про промислове застосування металізації натиранням нам невідомо.

Щодо розробки режимів натирання, зазвичай основним завданням ставлять отримання щільного (безпоруватого) шару металу, який має високу адгезію до неметалевого матеріалу, а паяння виконують металевим припоєм за схемою “метал—метал”. Тобто вважається, що з'єднання нанесеного покриття з керамікою відбувається в твердій фазі [15]. З нашої практики та низки деяких досліджень відомо, що твердофазні з'єднання мають високу механічну міцність, але не гарантують їх вакуумну щільність після тривалого зберігання паяних виробів (до року і більше), наприклад, в газонаповнених або вакуумних приладах. Причиною цього може бути натікання газу вздовж мікротріщин на поверхні неметалевого матеріалу, які під час твердофазного з'єднання (тиском, крученням та ін.) не заповнюються металом. За натирання, навпаки, відбувається розпорошування поверхні та навіть вирив частинок матеріалу, який знаходять в товщі натертого шару металу [15]. Тому застосування рідких припоїв, що змочують неметали, є найбільш прийнятним. У зв'язку з чим є доцільним вдосконалення даного методу з'єднання.

Задачі та використані обладнання й матеріали

Метою даної роботи є пошук засобів зниження руйнування поверхні неметалевого матеріалу при його металізації натиранням, визначення їх впливу на змочування та режими паяння неметалів металевими припоями. Для цього в роботі запропоновано два варіанти конструкції інструменту для натирання, що складається з набору фольги з титану товщиною 0,07—0,10 мм марки ВТ1-0. Інструмент для металізації в першому випадку складається з набору дисків діаметром 30 мм, а в другому має вигляд рулону з фольги із зовнішнім діаметром 8 мм та внутрішнім 5 мм (між шарами титанової фольги залишаються технологічні зазори) (рис. 1). Вважається, що в такому випадку повинні зменшуватися як зусилля відриву частинок речовини, що металізує, від інструменту (фольги), так і жорсткість контактної взаємодії.

Окрім того, нами розглянуто таке покриття не як прошарок металу з його фізичними властивостями після паяння [15], а лише як адгезійно-активна добавка до основи металевого припою (наприклад, ПСр72), яка в процесі паяння повинна розчинитися в розплаві, активувати припій і забезпечити змочування неметалевого матеріалу. За такого підходу до призначення покриття не потрібні ні його суцільність, ні значна міцність контакту з неметалом, що дозволяє зменшити інтенсивність режимів металізації.

Для натирання був виготовлений пристрій, який дозволяє обертати керамічну деталь зі швидкістю 80 об/хв, а інструмент, що металізує, має швидкість $(4-12) \cdot 10^3$ об/хв та радіальне переміщення. Кут між віссю обертання інструменту і площиною кераміки для натирання становив $40-50^\circ$. Загальне навантаження на інструмент можливо змінювати від 5 до 20 Н. Поверхня натирання має вигляд кола діаметром до 25 мм. Як підкладку для натирання використовували високоглиноземні кераміки А995 і ВК94-1, (99,5 та 94,0% Al_2O_3), які шліфували на керамічній плиті алмазними порошками АС32 315/250 (алмаз синтетичний з міцністю зерен при стисканні приблизно 32 Н, розмір зерен складає 315—250 мкм) або АСМ 10/7 (алмаз синтетичний, мікропорошок з розміром зерен 10—7 мкм), тобто ще досліджували вплив шорсткості поверхні неметалевого матеріалу на структуру шару натирання.

Змочування та паяння кераміки з титановим покриттям виконували у вакуумі $(2-5) \cdot 10^{-3}$ Па. Середня швидкість підвищення температури становила $7-8^\circ C/хв$.

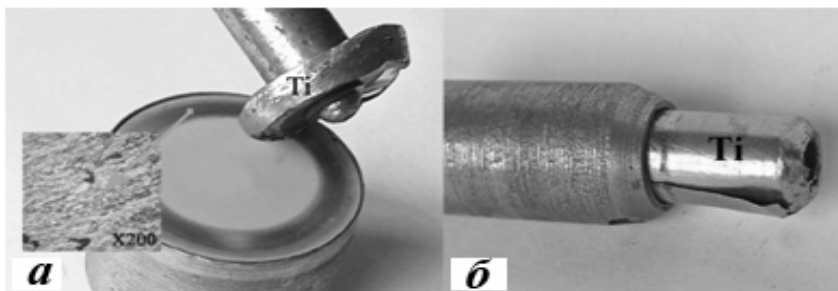


Рис. 1. Пристрій для натирання та інструмент для металізації з титанової фольги $\delta = 0,07$ мм: *a* — набір дисків діаметром 30 мм; *б* — рулон з фольги із зовнішнім діаметром 8 мм та внутрішнім 5 мм.

Результати експериментів та обговорення

Поверхня крихких матеріалів, що шліфувана, складається з послідовно розташованих виступів та заглиблень. Їх висота або глибина збільшуються зі збільшенням розмірів застосованого шліфувального порошку і зусилля притискання матеріалу до плити шліфувального обладнання, а кількість виступів на одиниці площі зменшується. Виступи на шорсткій поверхні зразка, що натирається, на початковій стадії натирання виконують роль різців, які зрізають частинки пластичного металу і вкладають їх у заглиблення перед цими виступами. Утримання металу в заглибленнях залежить від надлишку теплової енергії, яка виділяється за тертя, та забезпечує адгезійне закріплення металу. Якщо кількість енергії недостатня, частинки металу видаляються в вигляді пилу. Після заповнення заглиблень відбувається зміна механізму натирання, має місце збільшення площі та товщини поверхні тертя металу металом. Для подальшого зростання товщини натертого металу необхідна інтенсифікація режимів натирання, що призводить до подальшого підвищення температури в зоні контакту та більшого окиснення натертого шару металу і деяких інших негативних наслідків для паяння.

У наших експериментах з натирання на повітрі за оптимальний режим прийняли швидкість обертання інструменту без навантаження $(8-10) \cdot 10^3$ об/хв, а керамічного зразка — 80 об/хв, загальне зусилля притискання титанового інструменту до кераміки 8—10 Н. Загальний час натирання шару покриття у вигляді кола діаметром 20 мм становив 3 хв, при цьому робили 10—12 радіальних переміщень інструменту. Такий режим не призводив до суцільного покриття кераміки титаном (рис. 1, а та 2), але отримання такого покриття не було метою процесу натирання. Раніше для паяння оксидної кераміки використовували несцільні покриття із дрібнодисперсних порошоків титану, які забезпечували високу якість паяних з'єднань. Потрібно лише збільшити час або температуру паяння.

Шорсткість кераміки впливає на щільність покриття: зі збільшенням шорсткості підвищується і несцільність титанового покриття (рис. 2).

Змочування покриттів розплавом ПСр72 починалось практично при температурі його плавлення (779°C), а по досягненню 900°C на протязі 4—5 хв розплав масою 250 мг повністю розтікався по поверхні діаметром 20 мм, що була металізована (рис. 3). Різниця в змочуванні залежно від конструкції інструменту для металізації не помічено.

Паяння кераміки з керамікою виконували за двома варіантами: з'єднували дві металізовані пластинки кераміки або металізовану з неметалізованою. Як припій використовували фольгу з ПСр72 товщиною 70 мкм. Мікроструктуру паяних швів наведено на рис. 4. Видно, що розплав

Рис. 2. Вплив шорсткої поверхні кераміки ВК94-1 на структуру натертого покриття титану (покриття у вигляді кола діаметром 20 мм). Натирання рулоном з фольги: грубе (а) та тонке (б) шліфування.

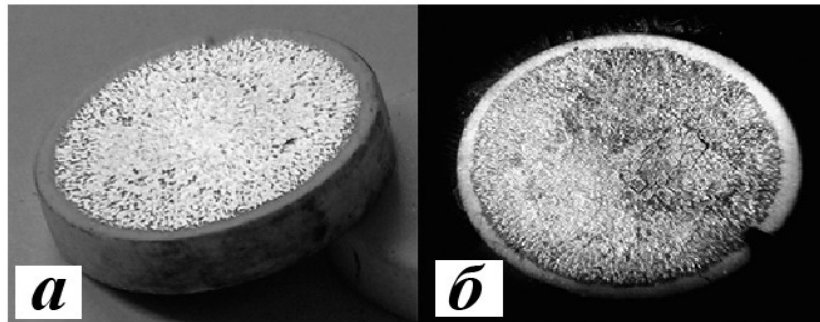
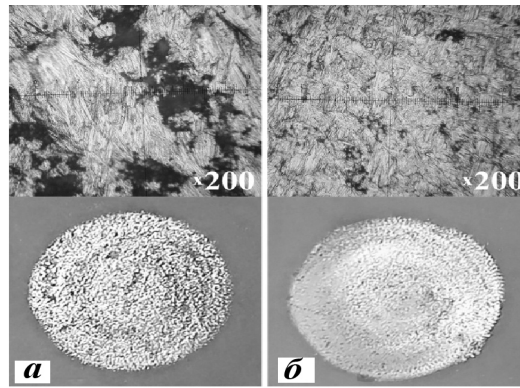


Рис. 3. Розтікання припою ПСр72 при температурі 900 °С у вакуумі вздовж переривчастого покриття, що натерте на грубошліфовану кераміку діаметром 22 мм. Натирання диском з Ті фольги: а — натертий шар покриття з Ті; б — розтікання припою ПСр72 по шару покриття (900 °С, 5 хв).

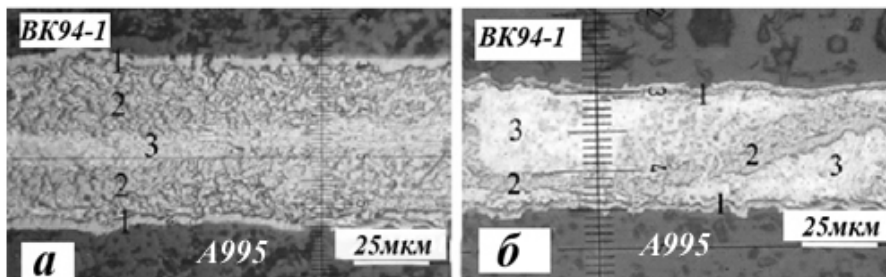


Рис. 4. З'єднання керамік ВК94-1 та А995 з натертим шаром титану, паяні припоєм ПСр72: а — з двосторонньою металізацією кераміки; б — з односторонньою; 1 — шар продуктів взаємодії; 2 — просочений припоєм натертий шар титану; 3 — сплав припою Ag—Cu з Ті, що розчинився.

просочив шар, який було натерто і який значно збільшився у товщині, а на окремих ділянках металізація навіть відокремила від кераміки. На контактній межі розплаву з керамікою утворився тонкий (менше 2 мкм) шар продуктів контактної взаємодії. Можливих уламків кераміки в паяному шві не виявлено. Така мікроструктура подібна до паяних з'єднань у системах (Ag—Cu—Ti)/Al₂O₃, склад продуктів контактної реакції зазвичай описують як TiO_x та Me₃Ti₃O залежно від кількості розчиненого в розплаві титану [16, 17]. Вміст титану в розплаві при температурі 900 °С не перевищує 1,8—2,0% (ат.) [18].

Таким чином, паяні з'єднання з натертим на кераміку титаном з використанням фольги практично не відрізняються від з'єднань, що одержані із застосуванням готових припоїв системи Ag—Cu—Ti.

Висновки і перспективи

Запропоновано та використано два види інструменту з фольги титану для нанесення покриття натиранням на неметалеві матеріали, які в порівнянні з натиранням компактним титаном значно зменшують руйнування поверхні кераміки та полегшують їх нанесення. Застосування методу натирання металізаційного шару робить процес паяння більш дешевим.

Сформульовано головне призначення такого покриття для процесів паяння, яке полягає в активуванні розплаву припою до змочування кераміки.

Шорсткість поверхні неметалів впливає на мікроструктуру нанесеного покриття. Зі зменшенням шорсткості збільшується щільність покриття.

Дослідження мікроструктури паяного з'єднання показали, що розплав ПСр72 просочує титанове покриття, насичується титаном та змочує кераміку. Тобто така металізація пришвидшує насичування розплаву титаном.

Режими паяння даним способом майже співпадають з режимами паяння припоями, що містять титан.

Список літератури

1. Батыгин В.Н., Решетников А.М., Метелкин И.И. Вакуумноплотная керамика и ее спай с металлами. Москва: Энергия, 1973. 408 с.
2. Naidich Yu.V., Zhuravlev V.S., Chuprina V.G., Strashinskaya L.V. Adhesion wetting and formation of intermediate phases in systems composed of a titanium-containing melt and oxide. *Powder Metallurgy and Metal Ceramics*. 1973. Vol. 12. P. 895—899.
3. Naidich Yu.V., Zhuravlev V.S., Chuprina V.G. Adhesion wetting and formation of intermediate phases in systems composed of a titanium-containing melt and an oxide. *Powder Metallurgy and Metal Ceramics*. 1974. Vol. 13. P. 236—238.
4. Журавлев В.С., Турчанин М.А. Причины образования различных титанокислородных фаз при смачивании оксида алюминия металлическими титаносодержащими растворами. *Порошковая металлургия*. 1997. № 3/4. С. 27—33.
5. Красовський В.П., Красовська Н.О. Галогенідні вогнетривкі тиглі багато-разового використання для плавлення, ізотермічної гомогенізації і високотемпературного синтезу хімічно агресивних сплавів на основі Ti, Zr, Nb, V. *Адгезія расплавов и пайка матеріалов*. 2016. Вып. 49. С. 96—102.
6. Naidich Y.V., Krasovsky V.P. The nonwettability behaviour of solid substrates in contact with chemical active reach Ti-, Zr-, Hf-liquid alloys. *J. Mat. Sci. Lett*. 1998. Vol. 17. P. 683—685.
7. Krasovsky V.P. Interaction of single-crystalline metal fluorides with titanium containing melts. *Powder Metallurgy and Metal Ceramics*. 2019. Vol. 58, No. 5/6. P. 334—340.
8. Paton B.E., Lobanov L.M., Naidich Yu.V., Asnis Yu.A., Zubchenko Yu.V., Ternovyi E.G., Volkov V.S., Kostyuk B.D., Umanskii V.P. New electron beam gun for welding in space. *Sci. Technology Welding Joining*. 2019. Vol. 24, No. 4. P. 320—326. doi: 10.1080/13621718.2018.1534794
9. Pat. P.T. 1.1481. Germany. Verfahren zum verl'ten zweier keramiken oder einer keramik mit einen metall. Lison R. Publ. 1997.
10. Nascimento M., Martinelli A.E., Buschinelli A.J.A. Review Article: Recent advances in metal-ceramic brazing. *Ceramica*. 2003. Vol. 49, No. 312. P. 178—187. <http://dx.doi.org/10.1590/S0366-69132003000400002>
11. Laansoo A., K'barseppa J., Vainolab V., Viljus M. Induction brazing of cermets to steel. *Estonian J. Engineering*. 2012. Vol. 18, No. 3. P. 232—242. doi: 10.3176/eng.2012.3.08
12. Włosiński W., Chmielewski T., Zimmerman J. Technology for bonding elastic materials (ceramics of Al₂O₃, AlN, SiC, Si₃N₄, TiN types) with plastic materials (steels, intermetallics, composites) using friction. *Selected Research Findings of an Innovative Nature*. Polish Academy of Science. 2007.

13. Sałaciński T., Winiarski M., Przesmycki A., Świercz R., Chmielewski T. Applying titanium coatings on ceramic surfaces by rotating brushes. *Proc. 27th Int. conf. on Metallurgy and Materials—Metal*. 2018. P. 1235—1240.
14. Chmielewski T., Hudycz M., Krajewski A., Sałaciński T., Skowrońska B., Świercz R. Structure investigation of titanium metallization coating deposited onto AlN ceramics substrate by means of friction surfacing process. *Coatings*. 2019. No. 9. P. 845—854. <https://doi.org/10.3390/coatings9120845>
15. Hudycz M. Titanium metallization coating deposited on AlN ceramics substrate by means of friction surfacing process. *Weld. Tech. Rev.* 2020. Vol. 92, No. 3. P. 35—44. <http://dx.doi.org/10.26628/wtr.v92i3.1108>
16. Mohammed Jasimad.K., Hashimb F.A., Yousifc R.H. Actively brazed alumina to alumina joints using CuTi, CuZr and eutectic AgCuTi filler alloys. *Ceram. Int.* 2010. Vol. 36, No. 8. P. 2287—2295.
17. Vallette C., Devismes M-F., Voytovych R., Eustathopoulos N. Interfacial reactions in alumina/CuAgTi braze/CuNi system. *Scripta Materialia*. 2005. Vol. 52. P. 1—6.
18. Hirnyj S., Indacochea J. Phase transformations in Ag70.5Cu26.5Ti3 filler alloy during brazing processes. *Chem. Met. Alloys*. 2008. No. 1. P. 323—332.

References

1. Batyhin, V. N., Reshetnikov, A. M., Metelkin, I. I. (1973). Vacuum-tight ceramics and its junctions with metals. Moscow: Energiya, 408 s. [in Russian].
2. Naidich, Yu. V., Zhuravlev, V. S., Chuprina, V. G., Strashinskaya, L. V. (1973). Adhesion wetting and formation of intermediate phases in systems composed of a titanium-containing melt and oxide. *Powder Metallurgy and Metal Ceramics*, Vol. 12, pp. 895—899.
3. Naidich, Yu. V., Zhuravlev, V. S., Chuprina, V. G. (1974). Adhesion wetting and formation of intermediate phases in systems composed of a titanium-containing melt and an oxide. *Powder Metallurgy and Metal Ceramics*, Vol. 13, pp. 236—238.
4. Zhuravlev, V. S., Turchanin, M. A. (1997). Reasons for the formation of various titanium-oxygen phases during the wetting of aluminum oxide with metallic titanium-containing solutions. *Poroshkovaya metallurgiya*, No. 3/4, pp. 27—33 [in Russian].
5. Krasovskyy, V. P., Krasovska, N. A. (2016). Halide refractory crucibles for multiple use for melting, isothermal homogenization and high-temperature synthesis of chemically aggressive alloys based on Ti, Zr, Nb, V. *Adgeziya rasplavov i paika materialov*, Vyp. 49, pp. 96—102 [in Ukrainian].
6. Naidich, Y. V., Krasovskyy, V. P. (1998). The nonwettability behaviour of solid substrates in contact with chemical active reach Ti-, Zr-, Hf-liquid alloys. *J. Mater. Sci. Lett.*, Vol. 17, pp. 683—685.
7. Krasovskyy, V. P. (2019). Interaction of single-crystalline metal fluorides with titanium-containing melts. *Powder Metallurgy and Metal Ceramics*, Vol. 58, No. 5/6, pp. 334—340.
8. Paton, B. E., Lobanov, L. M., Naidich, Yu. V., Asnis, Yu. A., Zubchenko, Yu. V., Ternovyi, E. G., Volkov, V. S., Kostyuk, B. D., Umanskii, V. P. (2019). New electron beam gun for welding in space. *Sci. Technology Welding Joining*, Vol. 24, No. 4, pp. 320—326. doi: 10.1080/13621718.2018.1534794
9. Pat. P.T, 1.1481. Germany. Verfahren zum verl'ten zweier keramiken oder einer keramik mit einen metall. Lison, R. Publ. 1997.
10. Nascimento, M., Martinelli, A. E., Buschinelli, A. J. A. (2003). Review Article: Recent advances in metal-ceramic brazing. *Ceramica*, Vol. 49, No. 312, pp. 178—187. <http://dx.doi.org/10.1590/S0366-69132003000400002>
11. Laansooa, A., K'barseppa, J., Vainolab, V., Viljus, M. (2012). Induction brazing of cermets to steel. *Estonian J. Engineering*, Vol. 18, No. 3, pp. 232—242. doi: 10.3176/eng.2012.3.08
12. Włosiński, W., Chmielewski, T., Zimmerman, J. (2007). Technology for bonding elastic materials (ceramics of Al₂O₃, AlN, SiC, Si₃N₄, TiN types) with plastic materials (steels, intermetallics, composites) using friction. Selected Research findings of an Innovative Nature, Polish Academy of Science.
13. Sałaciński T., Winiarski M., Przesmycki A., Świercz R., Chmielewski, T. (2018). Applying titanium coatings on ceramic surfaces by rotating brushes. *Proc. 27th Int. conf. on Metallurgy and Materials—Metal*, pp. 1235—1240.
14. Chmielewski T., Hudycz M., Krajewski A., Sałaciński T., Skowrońska B., Świercz R. (2019). Structure investigation of titanium metallization coating deposited onto AlN ceramics

- substrate by means of friction surfacing process. *Coatings*, No. 9, pp. 845—854. <https://doi.org/10.3390/coatings9120845>
15. Hudycz, M. (2020). Titanium metallization coating deposited on AlN ceramics substrate by means friction surfacing process. *Weld. Tech. Rev.*, Vol. 92, No. 3, pp. 35—44. <http://dx.doi.org/10.26628/wtr.v92i3.1108>
 16. Mohammed, Jasimad, K., Hashimb, F. A., Yousif, R. H. (2010). Actively brazed alumina to alumina joints using CuTi, CuZr and eutectic AgCuTi filler alloys. *Ceram. Int.*, Vol. 36, No. 8, pp. 2287—2295.
 17. Vallette, C., Devismes, M-F., Voytovych, R., Eustathopoulos, N. (2005). Interfacial reactions in alumina/CuAgTi braze/CuNi system. *Scripta Materialia*, Vol. 52, pp. 1—6.
 18. Hirnyj, S., Indacochea, J. (2008). Phase transformations in Ag_{70,5}Cu_{26,5}Ti₃ filler alloy during brazing processes. *Chem. Met. Alloys*, No. 1, pp. 323—332.

The use of titanium in the form of a foil for rubbing non-metallic materials with the purpose of wetting them and soldering them with metal solders

V. S. Zhuravlev*, V. P. Krasovskyy

I. M. Frantsevich Institute for Problems of Materials Science of the NAS
of Ukraine, Kyiv

*E-mail: vszhuravlyov@gmail.com

Activation of filler metal alloys for brazing non-metals by introducing chemically active elements such as titanium, zirconium, etc. is a technically challenging task. This paper discusses some methods of brazing non-metallic materials with filler metal alloys. A brief review of publications on the metallisation of non-metallic materials by titanium friction for further brazing with filler metal alloys is given. Two types of titanium foil tools for friction coatings on non-metallic materials have been proposed and used, which, in comparison with friction with compact titanium, significantly reduce the destruction of the ceramic surface and facilitate their application. Samples of high-alumina ceramics A995 and WK94-1, were metallized by the proposed method. The wetting of ceramics coated with PSr72 filler alloy (copper-silver eutectic) was studied, brazed joints were obtained, and the microstructure of the metal-nonmetal contact zone was studied. The main purpose of such a coating for brazing processes is to activate the filler metal alloys melt to wet the ceramic. The surface roughness of non-metals affects the microstructure of the applied coating. As the roughness decreases, the density of the coating increases. Studies of the microstructure of the brazed joint have shown that the PSr72 melt penetrates the titanium coating, saturates it with titanium and wets the ceramic. This means that such metallisation accelerates the saturation of the melt with titanium. The brazing modes of this method practically coincide with the brazing modes of titanium-containing filler metal alloys. Using the method of friction the metallization layer reduces the cost of the brazing process.

Keywords: rubbing with metals, titanium foil, soldering of ceramics, metal solders, microstructure.