

УДК 621.9.025.728.82

**С.Ю. Мариненко**, канд. техн. наук, **Г.М. Крамар**, канд. техн. наук, доц.  
*Тернопільський національний технічний університет ім. Івана Пулюя, Україна*  
Тел. (0352)524508, email: g\_kramar@yahoo.com

## ОСОБЛИВОСТІ ПАЯННЯ МАЛОВОЛЬФРАМОВИХ ТВЕРДИХ СПЛАВІВ

*Досліджено вплив хімічного складу маловольфрамів твердих сплавів TiC-VC-NbC-WC-Ni-Cr і виду припою на відносне розтікання припоїв і границю міцності на зріз паяного шва. Показано, що для виготовлення паяних твердосплавних ріжучих інструментів із пластинами з твердих сплавів на основі легованого карбиду титану, державку інструменту доцільно виготовляти із сталі 35ХГСА. Відносне розтікання припоїв МНМц68-4-2 і ТП-1 в присутності флюсу Ф100 зростає при зменшенні вмісту карбиду вольфраму з 15 до 5 % (мас.) і збільшенні вмісту металевої зв'язки з 10 до 24 % (мас.). В якості припою при паянні сплавів TiC-VC-NbC-WC-Ni-Cr рекомендовано використовувати тришаровий припій ТП-1, що дозволяє отримати паяний шов товщиною 0,7...0,9 мм і границею міцності на зріз до 234 МПа.*

**Ключові слова:** *ріжучий інструмент, твердий сплав, паяння, припій, флюс.*

**Вступ.** Підвищення продуктивності металообробки за рахунок зростання швидкостей різання, розробки і впровадження нових марок твердих сплавів ставить високі вимоги до конструкції різального інструменту та способу кріплення твердосплавних пластин до державки інструменту.

Застосування багатограних непереточуваних пластин має ряд переваг порівняно з напайними – відсутність залишкових паяльних напружень та напружень після заточування і переточування пластин, простота заміни різальних кромки і зменшення часу на переналадку інструмента, постійна геометрія ріжучої кромки і товщина пластини, зменшення запасу інструменту і зниження питомих витрат на його експлуатацію [1]. Однак, в ряді випадків їх використання є неможливим, наприклад, при виготовленні дрібнорозмірних, спеціальних медичних інструментів тощо [2, 3]. Тому основним способом кріплення пластин із твердих сплавів при оснащенні ним ріжучого інструменту залишається паяння.

В даний час напаяний твердосплавний інструмент становить близько 80% від загальної кількості інструменту, що застосовується при обробці різанням, тому підвищення його якості є актуальним завданням. Аналіз причин поломок напаяного інструменту показує, що 50% втрат відбувається за рахунок поломок твердосплавних пластин, в т.ч. 15% – в процесі його виготовлення [2]. Однією з основних причин низької якості напаяного твердосплавного інструменту є нераціональний вибір припою, флюсу, матеріалу державки для конкретних умов експлуатації, в результаті чого в пластинах твердого сплаву після паяння виникають значні залишкові напруження.

В науковій літературі детально описані технологічні режими паяння і дано рекомендації по ефективному використанню припоїв та флюсів при виготовленні різального інструменту з напайними пластинами із стандартних вольфрамокобальтових твердих сплавів [4, 5]. Але, враховуючи вичерпність світових запасів гостродефіцитних компонентів (вольфраму, кобальту, молібдену) у всьому світі проводять дослідження по розробці без- і маловольфрамів твердих сплавів [6-8].

В цьому контексті важливою проблемою є отримання якісного і надійного з'єднання при паянні розроблюваних сплавів.

Маловольфрамові тверді сплави на полікарбідній основі TiC-VC-NbC-WC з Ni-Cr зв'язкою використовують для заміни стандартних вольфрамокобальтових твердих сплавів на операціях чистового і напівчистового точіння вуглецевих і низьколегованих сталей для безстружкової обробки матеріалів [9]. Ці сплави мають високий рівень фізико-механічних властивостей: HRA 92, HV<sub>30</sub> = 17,4 ГПа, K<sub>1c</sub> = 8,3 МПа·м<sup>1/2</sup>, σ<sub>зг</sub> = 1030 МПа [10]. За термостійкістю досліджувані сплави перевищують стандартні безвольфрамові тверді сплави ТН-20, КТН-16, однак поступаються вольфрамокобальтовому сплаву Т15К6, і витримують 15...48 циклів нагрівання – охолодження при градієнті температур 600...800 °С [11].

Фізико-механічні властивості твердих сплавів і сталей, суттєво відрізняються, тому під час паяння цих матеріалів виникають певні труднощі, пов'язані, насамперед, із тим, що коефіцієнт лінійного розширення сталей в 1,3...2,5 рази більший, ніж коефіцієнт лінійного розширення твердих сплавів. Це вимагає, рівномірного нагрівання та охолодження твердосплавного інструменту при паянні, інакше у пластинках твердого сплаву утворюються тріщини або вони повністю розкришуються.

При виборі матеріалу державки інструменту і призначенні режиму паяння останній має бути вибраний таким чином, щоб забезпечити перехід вихідної структури сталі в аустеніт, оскільки при його розпаді інтервалі температур від 1000 °С до кімнатної нахил дилатометричних кривих близький до нахилу дилатометричних кривих твердого сплаву, що сприятиме суттєвому зниженню залишкових напружень в пластинах твердого сплаву після паяння [12].

Метою даної роботи є вибір припою, флюсу і матеріалу державки різальних інструментів із пластинами, виготовленими із сплаву TiC-VC-NbC-WC з Ni-Cr з різним вмістом легуючого карбиду вольфраму і нікель-хромової зв'язки.

Відповідно до поставленої мети вирішували завдання дослідження впливу хімічного складу маловольфрамових твердих сплавів на паяльні властивості отриманих з'єднань.

### **Основний зміст і результати роботи**

Зразки для досліджень у формі пластинок розміром 18x16x6 мм готували методом порошкової металургії, що включав у себе операції приготування шихти для попереднього синтезу карбідної основи (TiC, VC, NbC, WC), пресування зразків з використанням пластифікатора і спікання при температурі 1600 °С; наступне розмелювання синтезованої карбідної основи, повторне шихтування з додаванням металів зв'язки (Ni-Cr); пресування і подальше спікання у вакуумній печі СНВ 1.3.1/20И1 при температурі 1400 °С і вакуумі 1,33·10<sup>-2</sup> Па [13].

Паяння твердосплавних пластинок до сталюї основи проводили на високочастотній установці ІНМ 30-8-50. Швидкість нагрівання – 10 °С/с, температура паяння – 1000 °С, охолодження – ізотермічне гартування в селітровій ванні при температурі 280-310 °С. Для захисту паяного шва використовували флюс марки Ф100, який рекомендують при паянні безвольфрамових твердих сплавів припоями на основі міді, оскільки він дозволяє збільшити площу розтікання припою по поверхні твердого сплаву у 4...8 разів порівняно з іншими флюсами, і не потребує підготовки поверхонь методом окислення. Температура плавлення флюсу – 500 °С, інтервал активності 900 – 1100 °С.

Для твердосплавних інструментів, до механічних властивостей сталюї корпусів яких не ставлять особливі вимоги щодо міцності та твердості, в якості державки використовують сталь 35ХГСА або Сталь 45. При використанні останньої рівень залишкових паяльних напружень у твердосплавній пластині вищий, а якість інструменту нижча [12], тому нами обрано сталь 35ХГСА, в якій розпад аустеніту при охолодженні інструменту на повітрі починається з температури 400 °С і протікає до кімнатної температури.

В якості припоїв для паяння маловольфрамівих твердих сплавів використовували найбільш широко використовувані припій підвищеної пластичності і міцності типу латуні МНМц 68-4-2 з температурою паяння 1000 °С і тришаровий припій марки ТП-1, внутрішній шар якого (компенсаційна прокладка) складається із бронзи марки БрНБ7-0,5 (товщина 0,4 мм), а зовнішні із латуні марки ЛМцН50-2-2 (товщиною 0,2 мм).

Хімічний склад і температури плавлення припоїв наведено в таблиці 1, а їх основні механічні властивості – у таблиці 2.

Таблиця 1. Хімічний склад та температури солідус та ліквідус припоїв [12]

Марка припою		Хімічний склад, %								Температура, °С	
		Cu	Ni	Mn	Zn	Ag	B	Cd	Si	солідус	ліквідус
МНМц68-4-2		62-68	4-5	1,5-2,5	Зал.	-	0,05	-	-	915	975
ТП-1	ЛНМц 50-2-2	49-51	1,5-2,5	1,5-2,5	Зал.	-	-	-	0,1-0,2	849	872
	БрНБ 7-0,5	Зал.	6-8	-	-	-	0,3-0,5	-	-	1110	1126

Таблиця 2. Механічні властивості припоїв [12]

Марка припою	$\sigma_b$ , МПа	$\sigma_T$ , МПа	$\delta$ , %	$\psi$ , %	$a_n \cdot 10^{-4}$ , Дж/м <sup>2</sup>
МНМц68-4-2	373	177	37	37	137
ЛНМц50-2-2	510	383	15	15	49
БрНБ7-0,5	263	132	32	47,5	68,7

Оскільки фізико-механічні властивості використовуваних припоїв мають суттєвий вплив на міцність паяного шва, то для вибору оптимального припою досліджували величину їх відносного розтікання по твердому сплаву за методикою, описаною в роботі [14]. В якості зразків використовували диски діаметром 4 мм і товщиною 1 мм (площа  $S_0$ ).

Розплавлення припою проводили на височастотній установці ІНМ 30-8-50. Залишок флюсу після охолодження видаляли кип'ятінням, потім вимірювали площу розплавленого припою ( $S_1$ ), визначали коефіцієнт розтікання припою під флюсом як співвідношення  $S_1/S_0$  і відносне розтікання припою під флюсом. За одиницю взято найменший коефіцієнт розтікання.

Визначення границі міцності на зріз твердосплавного ріжучого інструменту згідно ГОСТ 23047 – 78 не доцільно через труднощі випробування твердих сплавів на розтяг, тому ці дослідження проводили за схемою і методикою, запропонованою Ключко М.А. в роботі [12]. Твердосплавні пластини вибраними припоями в присутності флюсу Ф100 припаювали до спеціальної сталевий опори, виготовленої із сталі 35ХГСА. Зусилля прикладали в напрямку, паралельному до паяного шва. Розділивши величину зусилля руйнування на площу отриманого з'єднання отримували значення границі міцності на зріз паяного шва.

Для дослідження впливу хімічного складу маловольфрамівих твердих сплавів на паяльні властивості припоїв готували сплави з вмістом WC – 5, 10, 15 % (мас.) і вмістом Ni-Cr зв'язки 10, 18, 24 % (мас.) при співвідношенні Ni : Cr = 3 : 1. Попередніми дослідженнями встановлено [10], що оптимальний рівень механічних властивостей має сплав з 5 % (мас.) WC і 18 % (мас.) Ni-Cr зв'язки, а його термостійкість в 1,5...3 рази вища, порівняно з іншими сплавами, тому для аналізу впливу вмісту карбиду вольфраму і металевої зв'язки на паяльні властивості шва їх вміст фіксували на вказаному рівні.

Результати досліджень наведено в таблиці 3.

Таблиця 3. Властивості паяного шва, отриманого при паянні твердосплавних пластин із сплавів TiC-VC-NbC-WC -Ni-Cr\*

Вміст WC, % (мас.)	Вміст Ni-Cr, % (мас.)	Припій МНМц68-4-2		Припій ТП-1	
		Відносне розтікання	$\tau_{зр.}$ , МПа	Відносне розтікання	$\tau_{зр.}$ , МПа
5	18	1,38	203	1,45	211
10		1,29	183	1,36	189
15		1,15	175	1,28	183
5	10	1	190	1,32	206
	24	1,45	212	1,63	234

\* державка різця – сталь 35ХГСА, флюс Ф100, товщина паяного шва – 0,3 мм (припій МНМц68-4-2) і 0,7...0,9 мм (припій ТП-1).

Як видно з таблиці 3, при використанні флюсу Ф100 найбільше відносне розтікання має припій ТП-1. Незалежно від виду припою його величина зростає із збільшенням вмісту цементуючої зв'язки і зменшенням вмісту карбиду вольфраму. Максимальне відносне розтікання спостерігали при паянні припоєм ТП-1 твердого сплаву, що містить 5 % (мас.) WC і 24 % (мас.) Ni-Cr зв'язки.

Відомо [12], що збільшення товщини паяного шва до 0,7...0,9 мм при використанні припою ТП-1 сприяє зниженню залишкових паяльних напружень, відповідно і напружень у твердому сплаві. Окрім того, зниження внутрішніх термічних напружень відбувається в результаті збільшення об'ємного вмісту та пластичності зв'язки при зростанні її вмісту у сплавах. Зниження рівня внутрішніх напружень у паяному шві досягається за рахунок компенсаційної прокладки із бронзи БрНБ7-0,5 у припої ТП-1, яка при температурі паяння залишається у твердому стані, а також невеликої різниці коефіцієнтів термічного розширення маловольфрамових твердих сплавів і сталі 35ХГСА ( $9,3$  і  $11,8 \cdot 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$  відповідно). Всі ці чинники дозволяють отримати якісне паяне з'єднання із границею міцності на зріз до 234 МПа.

**Висновки.** В результаті проведених досліджень встановлено, що при виготовленні паяного твердосплавного інструменту із маловольфрамового сплаву на основі TiC-VC-NbC-WC з Ni-Cr зв'язкою в якості державки доцільно використовувати сталь 35ХГСА. Незалежно від виду припою при використанні флюсу Ф100 найвище значення відносного розтікання має припій ТП-1 на сплаві з вмістом 5 % (мас.) WC і 24 % (мас.) Ni-Cr зв'язки. При паянні даного сплаву отримали і максимальне значення границею міцності на зріз до 234 МПа. Подальші дослідження будуть спрямовані на встановлення закономірностей розвитку напружень і деформацій при паянні розроблених маловольфрамових твердих сплавів зі сталлю.

#### Список літератури:

1. Третьяков В. И. Основы металловедения и технологии производства спеченных твердых сплавов / В. И. Третьяков. – М.: Металлургия, 1975. – 528 с.
2. Панов В.С. Технология и свойства спеченных твердых сплавов и изделий из них / В. С. Панов, А. М. Чувилин. – М. : МИСиС. – 2001. – 428 с.
3. Soldering of hard-alloy medical instruments / N. E. Budnikov, A. M. Volkov, N. F. Belavin, V. G. Shakhmatov // *Biomedical Engineering* July–August, 1969, Volume 3, Issue 4, pp 213-216.
4. Екатова А.С. Флюсы и газовые среды. Справ. / А.С. Екатова. – М.: Машиностроение, 1975. – 407 с.
5. Технология сварки, пайки и контроля заготовок режущего инструмента. Методические рекомендации ВНИИ. Под редакцией К.П.Имшенника, М.: НИИМашпрома, 1976. – 432 с.

6. Effect of Submicron Ti(C,N) on the Microstructure and the Mechanical Properties of Ti(C,N)-Based Cermets / A. Demoly, C. Veitsch, W. Lengauer, K. Rabitsch // Proceedings World PM – 2010 (10 – 14 October 2010, Florence, Italy); EPMA, London, UK, 2010. – Vol. 3. – P. 465–472.

7. Pressurized Sintering of TiC-Base Cermets / H. Klaasen, L. Kollo, J. Kubbarsepp, M. Viljus // Proceedings EURO PM – 2007 (15 – 17 October 2007, Toulouse, France); EPMA, London, UK, 2007. – Vol. 1. – P. 215–220.

8. Tribological behavior of TiCN- based cermets at elevated temperatures / Meng J., Lu J., Wong J., Yang Sh. // Materials Science & Engineering A. – Vol. 418. – Issue 1-2. – (February 25, 2006). – P. 68–76.

9. Bodrova L. Polycarbide based hard alloys: properties and application / L. Bodrova, G. Kramar, V. Lazaryuk [and other] // Proceeding of third international conference RoPM-2005. – Cluj-Napoca (Romania). – Romania, 2005. – P. 255–261.

10. Вплив термокомпресійної обробки на мікроструктуру і механічні властивості твердих сплавів на основі TiC – (VC NbC WC) / Г. М. Крамар, Л. Г. Бодрова, С. Ю. Мариненко [та ін.] // Вісник ТДТУ. – 2008. – № 6. – С. 40–48.

11. Крамар Г. М. Термостійкість твердих сплавів на полікарбідній основі / Г. М. Крамар, Л. Г. Бодрова, С. Ю. Мариненко // Прогресивные технологии и системы машиностроения. – Донецк, 2010. – Вып. 39. – С. 130–135.

12. Ключко Н.А. Основы технологии пайки и термообработки твердосплавного инструмента / Н.А.Ключко // М.: Металлургия, 1981. – 201 с.

13. Kramar H.M. Thermal Compression Treatment of the WC-Co and TiC-VC-NbC-WC-Ni-Cr Hard Alloys / H.M. Kramar, L.H. Bodrova, M.M. Prokopiv, S.Yu. Marynenko // 18 Plansee Seminar, 2013. – Reutte, Austria, 2013 – 6 P. Bibliogr: 9 titles.

14. Равская Н.С. Изготовление режущего инструмента из безвольфрамовых твердых сплавов / Н.С.Равская // Технология и организация производства. – 1975. – №4. – С. 45-47.

Надійшла до редакції 20.01.2014

**С.Ю. Мариненко, Г.М. Крамар**

#### **ОСОБЕННОСТИ ПАЙКИ МАЛОВОЛЬФРАМОВЫХ ТВЕРДЫХ СПЛАВОВ**

*Исследовано влияние химического состава маловольфрамовых твердых сплавов TiC-VC-NbC-WC-Ni-Cr и вида припоя на относительное растекание припоев и предел прочности на срез паяного шва. Показано, что для изготовления паяных твердосплавных режущих инструментов с пластинами из твердых сплавов на основе легированного карбида титана державку инструмента целесообразно изготавливать из стали 35ХГСА. Относительное растекание припоев МНМц68-4-2 и ТП-1 в присутствии флюса Ф100 возрастает при снижении содержания карбида вольфрама с 15 до 5 % (масс.) и повышении содержания металлической связки с 10 до 24 % (масс.). В качестве припоя при пайке сплавов TiC-VC-NbC-WC-Ni-Cr рекомендуется использовать трехслойный припой ТП-1, который позволяет получить паяный шов толщиной 0,7...0,9 мм и пределом прочности на срез до 234 МПа.*

**Ключевые слова:** режущий инструмент, твердый сплав, пайка, припой, флюс.

**S.Yu. Marynenko, H.M. Kramar**

#### **FEATURES OF HARD ALLOYS WITH LOW TUNGSTEN CONTENT SOLDERING**

*The influence of the chemical composition of TiC-VC-NbC-WC-Ni-Cr hard alloys with low tungsten content and type of solder on relative solder flowing and shear strength of solder seam was researched. It is shown that for manufacturing hard alloy cutting tools with alloyed titanium carbide based hard alloys inserts, the tool holder should be produced of steel 35ХГСА. Relative solders МНМц68-4-2 and ТП-1 flowing in the presence of Ф100 flux increases with the decrease of tungsten carbide content from 15 to 5 % (wt.) and the increase of metal binder content from 10 to 24% (wt.). When soldering TiC-VC-NbC-WC-Ni-Cr alloys the three-layer solder ТП-1 was offered to be used as the solder, which makes it possible to obtain the solder seam with thickness of 0,7...0,9 mm and shear strength up to 234 MPa.*

**Keywords:** cutting tools, hard alloy, soldering, solder, flux.