

Для цитирования:

Соколов Е.Г., Артемьев В.П., Озолин А.В. Получение алмазно-металлических композитов с помощью припоев, содержащих тугоплавкие наполнители. *Иzv. вузов. Химия и хим. технология.* 2016. Т. 59. Вып. 8. С. 56–59.

For citation:

Sokolov E.G., Artemyev V.P., Ozolin A.V. Obtaining diamond-metal composites by means of brazes containing refractory fillers. *Izv. Vyssh. Uchebn. Zaved. Khim. Khim. Tekhnol.* 2016. V. 59. N 8. P. 56–59.

УДК: 621.793.3: 549.211

Е.Г. Соколов, В.П. Артемьев, А.В. Озолин

Евгений Георгиевич Соколов (✉), Владимир Петрович Артемьев, Александр Витальевич Озолин
Кафедра материаловедения и автосервиса, Кубанский государственный технологический университет,
ул. Московская, 2, Краснодар, Российская Федерация, 2350072
E-mail: e_sokolov.07@mail.ru (✉), artemyev@kubstu.ru, ozolnml@yandex.ru

**ПОЛУЧЕНИЕ АЛМАЗНО-МЕТАЛЛИЧЕСКИХ КОМПОЗИТОВ С ПОМОЩЬЮ ПРИПОЕВ,
СОДЕРЖАЩИХ ТУГОПЛАВКИЕ НАПОЛНИТЕЛИ**

Исследовано взаимодействие припоев Sn-Cu-Co-W, содержащих порошки кобальта и вольфрама в качестве тугоплавких наполнителей, с синтетическими алмазами АС150. Установлено, что введение кобальтового порошка обеспечивает смачивание алмазов при пайке и их прочное закрепление в металлической связке композита.

Ключевые слова: алмаз, пайка, композиционный материал, вольфрам, кобальт, карбиды

E.G. Sokolov, V.P. Artemyev, A.V. Ozolin

Evgeny G. Sokolov (✉), Vladimir P. Artemiev, Alexander V. Ozolin
Department of Material Science and Car Service, Kuban State Technological University, Moskovskaya str., 2,
Krasnodar, 350072, Russia
E-mail: e_sokolov.07@mail.ru (✉), artemyev@kubstu.ru, ozolnml@yandex.ru

**OBTAINING DIAMOND-METAL COMPOSITES BY MEANS OF BRAZES CONTAINING
REFRACTORY FILLERS**

The interaction of Sn-Cu-Co-W brazes containing cobalt and tungsten powder as refractory fillers with the synthetic diamonds AS150 is studied. It was found, that addition into braze the cobalt powder provides the wetting of diamonds at brazing and their strong fixation in metal matrix of composite.

Key words: diamond, brazing, composite material, tungsten, cobalt, carbides

Алмазосодержащие композиты с металлической связкой находят применение в производстве алмазно-абразивных инструментов и для получения износостойких покрытий на стальных деталях. При изготовлении фасонных алмазно-абразивных инструментов и деталей существует проблема формирования алмазосодержащих слоев на сложных поверхностях, в том числе с радиусными элементами и острыми кромками.

В настоящее время алмазосодержащие покрытия на таких поверхностях формируют методом гальванического осаждения или пайкой твердыми припоями в вакууме. При гальваническом осаждении используют никелевые и хромовые связки. При вакуумной пайке в качестве связок в основном применяют сплавы на никелевой основе, содержащие добавки металлов, адгезионно-активных к алмазу, таких как Ti, V, Mn, Si, Zr, Cr [1, 2]. Связки, формирующиеся при гальваническом осаждении и вакуумной пайке, не всегда обладают достаточной стойкостью к абразивному износу. Кроме того, пайка твердыми припоями не позволяет получать алмазосодержащие покрытия на острых кромках инструментов и деталей и формировать многослойные алмазосодержащие покрытия. Пайка никелевыми припоями осуществляется при высоких температурах, составляющих около 1000 °С, что приводит к графитизации и карбидизации алмазов и ухудшению свойств алмазосодержащих композитов.

Проблема получения алмазосодержащих слоев на сложных фасонных поверхностях может быть решена при использовании композиционных припоев, содержащих металлические порошки тугоплавкого наполнителя и легкоплавкой матрицы [3]. Наличие легкоплавкой матрицы обеспечивает снижение температуры пайки. Тугоплавкий наполнитель повышает вязкость припоя, препятствует его стеканию с покрываемых поверхностей, что позволяет получать алмазосодержащие слои на инструментах и деталях сложной формы. Взаимная диффузия компонентов легкоплавкой матрицы и тугоплавкого наполнителя при пайке приводит к формированию металлической связки, состоящей из тугоплавких структурных составляющих. Влияние тугоплавких наполнителей на вязкость припоев, а также на твердость получаемых связок описано в работах [4, 5].

Цель настоящей работы – выбрать оптимальные компоненты припоя, обеспечивающие хорошее смачивание алмазов и прочное их закрепление в металлической связке.

С этой целью были проведены следующие исследования. Пастообразные смеси композиционных припоев и алмазов наносили слоем толщиной 2 мм на ролики диаметром 20 мм из стали Ст3. Припой содержали порошки технически чистых металлов в следующем соотношении, % (масс.): 20 Sn, 43 Cu, 25-30 Co, 7-12 W. В смесь металлических порошков вводили синтетические алмазы AC150 с размером зерна 315-400 мкм из расчета получения 25%-ного их содержания по объему. В качестве связующего вещества в припой добавляли водный раствор поливинилового спирта в количестве 12% от массы металлических порошков. Образцы с нанесенной алмазосодержащей смесью высушивали и затем отжигали в вакууме при температуре 820 °С с выдержкой 40 мин.

Структуру полученных образцов исследовали с помощью оптического микроскопа AxioObserver.A1m (фирмы Carl Zeiss). Микрорентгено-спектральный анализ проводили с помощью растворового электронного микроскопа EVO HD15 MA (Carl Zeiss). Фазовый состав образцов изучали с помощью рентгеновского дифрактометра D8 Discover (Bruker-AXS). Для оценки прочности закрепления алмазов в металлической связке изучали изломы алмазосодержащих слоев и проводили испытания путем шлифования поверхности образцов корундовым кругом.

На рис. 1 показаны участки внешней необработанной поверхности образца с кристаллами алмаза, находящимися в металлической связке, содержащей, % (масс.): 20 Sn, 43 Cu, 30 Co, 7 W. Видно, что припой в жидком состоянии смачивал поверхность алмазов.

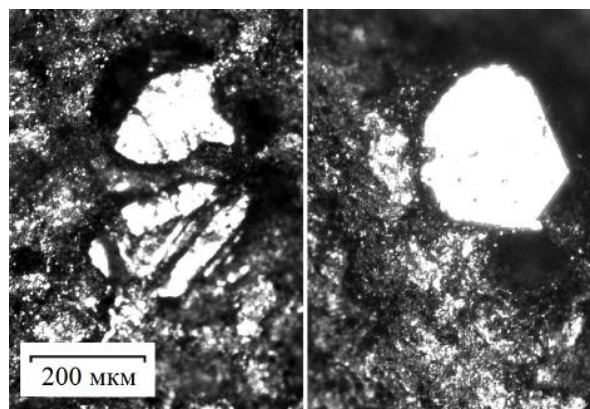


Рис. 1. Участки внешней поверхности образца с кристаллами алмаза, подвергнутыми смачиванию припоем Sn-Cu-Co-W (оптическое изображение, $\times 50$)

Fig. 1. Parts of the outer surface of the specimen with diamond crystals which were wetted by Sn-Cu-Co-W braze (optical image, $\times 50$)

Структура металлических связей, формирующихся из исследованных припоев, состоит из следующих составляющих: твердый раствор олова и кобальта в меди, содержащий, % (масс.): 16 Sn, 2 Co; интерметаллид Cu_3Sn , содержащий, % (масс.): 34 Sn, 2 Co; не растворившиеся частицы кобальтового и вольфрамового порошков. При этом частицы вольфрама сохраняют свою первоначальную форму и размеры и, по-видимому, не растворяются в легкоплавкой матрице при пайке.

Известно, что алмаз смачивают расплавы тех металлов, которые образуют с его поверхностью химические связи [6]. Компоненты рассматриваемых припоев взаимодействуют с алмазом следующим образом. Расплавы олова, меди и оловянной бронзы не образуют химических связей с алмазом и не смачивают его [7]. Вольфрам является активным карбидообразователем [6], однако при пайке он не растворялся в жидкой фазе, следовательно, не мог влиять на смачивание алмаза. Частицы вольфрама играли роль инертного наполнителя, повышающего вязкость композиционного припоя.

По данным микрорентгеноспектрального анализа кобальт присутствует во всем объеме металлической связки, за исключением частиц вольфрама. Это свидетельствует о растворении кобальта в легкоплавкой матрице при пайке. Согласно диаграмме состояния системы С–Со, кобальт может образовывать с углеродом метастабильные карбиды Co_3C и Co_2C [8]. Очевидно, смачивание алмазов происходило за счет наличия в расплаве кобальта.

Карбидные фазы на границе между металлической связкой и алмазами не обнаружены.

Прочность соединения алмазов с исследуемой связкой можно оценить по характеру излома алмазосодержащего слоя (рис. 2). На изломе видно, что алмазы хорошо охвачены металлической связкой за счет их смачивания в процессе пайки. Поры и другие дефекты на границе «припой – алмаз» не наблюдаются. Наличие остатков припоя на поверхности алмаза свидетельствует о высокой прочности связи на границе «припой – алмаз»:

разрушение происходило не только по поверхности раздела, но и по самой металлической связке.

О прочной связи алмазов со сплавом Sn-Cu-Co-W свидетельствуют также результаты шлифования поверхности образцов корундовым кругом. С образцов удаляли шлифованием слой толщиной 0,7 мм. При этом наиболее интенсивно изнашивалась металлическая связка, находящаяся между зернами алмаза. По мере износа выкрашивались алмазные зерна, выступившие из поверхности связки на 0,3–0,4 их поперечного размера. Это свидетельствует о прочном закреплении алмазов в металлической связке.

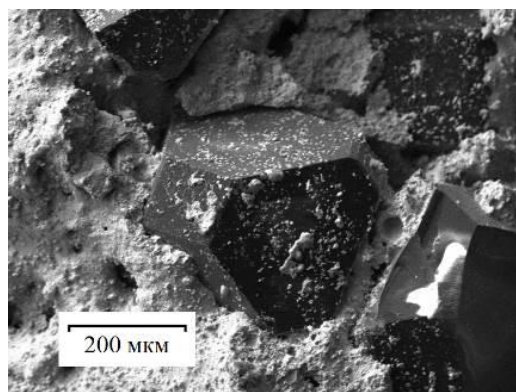


Рис. 2. Поверхность излома алмазосодержащего слоя со связкой, содержащей, % (масс.): 20 Sn, 43 Cu, 30 Co, 7 W (электронное изображение)

Fig. 2. The fracture surface of diamond-containing layer with metal matrix containing, (% wt.): 20 of Sn, 43 of Cu, 30 of Co, 7 of W (electron image)

Прочная связь алмазов с металлической связкой, предположительно, объясняется тем, что на границе раздела «припой – алмаз» при пайке образуется наноразмерная прослойка карбида кобальта, не наблюдаемая с помощью использованных методов исследования.

Таким образом, введение кобальтового порошка в состав композиционного припоя обеспечивает хорошее смачивание алмазных зерен при пайке и их прочное закрепление в формирующейся из припоя металлической связке.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Trenker A., Seidemann H.** *Industrial Diamond Review*. 2002. V. 62. N 1. P. 49–51.
2. **Lee C.H., Ham J.O., Song M.S., Lee C.H.** *Materials transactions*. 2007. V. 48. N 4. P. 889–891.
3. **Соколов Е.Г., Козаченко А.Д.** Пат. № 2457935 (РФ). 2010. Способ получения абразивного инструмента из сверхтвердых материалов.

REFERENCES

1. **Trenker A., Seidemann H.** *Industrial Diamond Review*. 2002. V. 62. N 1. P. 49–51.
2. **Lee C.H., Ham J.O., Song M.S., Lee C.H.** *Materials transactions*. 2007. V. 48. N 4. P. 889–891.
3. **Sokolov E.G., Kozachenko A.D.** RF Patent N 2457935. 2010. Method of making abrasive tool from superhard materials.

4. **Соколов Е.Г., Артемьев В.П., Козаченко А.Д.** *Технология металлов*. 2012. № 12. С. 35-37.
5. **Соколов Е.Г.** *Технология металлов*. 2015. № 6. С. 28-32.
6. **Rabinkin A., Shapiro A.E., Boretius M.** in: *Advances in Brazing: Science, Technology and Applications*. Cambridge: Woodhead Publishing, 2013. P.160-193.
7. **Найдич Ю.В., Колесниченко Г.А., Лавриненко И.А., Моцак Я.Ф.** *Пайка и металлизация сверхтвердых инструментальных материалов*. Киев: Наукова думка. 1977. 186 с.
8. *Диаграммы состояния двойных металлических систем*. Т.1. / Под общ. ред. Н.П. Лякишева. М.: Машиностроение. 1996. 992 с.
4. **Sokolov E.G., Artemyev V.P., Kozachenko A.D.** *Tekhnologiya Metallov*. 2012. N 12. P. 35-37 (in Russian).
5. **Sokolov E.G.** *Tekhnologiya Metallov*. 2015. N 6. P. 28-32 (in Russian).
6. **Rabinkin A., Shapiro A.E., Boretius M.** in: *Advances in Brazing: Science, Technology and Applications*. Cambridge: Woodhead Publishing. 2013. P. 160-193.
7. **Naidich Yu.V., Kolesnichenko G.A., Lavrinenko I.A., Motsak Ya.F.** *Brazing and Metallization of Ultra-Hard Tool Materials*. Kiev: Naukova Dumka. 1977. 186 p. (in Russian).
8. *Diagrams of Binary Metallic Systems*. / Ed. Lyakishev N.P. M.: Mashinostroyeniye. 1996. 992 p. (in Russian).

*Поступила в редакцию 21.06.2016
Принята к опубликованию 19.07.2016*

*Received 21.06.2016
Accepted 19.07.2016*