

## ВЛИЯНИЕ ДОБАВКИ ПОРОШКА МОЛИБДЕНА НА МИКРОСТРУКТУРУ СПЕЧЕННОГО СПЛАВА Sn-Cu-Co

*Голиус Д.А., Соколов Е.Г., Бурым Т.А.*

*Кубанский государственный технологический университет, г. Краснодар*

**Ключевые слова:** алмазный инструмент, металлическая связка, перекристаллизация, жидкофазное спекание, массоперенос.

**Аннотация.** Целью работы является изучение перекристаллизации кобальта через жидкую фазу и влияния молибдена на этот процесс при спекании материала. Для исследования была приготовлена порошковая смесь следующего состава (% масс.): 46 Cu, 21 Sn и 33 Co. В смесь добавлен порошок молибдена в количестве 7% масс. Образцы сплавов Sn-Cu-Co с добавкой порошка молибдена получали статическим прессованием и спеканием при температуре 1000°C с временем выдержки 30 минут. Структуру образцов и распределение элементов в них исследовали методом электронной микроскопии. Результаты исследования показали, что массоперенос кобальта при жидкофазном спекании был направлен к частицам молибдена, имеющим более высокую поверхностную энергию. В результате на частицах молибдена сформировались кобальтовая оболочка и переходные диффузионные слои, содержащие кобальт и молибден.

## EFFECT OF MOLYBDENUM POWDER ADDITIVE ON THE MICROSTRUCTURE OF SINTERED Sn-Cu-Co ALLOY

*Golius D.A., Sokolov E.G., Buryim T.A.*

*Kuban State Technological University, Krasnodar*

**Keywords:** diamond tool, metal bundle, recrystallization, liquid-phase sintering, mass transfer.

**Abstract.** The aim of the work is to study the recrystallization of cobalt through the liquid phase and the influence of molybdenum on this process during sintering of the material. A powder mixture of the following composition (% by weight) was prepared for the study: 46 Cu, 21 Sn and 33 Co. Molybdenum powder was added to the mixture in an amount of 7% by weight. Samples of Sn-Cu-Co alloys with the addition of molybdenum powder were obtained by static pressing and sintering at a temperature of 1000°C with a holding time of 30 minutes. The structure of the samples and the distribution of elements in them were studied by electron microscopy. The results of the study showed that the mass transfer of cobalt during liquid-phase sintering was directed to molybdenum particles having a higher surface energy. As a result, a cobalt shell and transitional diffusion layers containing cobalt and molybdenum were formed on the molybdenum particles.

Сплавы системы Sn-Cu-Co применяются в качестве металлических связок алмазно-абразивных инструментов. Эти сплавы обладают высокой стойкостью к абразивному износу, хорошо удерживают в связке алмазные зерна, образуя с их поверхностью химические связи [1, 2]. Инструменты со связками Sn-Cu-Co получают методами композиционной пайки и порошковой металлургии [3-5]. Эти сплавы, как правило, спекают при температурах 780-1100°C. При этих температурах образуется медно-оловянная жидкая фаза, которая частично растворяет в себе кобальт [6].

При ограниченной растворимости твердой фазы в жидкой спекание порошковых материалов происходит в три стадии: перегруппировка частиц,

перекристаллизация, образование твердого каркаса, его твердофазное спекание и усадка [7]. На стадии вязкого течения жидкости образовавшаяся жидкая фаза заполняет поры и способствует перегруппировке твердых частиц, что приводит к их более плотной упаковке. Процесс перекристаллизации состоит в растворении жидкой фазой мелких частиц твердой фазы и последующем осаждении твердого вещества на крупных частицах. Движущей силой этого процесса является наличие в порошковом материале участков с различным химическим потенциалом вещества. Известно, что добавка порошка вольфрама значительно влияет на перекристаллизацию кобальта при спекании материала Sn-Cu-Co и способствует получению в этих материалах мелкозернистой структуры [8]. Влияние добавки вольфрама на перекристаллизацию объясняется следующим. В системах, состоящих из двух твердых металлов и жидкой фазы, массоперенос направлен к металлу, имеющему более высокую поверхностную энергию. Величина поверхностной энергии вольфрама составляет  $4 \text{ Дж/м}^2$ , молибдена  $3,5 \text{ Дж/м}^2$ , а кобальта  $2,8 \text{ Дж/м}^2$  [9].

Целью работы является исследование массопереноса кобальта через жидкую фазу, перекристаллизация кобальта и влияние молибдена на этот процесс.

Для проведения исследования была приготовлена порошковая смесь следующего состава (% масс.): 46 Cu, 21 Sn и 33 Co.

В смесь добавляли порошок молибдена в количестве 7% масс. Размер равноосных частиц порошка олова составляет 17-30 мкм, меди 45-70 мкм, кобальта 1-2 мкм, молибдена 2-5 мкм.

Для приготовления смеси использовали аналитические весы Adventurer AR2140 фирмы «ОНАУС» с точностью взвешивания 0,0001г. Готовили порошковые навески массой 20г, тщательно их перемешивали и уплотняли статическим односторонним прессованием в стальной пресс-форме с усилием в  $12 \text{ т/см}^2$ . Полученные цилиндрические образцы высотой 9 мм и диаметром 20 мм спекали в вакуумной печи при температуре  $1000^\circ\text{C}$  с временем выдержки 30 минут.

Микроструктуру образцов и распределение в них элементов исследовали с помощью электронного микроскопа EVO HD 15 (Zeiss).

Микроструктура полученного сплава показана на рисунке 1. Изображение выполнено с контрастом по атомным номерам компонентов. Компоненты с более высоким атомным номером имеют более светлый цвет на изображении. На рисунке 1 приведены карты распределения компонентов в спеченном сплаве.

Частицы молибдена в сплаве находятся в виде агрегатов с рыхлой пористой структурой. Вокруг частиц молибдена сформировалась оболочка, состоящая из нескольких слоев. В таблице 1 приведены результаты микрорентгено-спектрального анализа структурных составляющих спеченного сплава.

Результаты микрорентгеноспектрального анализа и карты распределения компонентов показывают, что зона 2 практически полностью состоит из кобальта. В этой зоне видны отдельные частицы кобальта, припекшиеся к агломератам, размером от 3 до 12 мкм. Размер частиц кобальта увеличился за счет их перекристаллизации через жидкую фазу. Вместе с этим процессом происходило осаждение кобальта на агломератах молибдена, в результате чего на них сформировалась кобальтовая оболочка.

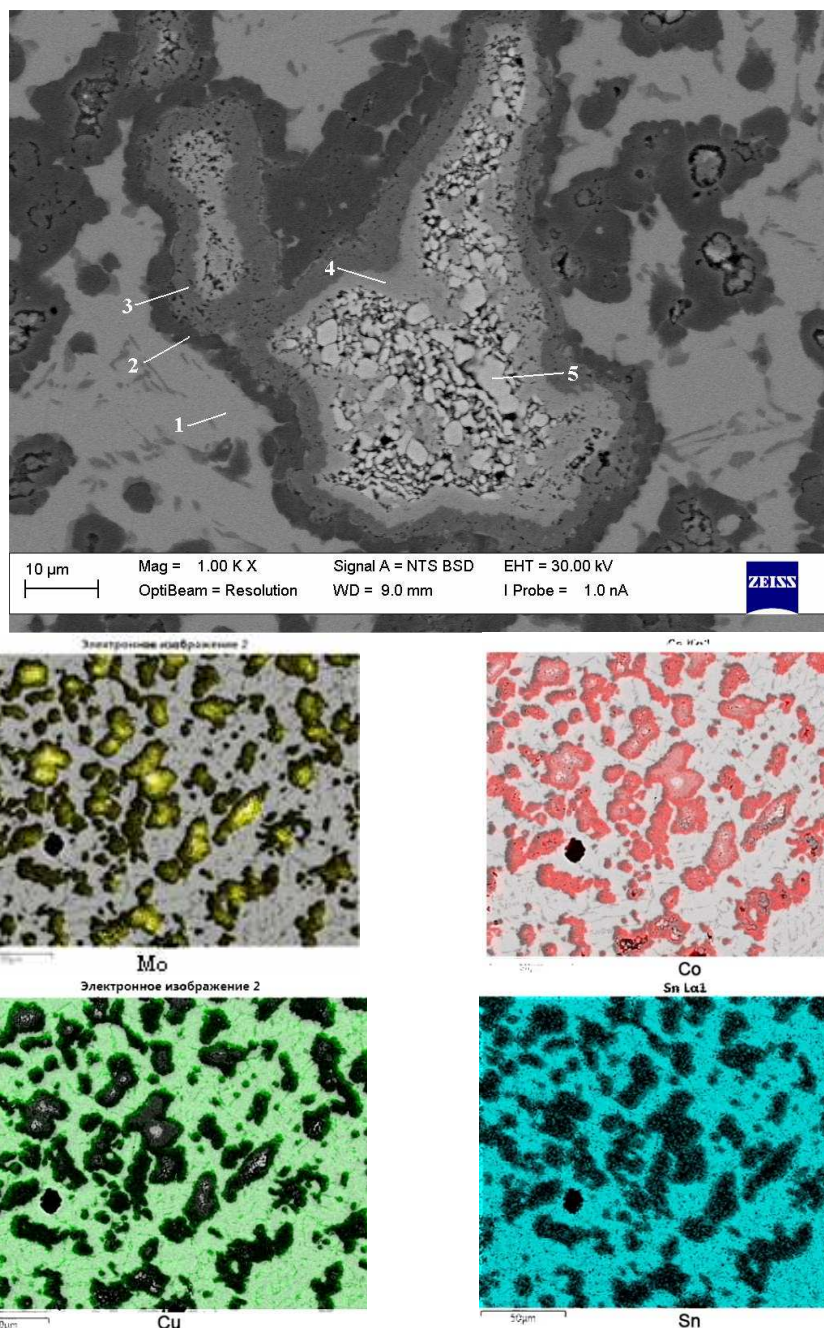


Рис. 1. Микроструктура спеченного сплава Sn-Cu-Co и карты распределения компонентов: 1 – медно-оловянная фаза, 2 – слой кобальта, 3,4 – диффузионные зоны, 5 – частицы молибдена.

Табл. 1. Результаты микрорентгеноспектрального анализа структурных составляющих сплава Sn-Cu-Co-Mo

Структурные составляющие, согласно рисунку 1	Содержание элементов (% масс.)	Содержание элементов (% масс.)	Содержание элементов (% масс.)	Содержание элементов (% масс.)
	Co	Cu	Mo	Sn
1	3,2	64,2	-	32,6
2	95,3	1,6	2,5	0,6
3	59,7	2,5	37	0,8
4	45,8	0,5	53,7	-
5	-	-	99,7	-

Зоны 3 и 4 на рисунке 1, сформировались за счет взаимной диффузии кобальта и молибдена. Внутри агломератов молибдена наблюдаются участки, обогащенные кобальтом. Это свидетельствует о том, что такая структура сформировалась за счет быстрой диффузии кобальта по поверхности частиц молибдена вглубь агрегатов. В пространстве между агрегатами молибдена находится медно-оловянная жидкая фаза, содержащая из 3 процентов кобальта. Молибден в этой фазе отсутствует. Медно-оловянная фаза 1 сформировалась при кристаллизации жидкой фазы после охлаждения образцов после спекания.

Таким образом, проведенные исследования подтвердили, что при спекании массоперенос кобальта был направлен к частицам молибдена, имеющим более высокую поверхностную энергию. При спекании происходило растворение частиц кобальта и перенос их вещества через жидкую фазу на поверхность молибдена. В результате на частицах молибдена сформировались кобальтовая оболочка и переходные диффузионные слои, содержащие кобальт и молибден.

### Список литературы

1. Konstanty J. Powder metallurgy diamond tools. – Oxford: Elsevier, 2005. – 152p.
2. Соколов Е.Г., Озолин А.В. Повышение стойкости алмазно-абразивных инструментов для обработки нитридо-кремниевой керамики // Современные технологии в машиностроении: сб. статей XX Международной науч.-практ. конф. – Пенза: Приволжский Дом знаний, 2016. – С. 61-65.
3. Патент №2457935 РФ. Способ получения абразивного инструмента из сверхтвердых материалов / Е.Г. Соколов, А.Д. Козаченко. – Заявка №2010145573/02 от 09.11.2010; опубл. 10.08.2012.
4. Соколов Е.Г., Артемьев В.П., Озолин А.В. Получение алмазно-металлических композитов с помощью припоев, содержащих тугоплавкие наполнители // Известия высших учебных заведений. Серия: Химия и химическая технология. 2016. Т. 59. № 8. С. 56-59.
5. Соколов Е.Г., Козаченко А.Д. Исследование связующих веществ композиционных припоев, применяемых для пайки алмазно-абразивного инструмента // Известия высших учебных заведений. Сев.-Кавк. регион. Технические науки. 2012. №5. С. 66-68.
6. Соколов Е.Г., Артемьев В.П., Козаченко А.Д. Формирование металлической связки алмазно-абразивного инструмента при композиционной пайке // Технология металлов. 2012. №12. С. 35-37.
7. Ивенсен В.А. Феноменология спекания и некоторые вопросы теории. – М.: Металлургия, 1985. –246с/
8. Sokolov E.G., Ozolin A.V., Svistun L.I. Cobalt mass transfer through the liquid phase in sintering of Sn-Cu-Co and Sn-Cu-Co-W powder materials // JP Journal of Heat and Mass Transfer. 2019. Vol. 16. Is. 2. P. 297-305.
9. Vitos L., Ruban A.V., Skriver H.L., Kollar J. The surface energy of metals // Surface Science. 1998. Vol. 411. P. 186-202.

### Сведения об авторах:

*Голиус Дмитрий Александрович* – аспирант.

*Соколов Евгений Георгиевич* – к.т.н., доцент,

*Бурым Тимофей Александрович* – магистрант.