



## Конкурс для школьников «Гениальные мысли» Автореферат проекта призеров III степени

**Название работы – Разработка, получение и исследование связки на основе механолегированных гранул меди для алмазного инструмента.**

**Авторы – Димитриевой Евгении Александровны и Маловой Инны Сергеевны (11 класс, МБОУ "Лицей № 2" г. Чебоксары).**

### **Основная идея работы, цели, задачи**

В данной работе показан процесс разработки и исследования структуры дисперсно-упрочненных композиционных материалов системы Cu-Al-Ti-Sn-C-O, и ее физико-механических свойств, которые являются основой связки для алмазного инструмента. В ходе исследования выявлено, что представленные материалы имеют высокие значения температуры рекристаллизации и теплопроводности, что превышает по всем показателям широко применяемую в промышленности связку системы Cu-Sn.

### *Цель исследования*

Исследование влияние состава и технологических режимов на структуру и свойства композиционных материалов на основе механолегированных гранул меди системы Cu-Al-Ti-C-O, получаемых по традиционным технологиям порошковой металлургии.

### *Задачи исследования*

1. Теоретическая разработка химического состава шихты опытных образцов.
2. Получение образцов с выявленными составами.
3. Выявление оптимального по физико-механическим свойствам образца посредством исследования твердости и износостойкости материалов.
4. Анализ структуры образцов через оптический микроскоп и СЗМ «NanoEducator».
5. Подведение итогов проведенного исследования.

### **Новизна работы**

В нашей работе приведено исследование возможности использования в качестве связки спеченного алмазного инструмента гранул дисперсно-упрочненной меди, получаемых реакционным механическим легированием, путем размолла смеси порошка меди и порошка оксидо- и карбидообразующих легирующих элементов (Al, Ti), а также графита, в шаровых мельницах – атриторах. Также были получены снимки структуры с СЗМ «NanoEducator».

### **Основные результаты**

#### *Получение образцов*

Механолегированные гранулы меди системы Cu-Al-Ti-C-Обыли получены путем обработки в атриторе емкостью 15 л шихты – смеси порошков меди марки ПМС-1, алюминия марки ПП-1, титана марки ПТМ-1, графита марки ГК-3, в количестве 2 кг. Обработку производили в два этапа: на первом этапе соотношение массы шихты и стальных шаров составляло 1:15-1:20,

время обработки – 60 мин; на втором этапе соотношение массы шихты и стальных шаров составляло от 1:10 до 1:15, время обработки – 30 мин. Для изготовления образцов исследуемых композиционных материалов использовали механолегированные гранулы с размерами менее 100 мкм, количество которых составляло не менее 90 % от всего количества полученных гранул. С целью увеличения прочности и снижения температуры спекания при изготовлении образцов гранулы смешивали с порошком олова ПОЭ, количество которого приводится в табл.

Технология изготовления исследуемых образцов цилиндрической формы диаметром 13 мм и высотой 12-14 мм на основе механолегированных гранул системы Cu-Al-Ti-C-O включала следующие операции:

- получение рабочей шихты путем смешивания компонентов гранульно-порошковой смеси в «пьяной бочке»;
- изготовление прессовок холодным компактированием рабочей шихты в контейнере с внутренним диаметром 12 мм при давлении 300 МПа;
- выпрессовка полученных цилиндрических образцов из контейнера;
- спекание образцов под слоем смеси графита и твердого карбюризатора (50:50) при 700°C и 750°C в течение 60 мин;
- горячее прессование в контейнере с внутренним диаметром 13 мм, предварительно нагретом до 550 °С.

Для сравнения образцы стандартной связки М2-01 (старое обозначение М1 [6]) изготавливали по такой же технологии, но спекание проводили при температуре 700 °С. Увеличение температуры спекания до 750 °С приводило к разрушению образцов М2-01 при их переносе в контейнер для горячего прессования, что было обусловлено частичным их расплавлением.

Химический состав шихты опытных образцов

№	Условное обозначение опытных образцов	Содержание компонентов в шихте, % масс.	
		Порошок олова ПОЭ	Гранулят на основе меди «МАГДМ»
1	100/-	0	100
2	97/3	3	97
3	95/5	5	95
4	90/10	10	90
5	80/20	20	80

*Методики испытаний образцов на твердость и износостойкость*

Измерение твердости полученных образцов выполняли на приборе Роквелла по шкале В. Испытание образцов на сжатие проводили на гидравлическом прессе 2ПГ-50. Испытание на абразивную износостойкость проводили на машине трения ЛКИ-3. Плотность определяли путем взвешивания образцов на весах ВЛР-200 с точностью ±0,001 г. (Приложение №4). Объем определяли путем замера диаметра с точностью ±0,01мм и высоты образца с точностью ±0,05мм.

*Результаты испытаний*

Таблица твердости и плотности

Опытные образцы	Твердость , HRB	Плотность, г/см <sup>3</sup>	Предел прочности на сжатие, МПа
Композиционные материалы на основе механолегированных гранул меди системы Cu-Al-Ti-C-O			
100/-	91/90*	8,42/8,43	790/800*
97/3	92/91*	8,45/8,46	940/1130*
95/5	94/94*	8,51/8,50	1150/1450*
90/10	94/-	8,47/-	1090/-
80/20	102/-	8,53/-	650/-
Стандартная связка M2-01			
Порошок меди ПМС-1:80%/20	94/-	8,58/-	1400/-

\*в числителе свойства образцов, спеченных при 700°С, а в знаменателе – при 750 °С

Таблица износостойкости

Опытные образцы	Масса до испытания, г	Масса после испытания, г	Потеря массы, г
100/-	11,96840	11,67085	0,298
97/3	11,90380	11,67565	0,228
95/5	11,92465	11,68535	0,239
90/10	11,96310	11,72360	0,240
80/20	11,95781	11,69475	0,263

Как показали результаты исследований (см. табл.), твердость и предел прочности на сжатие образцов с увеличением количества добавляемого порошка олова увеличивается, но при содержании олова более 5% масс. наблюдается снижение характеристик прочности. Это можно объяснить образованием хрупких составляющих в их структуре. Анализ показал, что наиболее оптимальное сочетание механических характеристик – твердости (94 HRB) и предела прочности на сжатие (1450 МПа), – не уступающее сочетанию аналогичных механических характеристик связки M2-01 (см. табл.), наблюдается у образцов из механолегированных гранул меди системы Cu-Al-Ti-C-O с 5% масс. порошка олова, полученных по вышеописанной технологии при температуре спекания 750 °С.

Температура рекристаллизации образцов под номерами 1, 2, 3 составляет не менее 750 °С. Твердость этих образцов после нагрева до 750°С и выдержки в течение 1 ч составляет 89±1 HRB. Твердость образцов Cu-20%Sn после дополнительного отжига при 700 °С снижается до 50-60 HRB.

#### *Визуальный анализ поверхности с помощью оптического и зондового микроскопов*

Дополнительное введение олова в количестве 5 % масс. в состав шихты во время изготовления образцов обеспечивает увеличение связи между гранулами, тем самым снижая температуру спекания между ними. При спекании сначала олово в жидкофазном состоянии взаимодействует с гранулами меди в соответствии с диаграммой состояния Cu-Sn, образуя ряд промежуточных фаз, что в конечном итоге приводит к изменению микроструктуры вблизи границ гранул (см. рис. 1,б). Затем в твердофазном состоянии атомы олова начинают диффундировать внутрь гранул, увеличивая содержания олова в твердом растворе, а также образуя окись олова и, возможно, интерметаллиды, при взаимодействии с

имеющимися атомами кислорода и титана в матрице меди. Как видно из рис. 1,б, в микроструктуре образца с 5% масс. олова наблюдается увеличение количества мелких и крупных включений.

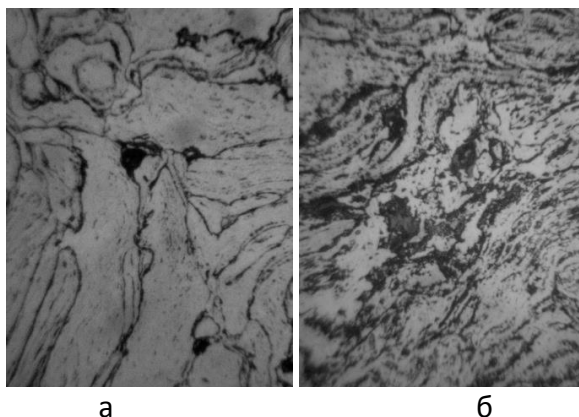
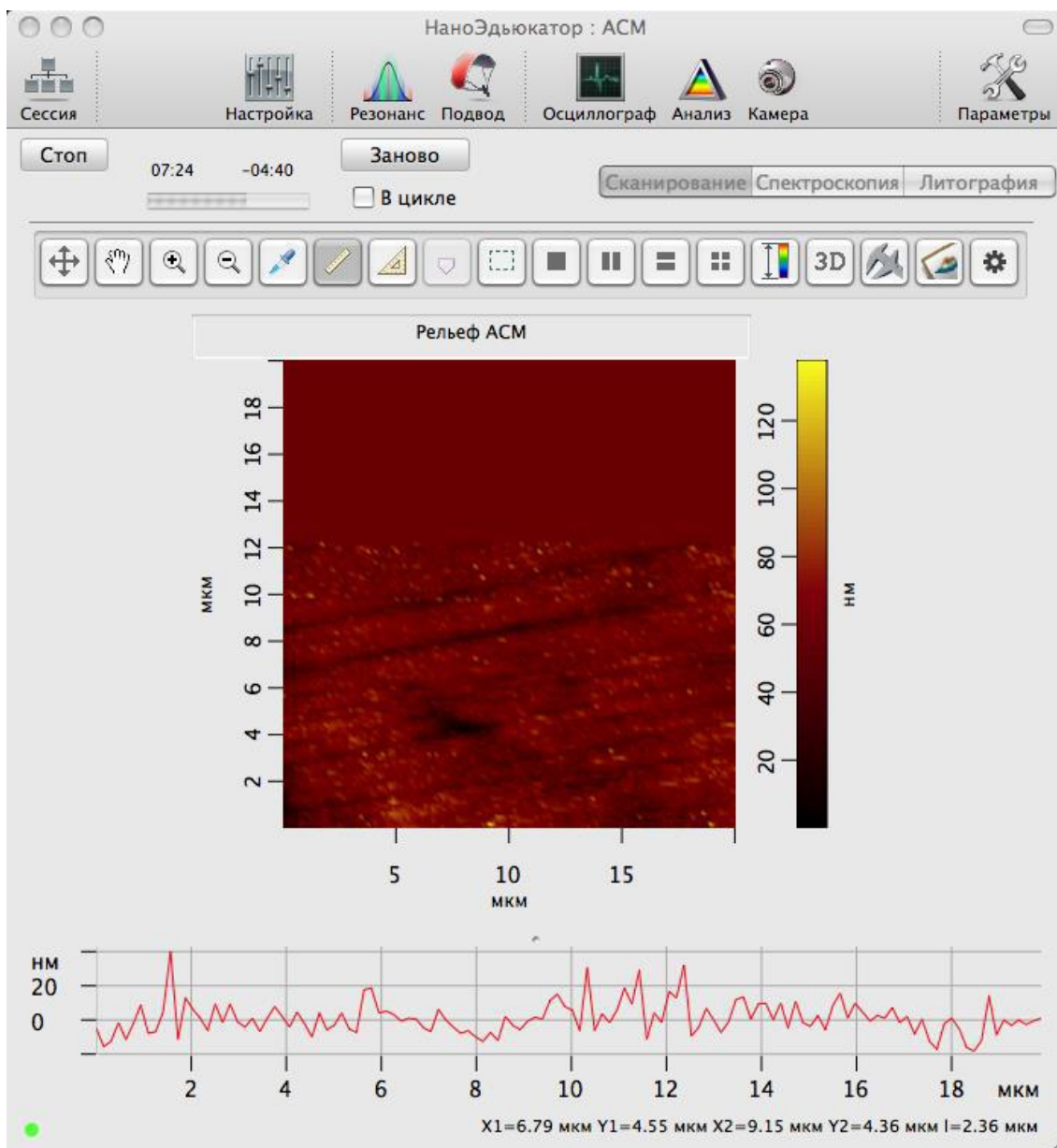


Рис.1. Микроструктура образцов: а – из механолегированных гранул Cu-Al-Ti-C-O; б – из смеси механолегированных гранул Cu-Al-Ti-C-O и 5% масс. порошка олова. x500.



Для более детального исследования пористости нами было проведено исследование методом АСМ на СЗМ «NanoEducator» в школьной лаборатории. Анализ скана показал, что на площади размером 20x12 мкм имеется единичная пора длиной 3-4 мкм. Кроме этого на скане видны результаты микрошлифования поверхности образца.

### **Выводы, заключение, перспективы**

Благодаря высокому уровню физико-механических свойств, особенно температуре рекристаллизации и теплопроводности, а также более низкой (на 20-30 %) себестоимости за счет снижения количества вводимого олова и увеличения технологичности, исследуемые композиционные материалы, получаемые из механолегированных гранул на основе меди системы Cu-Al-Ti-C-O, могут быть рекомендованы для их дальнейшего испытания в качестве связок для изготовления алмазных инструментов взамен связок на основе Cu-Sn.

Мы подобрали нужные образцы, осталось изготовить опытные образцы для воплощения нашего проекта в жизнь. Для этого надо найти возможность создания режущих материалов из экспериментальных образцов. Будем искать возможность в условиях лаборатории машиностроительного факультета ЧГУ им. Ульянова или на базе предприятий города Чебоксары.

### **Список цитированных источников**

1. Зайцев А.А. Алмазный инструмент для резки высокоармированного железобетона с дисперсно-упрочненной наночастицами металлической связкой / А.А. Зайцев, Д.А. Сидоренко, Е.А. Левашов [и др.] // Сверхтвердые материалы. 2010. №6. С. 78-89.
2. Логинов П.А. Особенности влияния наномодифицирования на свойства связки Cu-Fe-Co-Ni для алмазного инструмента / П.А. Логинов, В.В. Курбаткина, Е.А. Левашов Е.А. // Известия вузов. Порошковая металлургия и функциональные покрытия. 2014. № 2. С. 23-31.
3. Янюшкин А.С. Механизм засаливания шлифовальных кругов / А.С. Янюшкин, П.В. Архипов, В.А. Торопов // Вестник машиностроения. 2009. №03. С. 62-69.
4. Янюшкин А.С. Потеря режущей способности алмазных кругов на металлической связке при шлифовании композиционных материалов / А.С. Янюшкин, П.В. Архипов, В.А. Торопов // Вестник Сибирского аэрокосмического ун-та им. акад. М.Ф. Решетнева. 2013. № 1. С. 178-183.
5. Салов П.М. Повышение эффективности заточки, круглого и плоского шлифования с продольной подачей / П.М. Салов: Дис .... докт. техн. наук. / Самарский гос. техн. ун-т. Самара. 1998.
6. Галицкий В.Н. Алмазно-абразивный инструмент на металлических связках для обработки твердого сплава и стали / В.Н. Галицкий, А.В. Курищук, В.А. Муровский. Киев: Наук. думка, 1986. 144 с.
7. Шалунов Е.П. Жаро- и износостойкие медные гранулированные композиционные материалы с механохимически синтезированными упрочняющими наночастицами ДИСКОМ® и высокоресурсная продукция из них / Е.П. Шалунов // Нанотехника. 2007. № 1 (9). С. 69-78.
8. Шалунов Е.П. Особенности формирования объемных наноструктурных материалов на основе меди методом реакционного механического легирования / Е.П.Шалунов, В.М. Смирнов // Вестник Чувашского университета. Естественные и технические науки. 2009, №2. С. 291-299.
9. Смирнов В.М. Структура и свойства композиционных материалов, полученных

реакционным механическим легированием меди титаном и углеродом / В.М. Смирнов, Е.П. Шалунов // Новые материалы и технологии: порошковая металлургия, композиционные материалы, защитные покрытия, сварка: матер. 10-й междунар. науч.-практ. конф., Минск, 12-14 сентября 2012. Минск, 2012. С. 22-25.