

УДК 621.002.3

Использование методов обработки давлением для получения материала из сыпучей стружки меди с добавками графита

Н.Н. Загиров*,
В.И. Аникина, А.С. Надолько
*Сибирский федеральный университет
Россия 660041, Красноярск, пр. Свободный, 79¹*

Received 13.08.2012, received in revised form 20.08.2012, accepted 27.08.2012

Определены параметры горячего прессования и последующей экструзии для получения брикетов и прутков из сыпучей стружки меди с добавками графита, обеспечивающие устойчивое течение материала при экструзии и волочении. Установлено максимальное количество вводимого в композиционную смесь графита. Составлен маршрут волочения, получена проволока различных диаметров из медно-графитовых прутков. Исследованы структура и свойства полученных изделий.

Ключевые слова: стружка, стружковые материалы, медно-графитовые материалы, горячая экструзия, микроструктура.

Переработка вторичного сырья с экономической точки зрения является актуальной проблемой нашего времени, особенно если это касается отходов цветных металлов, к числу которых относится и образующаяся при обработке резанием сыпучая стружка мелких размеров. Одним из альтернативных способов переработки такого рода отходов, исключающих плавильный передел, является использование приёмов порошковой металлургии, подразумевающее в том числе выполнение операций обработки давлением.

Результаты ранее проведённых работ [1, 2] показали, что последовательное применение горячей экструзии для получения прутков из стружки может дать положительные результаты. Это связано с тем, что при реализации указанных операций в очаге деформации реализуется особое напряжённое состояние – всестороннее неравномерное сжатие, при котором маловероятно возникновение внутренних дефектов, а между фрагментами стружки будут возникать очаги схватывания, приводящие к их объединению, т.е. происходит «заваривание» ранее существовавших несплошностей. При этом более перспективным, на наш взгляд, будет не просто переработка по такой схеме одноимённой стружки, а создание на её основе специфических композиционных материалов определённого функционального назначения. Естественно, го-

* Corresponding author E-mail address: jiffy@inbox.ru

¹ © Siberian Federal University. All rights reserved

ворить о конкретных областях применения таких материалов без предварительного решения вопросов технологии их создания и всестороннего исследования структуры и свойств преждевременно.

В данной статье поставлена задача разработать технологию получения сплошного материала в виде прутков и проволоки из медной стружки с добавками графита. Полученный материал может быть использован для разрывных контактов, предназначенных для замыкания и размыкания электроцепей, используемых в средне- и тяжело нагруженных низковольтных электрокоммутирующих аппаратах [3].

Анализ диаграммы состояния медь-графит показал, что между медью и графитом отсутствует взаимодействие как в жидком, так и в твёрдом состоянии, т.е. компоненты не растворимы друг в друге [4]. Следовательно, введение графита, преследуя позитивные цели, неизбежно вызывает и негативные последствия. В частности, с повышением его содержания сокращаются области, занимаемые медью, а также увеличивается суммарная площадь контакта частиц меди и графита, что ослабляет устойчивость металлических связей, определяющих стабильность течения материала при реализации сложных схем деформации. Таким образом, одна из задач – определить предельное содержание вводимого в медную основу графита.

Для проведения экспериментов использовали стружку в виде опилок, образующихся при распиловке прессованных прутков из меди марок М2, М3 на мерные длины и чешуйчатый графит, вводимый в определённом количестве в медную основу для получения особых свойств материала.

Изучение микроструктуры проводили на микроскопе Observer.Dt1m, механические характеристики определяли при испытании на разрыв на универсальной разрывной машине LFM 20 kN.

Содержание вводимого графита варьировали в пределах от 0 до 5 % (по массе). А поскольку одним из критериев при получении изделий из сыпучих металлических материалов является относительная плотность, то предварительно с учётом правила аддитивности была рассчитана плотность прессовок из медно-графитовой смеси в беспористом состоянии. Для этого использовали формулу [4]

$$\rho_{\text{смеси}} = (100 \cdot \rho_{\text{Cu}} \cdot \rho_{\text{C}}) \div (a_{\text{C}} \cdot \rho_{\text{C}} + a_{\text{Cu}} \cdot \rho_{\text{Cu}}),$$

где $\rho_{\text{Cu}} = 8,92 \text{ г/см}^3$ – плотность меди;

$\rho_{\text{C}} = 2,667 \text{ г/см}^3$ – плотность графита;

a_{C} , a_{Cu} – процентное содержание соответствующих компонентов в смеси.

Результаты расчёта по этой формуле представлены на рис. 1 в виде сплошной линии. Точками нанесены экспериментальные значения интегральной плотности прессовок, полученных горячим прессованием соответствующих смесей при температуре нагрева пресс-формы $\theta = 500 \text{ }^\circ\text{C}$, давлении прессования $P = 200 \text{ МПа}$ и времени выдержки под давлением в течение 5 мин.

Из рисунка 1 видно, что при указанных параметрах горячего прессования с введением графита плотность прессовок достигает практически предельных величин.

Если для чистой медной стружки относительная плотность составляет 92-94 %, то для композиции медь-графит – 97-99 %. Последнее обстоятельство свидетельствует о том, что не-

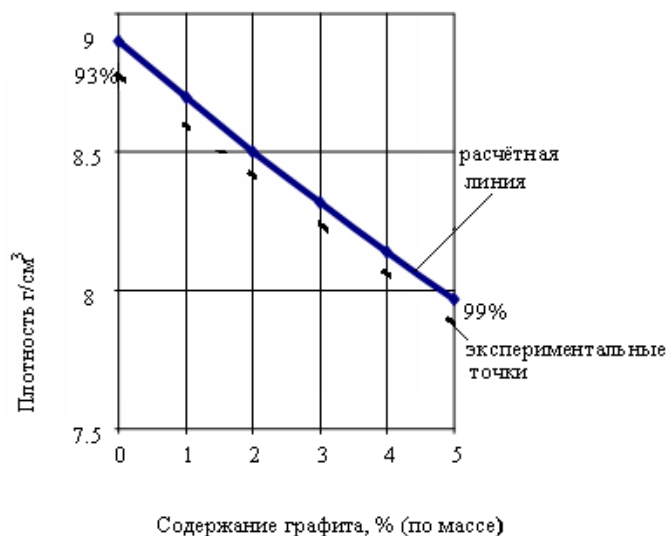


Рис. 1. Влияние содержания графита на плотность прессовок, полученных при $\theta=500$ оС, $P=200$ МПа, $\tau=5$ мин

зависимо от содержания вводимого графита параметры горячего прессования, о которых шла речь выше, являются достаточно приемлемыми для получения качественной заготовки. Меньший уровень плотности считается нежелательным, так как в противном случае увеличивается активная поверхность окисления при нагреве прессовок перед предыдущей экструзией.

В дальнейшем полученные прессовки нагревали в отдельно стоящей печи до температуры 900-950 °С, после чего осуществляли перенос заготовки к вертикальному прессу усилием 1 МН, на котором осуществляли горячую экструзию с определённым коэффициентом вытяжки. Температура нагрева инструмента составляла 450 °С.

Как уже было отмечено, на первом этапе необходимо определить максимальное количество графита, которое можно вводить в медную стружку без опасности нарушения устойчивости протекания процесса экструзии. Для установления этого факта в экспериментах получали прутки диаметром 8 мм, значение коэффициента вытяжки $\mu = 32$.

Выяснили, что прутки из прессовок, в которых содержание графита составляло 5 % и более, экструзией получить невозможно. Внешне это проявлялось в том, что материал через матрицу не выдавливался, а высыпался отдельными фрагментами.

При содержании графита от 1 до 3 % течение материала проходило достаточно стабильно без проявления заметных внешних дефектов.

На рисунке 2 приведены микроструктуры образцов, вырезанных из экструдированных прутков, полученных из прессовок с разным содержанием графита. Повышение количества графита в исходной композиции до 3 % приводило к появлению в структуре отдельных сосредоточенных крупных фрагментов графита, что негативно сказывалось на механических характеристиках прутков. Анализ приведённых микроструктур показал влияние вводимого графита на степень рекристаллизации меди, происходящей в ходе и после осуществления операции

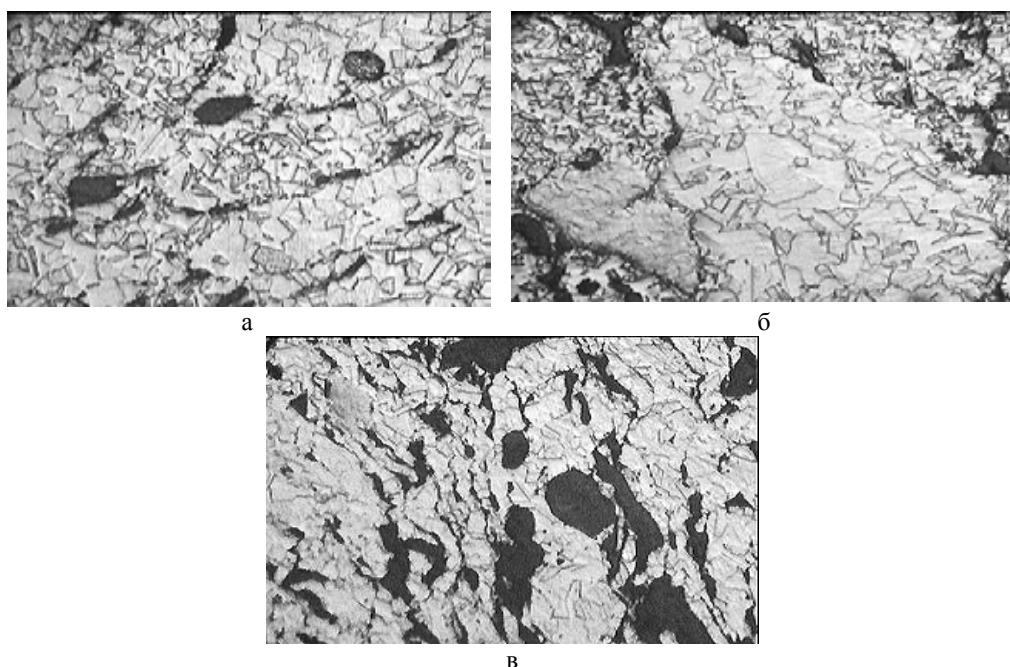


Рис. 2. Микроструктура прутков, полученных из прессовок с содержанием графита: 1 % (а), 2 % (б), 3 % (в), х 160

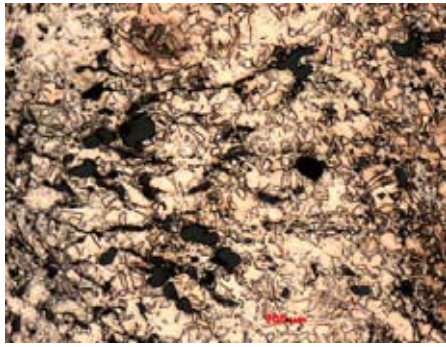
горячей экструзии. При меньшем содержании графита степень рекристаллизации наибольшая, о чём свидетельствует большее количество двойников рекристаллизации (рис. 2 а, б).

Всё это в совокупности позволило предположить, что введение в медную стружку 2 % графита является предельным с точки зрения получения промежуточного полуфабриката – прутка, служащего заготовкой для изготовления конечного продукта – проволоки.

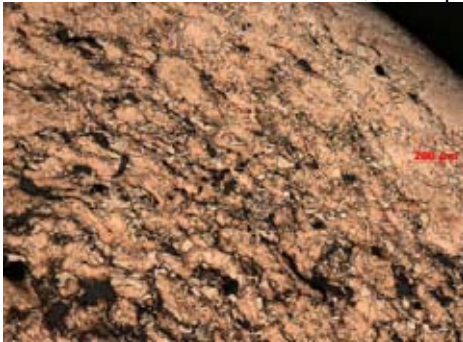
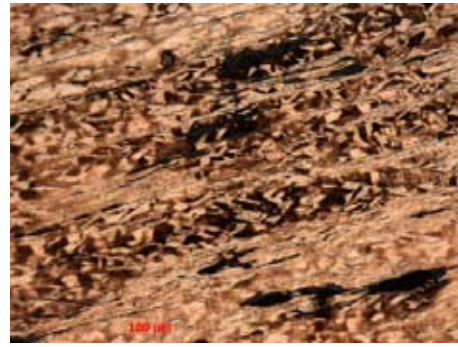
Проволоку диаметром от 2 до 5 мм изготавливали из прессовки с содержанием графита 1 % волочением на цепном волочильном стане усилием 50кН со средним обжатием 15...20 % и проведением на определённых диаметрах проволоки промежуточных отжигов при температуре 600 °С и временем выдержки 60 мин. Суммарное обжатие между двумя соседними отжигами не превышало 60 %.

Микроструктура холоднотянутой проволоки разного диаметра в продольном и поперечном сечениях представлена на рис. 3. В скобках указана величина относительного обжатия ($\delta = ((d_0^2 - d^2)/d_0^2) \cdot 100\%$), с которой была продеформирована проволока после проведения предшествующего волочению отжига.

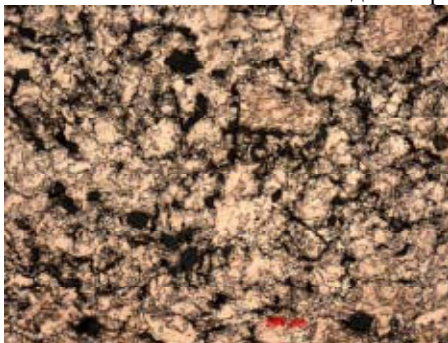
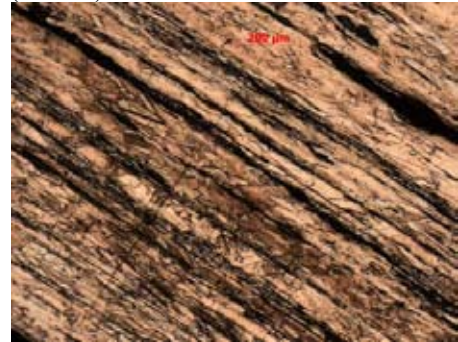
Анализ приведённых на рис. 3 микроструктур проволоки показал, что каких-либо несплошностей или расслоений в материале не наблюдается, всё межстружечное пространство заполнено графитовыми включениями. Однако графит по сечению проволоки распределяется достаточно неравномерно. Большая его часть сосредоточена в серединной части проволоки. Особенно отчётливо это видно на микроструктуре проволоки диаметром 4,4 мм. Обусловлено это тем, что, несмотря на благоприятную в целом схему напряжённого состояния, распределение деформаций, заложенное ещё на стадии экструзии, носит при волочении неравномерный



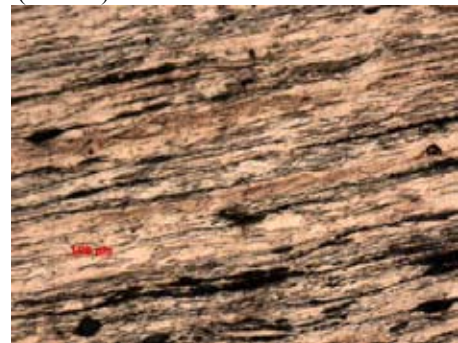
диаметр 5 мм ($\delta=31\%$)



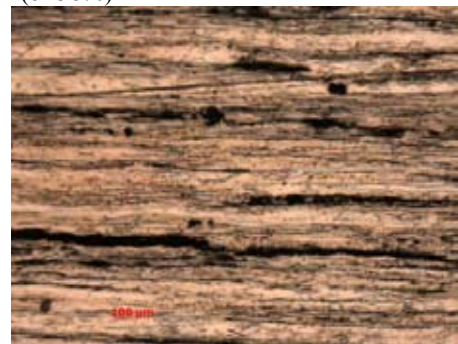
диаметр 4,4мм ($\delta=23\%$)



диаметр 3,3 мм ($\delta=56\%$)



диаметр 2,8мм ($\delta=28\%$)



а

б

Рис. 3. Микроструктура проволоки в поперечном (а) и продольном (б) сечениях, полученная волочением с промежуточным и отжигами, х 160

Таблица 1. Механические свойства проволоки, протянутой после отжига с разной величиной относительного обжатия

Диаметр проволоки, мм	Предел прочности σ_B , МПа	Предел текучести $\sigma_{0,2}$, МПа	Относительное удлинение δ , %
4,4	420 – 430	400 – 410	0,5 – 1
3,3	440 – 450	430 – 440	0 – 0,5
2,8	430 – 440	410 – 420	0,5 – 1

характер. Доказано [5], что при небольших обжатиях происходит локализация деформаций вблизи контактных поверхностей, поэтому в центре проволоки появляются зоны затруднённой деформации, на границах с которыми уровень растягивающих напряжений возрастает. Тем самым создаются предпосылки для появления микропор и микротрещин, которые и могут служить теми микрообъёмами, которые заполняются графитом.

Микроструктура холоднодеформированной проволоки в продольном направлении строчечная. Вытянутые кристаллы медной стружки соединены в единый монолит с тонкими графитовыми прослойками.

Уменьшение диаметра проволоки ведёт к ещё большему вытягиванию частиц меди и в конечном итоге приводит к почти полному слиянию межстружечных границ, что наглядно проявляется при сопоставлении микроструктур проволоки диаметром 5 и 2,8 мм (рис. 3).

Отбор образцов для проведения механических испытаний на растяжение производили на тех же диаметрах проволоки, что и при изучении микроструктуры. Численные значения прочностных и пластических характеристик приведены в табл. 1.

Можно отметить, что полученная проволока, независимо от её диаметра, отличается приемлемым уровнем прочностных свойств и минимальным – пластических. При этом общая тенденция, характерная для поведения материала проволоки, изготовленной из литой заготовки, прослеживается и здесь. Чем больше степень деформации материала проволоки после проведения отжига, тем выше её прочность и ниже пластичность [6].

Используемая обработка давлением – брикетирование, горячая экструзия и волочение, – представленная в данной работе, является ресурсосберегающей технологией, так как позволяет из отходов материалов медной стружки и графита получить полуфабрикаты в виде прутков и проволоки.

Представленные микроструктуры полуфабрикатов подтверждают возможность получения сплошного монолитного материала, обладающего хорошими антифрикционными свойствами за счёт вводимого графита. Полученный материал может быть использован в узлах трения с целью уменьшения трения сопряженных деталей, особенно там, где невозможно использовать смазку, а также из него можно изготавливать электроконтакты [3].

Список литературы

[1] Загиров, Н. Н., Биронт В. С., Аникина В. И. // Изв. вузов. Цветная металлургия. 2005. № 1. С. 31–36.

[2] Биронт В. С., Загиров, Н. Н., Аникина В. И. Материаловедение. Формирование структуры нового класса стружковых материалов: учеб. пособие. Красноярск: ГУЦМиЗ, 2005. 80 с.

[3] Либенсон, Г. А. Производство спеченных изделий: учебник для техникумов. М.: Металлургия, 1982. 256 с.

[4] Биронт В. С., Аникина В. И., Загиров, Н. Н. и др. Структуры гетерогенных стружковых материалов цветных сплавов. Новосибирск: Изд-во «СИБПРИНТ», 2011. 130 с.

[5] Логинов, Ю. Н., Еремеева К. В. // Кузнечно-штамповое производство. 2009. № 4. С. 3–8.

[6] Колачев Б. А., Елагин В. А. Металловедение и термическая обработка цветных металлов и сплавов: учебник для вузов. М.: МИСИС, 2001. 416 с.

[7] Осинцев О. Е., Фёдоров В. Н. Медь и медные сплавы. Отечественные и зарубежные марки: Справочник. М.: Машиностроение, 2004. 336 с.

[8] Лякишев, Н. П. Диаграммы состояния двойных металлических систем. Справочник: в 3 т. Т. 2. М.: Машиностроение, 1997. 1024 с.

Using the Methods of Pressure Treatment for Granular Material of Copper Chips with the Addition of Graphite

**Nikolay N. Zagirov,
Valentina I. Anikina and Anastasyia S. Nadolko**
*Siberian Federal University,
79 Svobodny, Krasnoyarsk, 660041 Russia*

The parameters of the hot-pressing and subsequent extrusion to produce bricks and bars of loose chips of copper with additives of graphite, providing steady flow of material during extrusion and drawing. Set to the maximum number of input in the composite mixture of graphite. Compiled by drawing a route and obtain a wire of various diameters of the copper-graphite rods. The structure and properties of these products.

Keywords: chips, shavings of material, copper-graphite materials, hot extrusion, the microstructure, recrystallization.
