

Рябичева Л.А., Белошицкий Н.В., Доскич Ю.Ю.

## ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА МЕДНЫХ ГРАНУЛ, ПОЛУЧЕННЫХ ИЗ ОТХОДОВ КАБЕЛЕЙ

Ryabicheva L.A., Beloshitskij N.V., Dockich U.U.

### TECHNOLOGICAL PROPERTIES OF COPPER GRANULES PRODUCED FROM WASTES OF COPPER CABLES

*Исследованы технологические свойства медных гранул различных размеров для использования их в качестве исходного сырья в порошковой металлургии. Установлено влияние размеров гранул и отжига на насыпную плотность, плотность утряски и уплотняемость. Отжиг крупных гранул приводит к разрушению их поверхности вследствие термических напряжений и наводораживания, что улучшает уплотняемость. Крупные гранулы можно использовать в качестве сырья для порошковой металлургии только после отжига. Мелкие гранулы имеют достаточную уплотняемость как до отжига, так и после него, поэтому их также можно рекомендовать для получения изделий методами порошковой металлургии.*

**Ключевые слова:** отходы, гранулы, размеры гранул, отжиг, насыпная плотность, плотность утряски, уплотняемость, микротвердость.

#### Введение

Мировое производство меди по объему (около 17 млн. тонн в год) уступает в цветной металлургии лишь алюминию. В ближайшие пять лет мировая добыча и производство меди должно вырасти на 8-10%. Структура мирового потребления меди: 34% используется в строительстве, 28% приходится на электроэнергетику и электронику, 14% использует машиностроение, 12% потребляет транспорт, и на прочие нужды приходится 12% [1]. При этом более 30% меди идет на изготовление различных сплавов. Основными потребителями меди являются строительство и высокотехнологичные отрасли промышленности. Использование меди в значительной степени зависит от темпов научно-технического прогресса и экономического развития страны.

Основной способ получения рафинированной меди – это плавильный передел, который является дорогостоящим и приводит к загрязнению окружающей среды. В последнее время получил развитие метод огневого рафинирования, в котором исходным сырьем является вторичное медьсодержащее сырье с узким изменением состава [2].

Потребление меди в Украине после резкого падения в 1990-1995 гг. несколько выросло, но пока не соответствует уровню промышленно развитых стран. Уже в течение нескольких лет среднее потребление меди в Украине составляет около 70 тыс. т, что в пересчете на одного жителя составляет около 1,5 кг/(чел·год). Например, в России уровень потребления меди сейчас 4,86 кг/(чел·год), и в течении трех лет планируется увеличить этот показатель до 10,35 кг/(чел·год). В Украине более 70 % всей потребляемой меди идет на производство электротехнических изделий, 15 % – на элементы строительных конструкций, 5 % – на детали машин и механизмов, 4 % – на транспортные конструкции и 4 % – на другие виды изделий. В то же время для удовлетворения потребностей Украины в продукции из меди и ее сплавов растет импорт: до 30 тыс. т в год такой продукции поставляется в страну в основном из России.

В настоящее время разработаны новые технологии использования вторичного медного сырья для получения высококачественного медного порошка и волокон [3, 4], из которых получают готовые изделия [5]. Однако эти процессы находятся в стадии развития. Их основной недостаток – отсутствие оборудования на Украине для промышленного использования технологий получения порошка и волокон из отходов и лома.

В Западной Европе созданы автоматизированные линии по переработке отходов и лома. Например, фирмы Redoma (Швеция), Eldan (Дания) выпускают автоматизированные линии, предназначенные для переработки медного лома марки М1, М3, М3, М4 и т.д. с получением медных гранул различных размеров и высокой чистоты. Полученные гранулы подвергают брикетированию и отправляют на переплав.

### **Цель**

Целью данной работы является исследование технологических свойств медных гранул, полученных на автоматизированной линии Eldan E2000С, для использования их в качестве исходного сырья в порошковой металлургии.

### **Методика эксперимента**

Линия гранулирования и разделения медных и полимерных отходов Eldan E2000С разработана для обработки медных кабельных отходов. Линия работает следующим образом (рис. 1, а). При помощи входного конвейера кабельные отходы подаются в распер, служащий для измельчения исходного материала. Измельченный материал перемещается при помощи выходного конвейера, который оборудован надленточным магнитом. Надленточный магнит удаляет большую часть магнитных включений. Выходной конвейер подает измельченный материал к передающему конвейеру, а затем в накопительный бун-

кер. Бункер питает измельченным материалом чистовой гранулятор, в котором происходит основное дробление отходов. Загрузка чистового гранулятора автоматически регулирует подачу исходного материала, остановку и пуск входного конвейера. Из чистового гранулятора гранулы при помощи пневмотранспорта передаются к циклону, а затем в следующий накопительный бункер. Одновременно отделенный пылевидный материал при помощи пневмотранспорта передается к фильтру пыли. Из накопительного бункера гранулы поступают на вибростол разделения, на котором производится разделение пластмассы и гранул меди. Неразделенный материал при помощи гибкого винтового конвейера возвращается на чистовой гранулятор для повторного дробления. Вибростол разделения соединен аспирационной системой с фильтром пыли. Пластмассовая фракция, поступающая из вибростола разделения, с помощью гибкого винтового конвейера передается на классификатор для отделения металлической пыли от пластмассы. Металлическая фракция, отделенная на вибростоле разделения, при помощи ленточного конвейера с магнитом, удаляющим железные включения из медной фракции, передается на упаковку. Полученная в виде гранул меди продукция ссыпается в контейнер (рис. 1, б).



Рис. 1. Фото линии Eldan E2000С гранулирования и разделения медных и полимерных отходов – а; гранулы меди – б

Для исследования использованы полученные гранулы меди марки М1 диаметром 0,4–0,5 мм длиной 1–6 мм (крупные гранулы) и диаметром 0,1 мм длиной 2–9 мм (мелкие гранулы). Химический состав гранул контролировали по следующим стандартам: содержание меди – по ГОСТ 13938.1-78; прокаленный остаток после обработки порошка азотной кислотой – по ГОСТ 18897-73; содержание железа – по ГОСТ 13938.4-78; содержание кислорода – по ГОСТ 13938.13.93. Насыпную плотность определяли по ГОСТ 19440-94; плотность утряски – по ГОСТ 25279-82; уплотняемость – по ГОСТ 25280-90. Форму и качество поверхности гранул исследовали под микроскопом «Эрудит». Уплотняемость образцов диаметром и высотой 20 мм определяли на уни-

версальной испытательной машине Р-10 по схеме двухстороннего прессования при давлениях 200, 400, 600 и 800 МПа. Часть крупных и мелких гранул для снятия упрочнения после обработки, наводороживания и удаления полимерных загрязнений подвергали отжигу в среде генераторного газа (72% H<sub>2</sub>, 21% СО, 5,5% СО<sub>2</sub>, 1,5% Н<sub>2</sub>О) при температуре 700 °С с выдержкой 30 мин. Микротвердость гранул до и после отжига определяли на приборе ПМТ-3 при нагрузке 20 г.

### Результаты исследований

Визуальный анализ показал, что гранулы имеют удлиненную форму с заovalенными краями. Крупные гранулы (рис. 2, а) несколько засорены полимерными отходами (0,1 %), имеют ровную поверхность. Мелкие гранулы также имеют ровную поверхность, процент засорения выше (0,34 %) (рис. 2, б). Отжиг выполняется в среде, содержащей водород, который при высокой температуре проникает в поверхностные слои меди и взаимодействует с кислородом закиси меди. В результате возрастает давление и происходит разрушение поверхности гранул. После отжига поверхность крупных и в меньшей степени мелких гранул покрыта сеткой трещин вследствие развития водородной болезни при отжиге (рис. 2, в, г). При содержании кислорода менее 0,005 % водородная болезнь развивается незначительно.

До отжига насыпная плотность и плотность утряски гранул имеют большую величину (табл. 1). Разница в микротвердости крупных и мелких гранул составляет 505 МПа, что объясняется разной величиной упрочнения при прохождении технологических операций в автоматизированной линии.

После отжига насыпная плотность и плотность утряски крупных гранул уменьшилась. Это связано с тем, что образовавшиеся в результате отжига трещины на поверхности гранул препятствуют их свободному взаимному перемещению при указанных испытаниях. У мелких гранул насыпная плотность не изменилась, а плотность утряски несколько уменьшилась в результате снятия упрочнения и более «мягкой» укладке гранул. Микротвердость гранул значительно уменьшилась и практически у крупных и мелких гранул она одинакова.

Таблица 1

#### Насыпная плотность и плотность утряски медных гранул

Вид гранул	Насыпная плотность, г/см <sup>3</sup>		Плотность утряски, г/см <sup>3</sup>		Микротвердость, МПа	
	До отжига	После отжига	До отжига	После отжига	До отжига	После отжига
Крупные	4,03	3,63	4,44	4,0	1650	1030
Мелкие	1,74	1,74	2,08	1,96	1145	1060

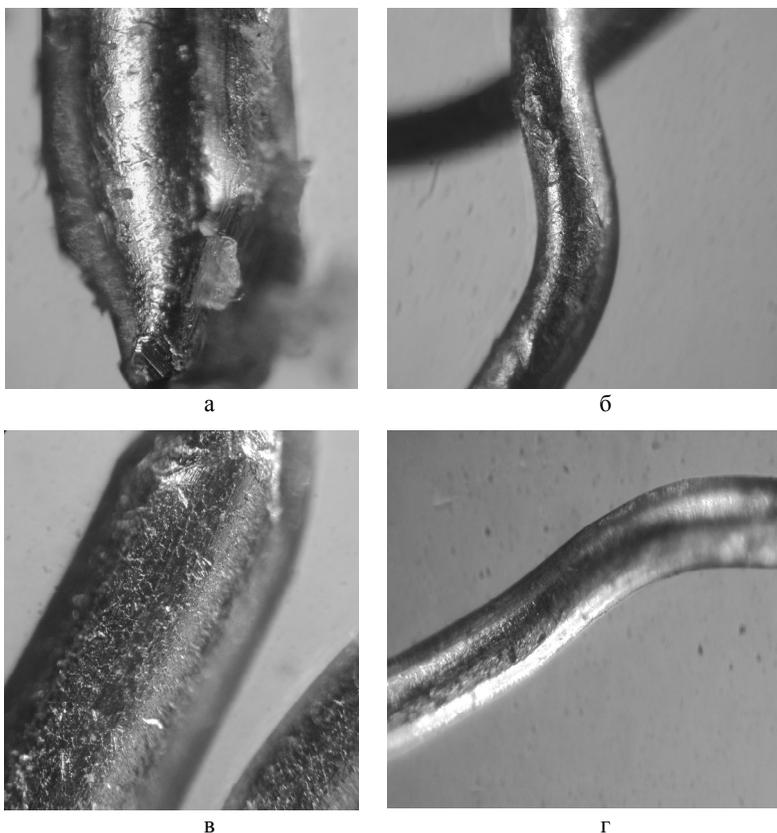


Рис. 2. Фото крупных гранул до отжига – а, после отжига – в;  
фото мелких гранул до отжига – б; после отжига – г

Отличительные величины насыпной плотности и плотности утряски гранул до и после отжига является результатом возникновения термических напряжений. Площадь сечения крупных гранул больше, на поверхности при отжиге происходит образование растягивающих напряжений, в то время как в центральной части сечения остаются напряжения сжатия. Градиент напряжений по поперечному сечению крупных гранул, возникающий вследствие реакции наводороживания, приводит к образованию на поверхности трещин (рис. 2, в), которые препятствуют свободной засыпке. У мелких гранул вследствие малого сечения градиент напряжений практически отсутствует, поэтому насыпная плотность не меняется, а плотность утряски уменьшается не-

значительно вследствие выгорания полимерных загрязнений, выполняющих роль смазки при скольжении гранул при засыпке.

Уплотняемость крупных и мелких гранул до и после отжига отличается (рис. 3). Уплотняемость крупных волокон до отжига низкая. Прессовки при давлении 200 МПа разрушались при выпрессовке, при давлении 400 МПа разрушались при падении с высоты 0,5 м. Только при давлении 600 МПа получены относительно прочные прессовки. При давлении более 600 МПа дальнейшего уплотнения прессовки не происходит. После отжига исходных крупных гранул прочность прессовок достаточна, ввиду наличия шероховатости на поверхности и лучшего зацепления гранул. Плотность, после прессования при давлении 800 МПа составляет  $8,53 \text{ г/см}^3$ . Наличие трещин на поверхности и уменьшение микротвердости крупных гранул обеспечивают повышение механических связей при прессовании.

Прессовки из мелких гранул как до отжига, так и после прессуются хорошо и имеют достаточную прочность. У прессовок, полученных при давлениях 600-800 МПа, плотность составляет до отжига  $8,48 \text{ г/см}^3$ , после отжига  $8,55 \text{ г/см}^3$ .

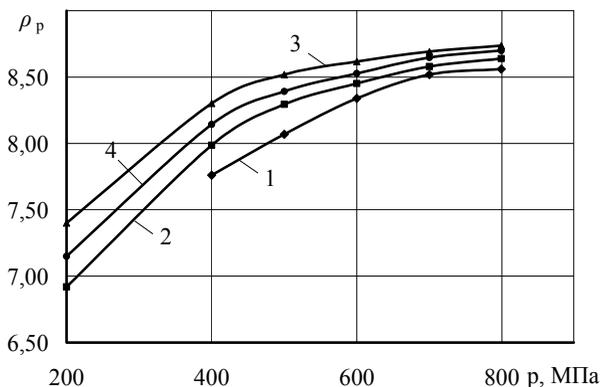


Рис. 3. Уплотняемость гранул до отжига: крупных – 1, мелких – 2; после отжига: крупных – 3, мелких – 4

Очевидно, в качестве исходного материала для порошковой металлургии можно рекомендовать крупные гранулы только после отжига, мелкие гранулы можно применять как в наклепанном, так и в отожженном состоянии.

### Выводы

Изучены технологические свойства медных гранул различных размеров. Показано, что насыпная плотность и плотность утряски за-

висят от размеров гранул и отжига в водородной среде. Получено, что насыпная плотность крупных гранул после отжига уменьшается, а плотность утряски увеличивается в результате образования на поверхности трещин. У мелких волокон после отжига насыпная плотность не изменяется, плотность утряски уменьшается. Получено, что уплотняемость крупных волокон до отжига очень низкая, после отжига достаточна для обработки методами порошковой металлургии, плотность составляет  $8,53 \text{ г/см}^3$ . Уплотняемость мелких гранул как до отжига, так и после высокая плотность, составляет  $8,48\text{-}8,55 \text{ г/см}^3$ .

## ЛИТЕРАТУРА

1. Савенков Ю.Д. Рафинированная медь Украины // Ю.Д. Савенков, В.И. Дободелов, В.А. Шпаковский [и др.] / Донецк: ДонНТУ, 2008. – 176 с.
2. Бредихин В.Н. Медь вторичная // В.Н. Бредихин, Н.А. Маняк, А.Я. Кафта-ненко / Донецк: ДонНТУ, 2006. – 416 с.
3. Рябичева Л. А. Технология получения порошка меди из отходов проводников тока // Л. А. Рябичева, Ю.Н. Никитин, А.Т. Цыркин [и др.] / Металлообработка, 2004, №3. – С.40-42.
4. Рябичева Л.А. Технологические свойства волокон меди, полученных переработкой лома проводников тока // Л. А. Рябичева, А.Т. Цыркин, А.П. Скляр / Вестник ДГМА. – 2006. - № 2. с. 54-58.
5. Рябичева Л.А. Развитие технологий изготовления изделий из порошковых материалов // Рябичева Л.А. / Ресурсозберігаючі технології виробництва та обробки матеріалів у машинобудуванні. Зб. наук.праць – Луганськ: Вид-во СНУ ім. В. Даля, 2009. – С. 3-11.

## REFERENCES

1. Savenkov Ju.D. Rafinirovannaja med' Ukrainy // Ju.D. Savenkov, V.I. Dobodelov, V.A. Shpakovskij [i dr.] / Doneck: DonNTU, 2008. – 176 p.
2. Bredihin V.N. Med' vtorichnaja // V.N. Bredihin, N.A. Manjak, A.Ja. Kafta-nenko / Doneck: DonNTU, 2006. – 416 p.
3. Rjabicheva L. A. Tehnologija poluchenija poroshka medi iz othodov provodnikov toka // L. A. Rjabicheva, Ju.N. Nikitin, A.T. Cyrkin [i dr.] / Metalloob-rabotka, 2004, №3. – P.40-42.
4. Rjabicheva L.A. Tehnologicheskie svojstva volokon medi, poluchennyh pere-rabotkoj loma provodnikov toka // L. A. Rjabicheva, A.T. Cyrkin, A.P. Skljjar / Vestnik DGMA. – 2006. - № 2. P. 54-58.
5. Rjabicheva L.A. Razvitie tehnologij izgotovlenija izdelij iz poroshkovyh materia-lov // Rjabicheva L.A. / Resursozberigauči tehnologii virobniactva ta obrobki tiskom materialiv u mašinobuduvanni: Book of scientific papers. Volodymyr Dahl East Ukrainian National University, Lugansk, 2009. – P. 3-11.

***Рябичева Л.О., Білошицький М.В., Доскіч Ю.Ю. Технологічні властивості мідних гранул, отриманих з відходів кабелів.***

*Досліджені технологічні властивості мідних гранул різних розмірів для використання їх як вихідної сировини в порошковій металургії. Установлений*

вплив розмірів гранул і відпаду на насипну густина, густина утряски та ущільненість. Відпал великих гранул приводить до руйнування їх поверхні внаслідок термічних напружень і наводоражування, що поліпшує ущільненість. Великі гранули можна використовувати в якості сировини для порошкової металургії тільки після відпаду. Дрібні гранули мають достатню ущільненість як до відпаду, так і після нього, тому їх також можна рекомендувати для одержання виробів методами порошкової металургії.

**Ключові слова:** відходи, гранули, розміри гранул, відпал, насипна густина, густина утряски, ущільненість, мікротвердість.

***Ryabicheva L.A., Beloshitskij N.V., Dockich U.U. Technological properties of copper granules produced from wastes of copper cables.***

*The purpose of this work is investigation of technological properties of copper granules produced on automated line Eldan E2000C for utilization as raw materials of powder metallurgy.*

*The M1 copper granules of 0.4-0.5 mm in diameter, 1-6 mm in length (coarse granules) and 0,1 mm in diameter 2-9 mm in length (fine granules) were used. The chemical composition, bulk density, tap density and compactibility have been determined. The shape and surface quality of granules have investigated. A portion of coarse and fine granules were annealed into the synthesis gas medium for softening after treatment, hydrogenation and removal of polymeric admixtures. The microhardness of granules before and after annealing has been measured on the microhardness tester PMT-3 at loading 20 g.*

*The bulk density and tap density are dependent on dimensions of granules and annealing into a hydrogenous medium. The bulk density of coarse granules decreases and the tap density increases as the result of cracks formation on surfaces. The bulk density of fine granules remains stable and tap density diminishes after annealing. The compactibility of coarse granules before annealing is extremely low, but after annealing became sufficient for processing by powder metallurgy techniques, a density is equal to 8.53 g/cm<sup>3</sup>. The compactibility of coarse granules before annealing is high as well as after the annealing, a density is 8.48-8.55 g/cm<sup>3</sup>.*

*The influence of dimensions of granules produced from wastes of copper cables on technological properties has been established. The possibility of their utilization as raw materials of powder metallurgy has shown clearly.*

**Keywords:** wastes, granules, dimensions of granules, annealing, bulk density, tap density, compactibility, microhardness.

Рябичева Л.А. - д-р техн. наук, професор Восточноукраїнського національного університета імені Володимира Даля, г. Луганск, Україна.  
e-mail: ryabic@gmail.com

Белошицкий Н.В. – канд. техн. наук, доцент Восточноукраїнського національного університета імені Володимира Даля, г. Луганск, Україна.  
e-mail: material@snu.edu.ua

Доскич Ю.Ю. – аспірант Восточноукраїнського національного університета імені Володимира Даля, г. Луганск, Україна.  
e-mail: material@snu.edu.ua