

5. Максимов Е.А. // Нац. металлургия. Оборудование. 2006. № 11. С. 60–65.
6. Агеев Л.М. // Тр. 4-го Конгр. прокатчиков (Магнитогорск, 16–19 окт. 2001 г.). М.: Черметинформация, 2002. Т. 1. С. 192–197.
7. Антипин В.Г. // Бюл. Черная металлургия. 2002. № 8. С. 3–9.
8. Кулик А.Н., Юрков К.Ю., Файчак А.А., Шевченко В.В. Перспективные конструкции прецизионных станов // [http://www.nbu.gov.ua/portal/natural/Zmmvp/2008\\_10/3.pdf](http://www.nbu.gov.ua/portal/natural/Zmmvp/2008_10/3.pdf).
9. Максимов Е.А. // Нац. металлургия. Оборудование. 2006. № 9. С. 45–51.
10. Шевакин Ю.Ф., Райков Ю.Н., Бушев А.В., Баканов М.Б. // Цв. металлы. 2000. № 2. С. 91–97.
11. Пат. № 20969 (РК). Непрерывный стан для прокатки полос из сталей и сплавов/ С.А. Машеков, Е.З. Нугман, А.С. Машекова и др. 2009.

УДК 621.771:669.716

## ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ МОРФОЛОГИИ ЧАСТИЦ СОРТНЫХ СТРУЖКОВЫХ ОТХОДОВ ИЗ ЛАТУНИ Л63 НА СВОЙСТВА ПРУТКОВ И ПРОВОЛОКИ, ПОЛУЧАЕМЫХ ОБРАБОТКОЙ ДАВЛЕНИЕМ

© 2014 г. Н.Н. Загиров, И.Л. Константинов, Е.В. Иванов, А.А. Роговой

Институт цветных металлов и материаловедения  
Сибирского федерального университета (ИЦМиМ «СФУ»), г. Красноярск

Статья поступила в редакцию 22.02.13 г., подписана в печать 07.05.13 г.

Рассмотрено влияние морфологии частиц сортовых стружковых отходов из латуни Л63 на свойства прутков и проволоки, получаемых обработкой давлением. Для исследований частицы стружки разделили на 3 типа: витые, чешуйчатые и опилки. Каждый из них нагревали до температуры  $450 \pm 5$  °С и брикетировали на вертикальном прессе. После этого брикеты нагревали до температуры 850 °С и экструдировали прямым методом с получением прутков диаметром 8 и 6 мм. Коэффициенты вытяжки при этом равнялись соответственно 32 и 56. Прессованные прутки подвергали волочению, в результате которого диаметр проволоки составил 2 и 3 мм. Изучение свойств прутков и проволоки показало, что стружковые отходы из латуни Л63 могут служить сырьем при изготовлении полуфабрикатов для горячей экструзии и последующего волочения проволоки. Установлено, что морфология частиц стружки мало влияет на технологические свойства брикетов, а также на механические характеристики прессованных прутков и получаемой волочением проволоки, механические свойства которой удовлетворяют требованиям ГОСТ 1066-90.

**Ключевые слова:** латунь, стружка, брикетирование, экструзия, волочение, механические свойства, морфология.

There was investigated influence of morphology of graded waste chips from brasses L63 on properties of bars and wires obtained by means of chipless shaping. For research particles of chips were divided on 3 types: spiral, flaked and sawing. Any one of them was heated to temperature  $450 \pm 5$  °C and briquetted on the forgemaster. Afterwards briquettes were heated to temperature of 850 °C and extruded by means of direct method with resulting of bars diameters 8 and 6 mm. Herewith elongating ratios were equal to 32 and 56, correspondingly. Pressed bars were subject to drawing, as consequence diameter of wire was equal to 2 and 3 mm. Examination of bars and wire properties showed that waste chips from brasses L 63 could be raw materials during manufacturing of half-prepared products for hot extrusion and subsequent wire drawing. There was established that morphology of chips particles has a little effect on fabrication characteristics of briquettes, as well as on mechanical characteristics of pressed bars and obtained by means of drawing wire, mechanical properties of which meet demands of GOST 1066-90.

**Keywords:** brasses, chips, briquetting, extrusion, drawing, mechanical properties, morphology.

**Загиров Н.Н.** – канд. техн. наук, доцент, зав. кафедрой обработки металлов давлением ИЦМиМ «СФУ» (660025, г. Красноярск, пр-т Красноярский рабочий, 95). Тел.: (8391) 213-35-50. E-mail: kafOMD\_1@mail.ru.

**Константинов И.Л.** – канд. техн. наук, доцент той же кафедры. E-mail: ilcon@mail.ru.

**Иванов Е.В.** – ст. преподаватель той же кафедры. E-mail: kafOMD\_1@mail.ru.

**Роговой А.А.** – магистрант той же кафедры.

## ВВЕДЕНИЕ

В последние годы для изготовления изделий и полуфабрикатов из цветных металлов и их сплавов, в частности на основе меди и алюминия, разработаны методы, использующие в качестве исходного сырья сортные сыпучие стружковые отходы, образующиеся при механической обработке различного вида металлопродукции [1–4]. В этих технологиях не предусмотрен плавильный передел и поэтому применяются приемы, реализуемые в процессах порошковой и гранульной металлургии [5, 6].

Основное требование, предъявляемое к заготовке, которая по сути является брикетом, полученным из вторичного сырья путем компактирования массы дискретных частиц, — это соответствие ее химического состава определенной марке сплава. Однако следует учитывать, что частицы, составляющие насыпную массу заготовки, в зависимости от свойств обрабатываемого материала, вида механической обработки, геометрии режущего инструмента и режимов резания могут иметь разную морфологию [7]. Кроме того, образующиеся отходы производства, как правило, представляют собой стружковые смеси разнотипных компонентов одного химического состава. По конфигурации и размерам частицы стружки, использованные в данной работе, можно разбить на три типа (рис. 1):

- 1) витая;
- 2) чешуйчатая;
- 3) опилки.

Учитывая, что осуществлять такое разделение перед компактированием в промышленных условиях практически сложно и нерентабельно, целью настоящей работы являлось исследование влияния морфологии частиц на свойства прутков и проволоки, получаемых обработкой давлением стружковых отходов из латуни Л63.

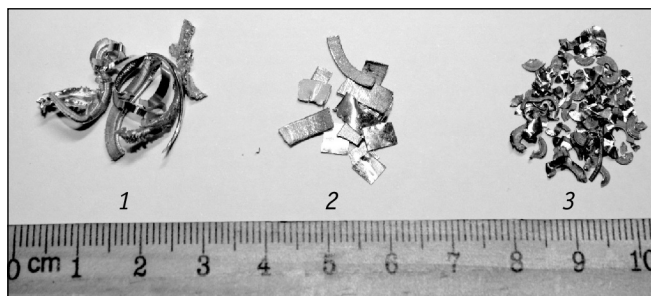


Рис. 1. Типы (1–3) стружки из латуни Л63

## МЕТОДИКА ЭКСПЕРИМЕНТОВ

Как известно [8], марка Л63 относится к простым деформируемым латуням, занимает в России первое место по объему производства и обладает хорошей деформируемостью как в холодном, так и в горячем состояниях.

Как уже отмечалось, для проведения исследований общую массу стружки разделили на 3 группы, а в качестве базового варианта компактируемой массы использовали исходную стружковую смесь. В рассматриваемом случае смазочно-охлаждающие жидкости при механообработке не использовали, поэтому в работе предварительную обработку стружки (промывку, сушку, прокаливание и т.п.) не проводили.

Стружка всех типов имела химический состав, соответствующий требованиям ГОСТ 15527-2004 и приведенный ниже, мас. %:

|          |          |            |          |
|----------|----------|------------|----------|
| Cu ..... | 62–65    | Bi.....    | до 0,002 |
| Pb.....  | до 0,7   | P.....     | до 0,01  |
| Fe ..... | до 0,2   | Zn.....    | ост.     |
| Sb ..... | до 0,005 | Проч. .... | 0,5      |

Методика проведения экспериментов заключалась в следующем. Навески массой 300 г каждого типа стружки засыпали в пресс-форму, нагревали в печи марки ЛН 30/13 до температуры  $t = 450 \pm 5$  °С, которая была выбрана согласно рекомендациям [8], и производили брикетирование на вертикальном прессе усилием 400 кН. Давление брикетирования составляло 200 МПа, а время выдержки под давлением 5 мин. Полученные брикеты имели цилиндрическую форму высотой 30 мм и диаметром 40 мм. Измерение их плотности проводили методом гидростатического взвешивания.

Перед деформацией брикеты нагревали до температуры 850 °С, помещали в предварительно нагретую до 430–450 °С инструментальную оснастку, смонтированную на столе вертикального гидравлического пресса усилием 1 МН, и осуществляли горячую экструзию [9] прямым методом через коническую матрицу с получением прутков диаметром 8 и 6 мм. Коэффициенты вытяжки при этом составляли соответственно 32 и 56. Как при брикетировании, так и при экструзии части инструмента, контактирующие с металлом заготовки (контейнер, пресс-шайба и матрица), смазывали смесью порошкового графита и масла «Вапор-Т»,

избегая попадания смазки внутрь деформируемого материала.

После экструзии от полученных прутков отрезали передний слабодеформированный и задний утяжненный концы (по 100 мм), а из оставшейся части отбирали образцы для определения твердости и прочности на растяжение. Также их использовали в качестве заготовки для последующего волочения [10]. Механические испытания на растяжение проводили по ГОСТ 10446-80 на универсальной электромеханической разрывной машине LFM-400. При этом на одну экспериментальную точку брали 5 образцов. Микротвердость стружки измеряли с помощью прибора ПМТ-3 при нагрузке 100 кгс/мм<sup>2</sup>, а твердость по Бринеллю оценивали на приборе ТШ-2. Процесс волочения осуществляли на цепном волочильном стане ЦВС-3.

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Поскольку образование стружки при механической обработке (токарной, фрезерной, резке и пр.) сопровождается пластической деформацией, то частицы срезанного материала могут терять свою пластичность и существенно упрочняться, поэтому на начальном этапе исследований была проведена оценка уровня микротвердости исходных частиц стружки.

Средние по результатам 10 замеров значения *HV* частиц стружки различных типов приведены на рис. 2, из которого следует, что, несмотря на различие в морфологии, их микротвердость практически одинакова со слабо прослеживаемой тенденцией к снижению этого показателя с уменьшением размеров частиц стружки.

Полученные из разных типов стружки брикеты по внешнему виду практически не отличались друг от друга, а их относительная плотность также была близкой и составляла около 93–95 % от теоретичес-

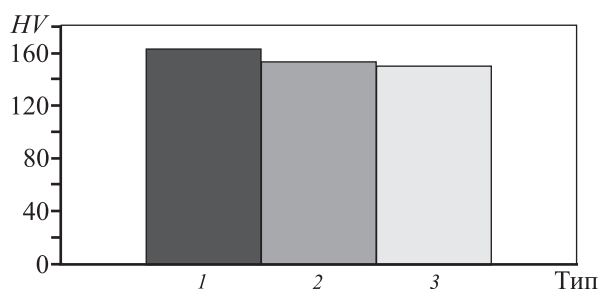


Рис. 2. Средние значения микротвердости частиц стружки разной формы (см. рис. 1)

кой. Это может свидетельствовать о том, что тип использованной стружки не должен оказывать существенного влияния на технологичность брикетов, а также характер течения металла при экструзии. Результаты измерений твердости отпрессованных прутков также показали, что в использованном при экструзии диапазоне степеней деформации их твердость по Бринеллю в горячепрессованном состоянии была на уровне от 820 до 860 МПа с проявлением склонности к повышению для образца из более крупной стружки (см. рис. 1, тип 1). После отжига по рекомендуемому для латуни Л63 режиму [8] ( $t = 600\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $\tau = 1\text{ ч}$ ) значения *HV* для прутков из всех типов стружки снижались до 730–750 МПа.

Для последующего волочения проволоки из полученных пресс-изделий использовали 2 исходных состояния прутков — горячепрессованное и отожженное, а также 2 варианта маршрута волочения.

1. Из прутка  $\varnothing 8$  мм получали проволоку  $\varnothing 3$  мм по следующей схеме:

$\varnothing 8,0\text{ мм} \rightarrow 7,5 \rightarrow 7,2 \rightarrow 6,95 \rightarrow 6,6 \rightarrow 6,44 \rightarrow 6,1 \rightarrow$   
 $\rightarrow \text{Отжиг} \rightarrow 5,46 \rightarrow 4,94 \rightarrow 4,57 \rightarrow 4,35 \rightarrow 3,87 \rightarrow$   
 $\rightarrow \text{Отжиг} \rightarrow 3,7 \rightarrow 3,3 \rightarrow 3,0\text{ мм}.$

2. Пруток был  $\varnothing 6$  мм, и протягивали его до  $\varnothing 2$  мм по маршруту:

$\varnothing 6,0\text{ мм} \rightarrow 5,46 \rightarrow 4,94 \rightarrow 4,57 \rightarrow 4,35 \rightarrow 3,87 \rightarrow$   
 $\rightarrow 3,7 \rightarrow 3,3 \rightarrow 3,0 \rightarrow \text{Отжиг} \rightarrow 2,76 \rightarrow 2,53 \rightarrow$   
 $\rightarrow 2,29 \rightarrow 2,0\text{ мм}.$

Отметим, что задача оптимизации маршрутов волочения проволоки в ходе данных исследований не стояла.

Промежуточные отжиги проводили при температуре 600–620  $^{\circ}\text{C}$  после накопления суммарной степени деформации при волочении от 40 до 80 %.

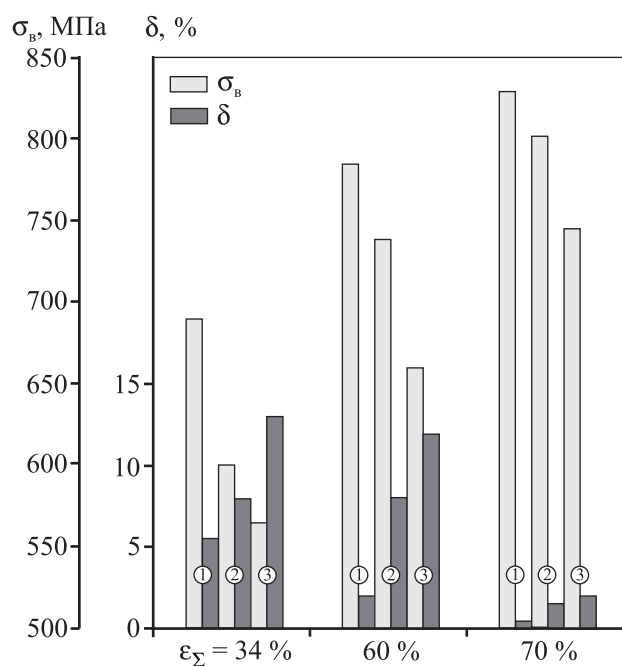
При волочении горячепрессованных прутков  $\varnothing 8$  мм из разных типов стружки на первых переходах наблюдался существенный наклеп материала, за счет которого уже при относительном обжатии  $\epsilon \sim 30\div 40\%$  твердость увеличивается в 2,0–2,5 раза, достигая значений *HV* = 1700–1800 МПа. При этом наиболее интенсивно упрочнялись образцы из 1-го типа стружки (самые крупные), поэтому максимальное суммарное обжатие ( $\epsilon_{\Sigma}$ ) перед промежуточным отжигом не должно превышать 50 %. После термообработки проволоки  $\varnothing 6,1$  мм (1-й маршрут) твердость прутков в зависимости от типа используемой стружки снижалась в 2–3 раза до *HV* = 600–800 МПа.

Последующее волочение отожженных прутков, стабильно протекающее до  $\varepsilon_{\Sigma} \sim 70\div 80\%$ , имеет некоторые особенности. Из диаграммы, представленной на рис. 3, следует, что на начальных после проведения отжига переходах волочения более существенно упрочняется проволока, полученная из крупной стружки (тип 1). Например, при суммарном относительном обжатии 34 % разница между значениями  $\sigma_B$  проволоки из крупной и средней стружки составляет 20–25 %, из средней и мелкой — 10–15 %. При дальнейшем увеличении  $\varepsilon_{\Sigma}$  она постепенно уменьшается, составляя при  $\varepsilon_{\Sigma} = 60\%$  соответственно 15–20 % и 5–10 %, а при  $\varepsilon_{\Sigma} = 70\%$  — уже 5–10 % и 3–5 %.

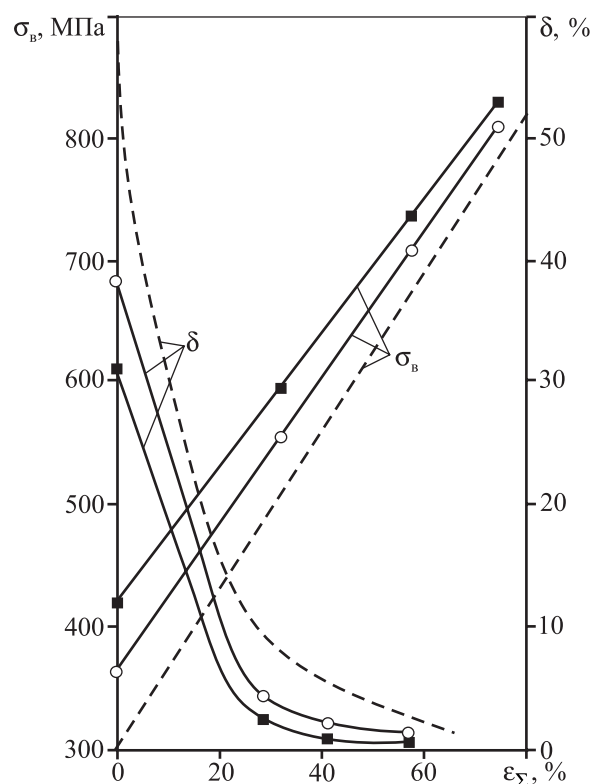
Введение в маршрут волочения еще одного промежуточного отжига помимо снижения прочностных характеристик проволоки из разных типов стружки способствует сближению уровня этих свойств, разница между средними значениями которых стабилизируется на отметке 3–5 %.

Таким образом, комбинирование холодной обработки давлением с большими степенями деформации и промежуточной термообработкой позволяет выравнивать механические параметры проволоки, получаемой из стружки разной конфигурации.

Для оценки достигаемого уровня прочностных и пластических характеристик прутков и проволоки,



**Рис. 3.** Временное сопротивление разрыву и относительное удлинение проволоки после проведения промежуточного отжига проволоки  $\varnothing 6,1$  мм в зависимости от суммарного обжатия при волочении и типа используемой стружки (указан цифрами на диаграмме)



**Рис. 4.** Изменение механических свойств проволоки из латуни марки Л63, получаемой волочением из стружковой заготовки и по традиционной технологии (штриховые линии), в зависимости от суммарного относительного обжатия  
■ — проволока из неотожженного прутка; ○ — из отожженного

получаемых из смешанной стружки без разделения на типы, был реализован второй вариант маршрута волочения прутков  $\varnothing 6$  мм — как неотожженных, так и отожженных.

Характер изменения механических свойств в зависимости от степени деформации при волочении иллюстрирует рис. 4. Сопоставление представленных результатов свидетельствует о том, что уровень прочностных и пластических характеристик проволоки, получаемой из стружки, близок к свойствам проволоки, изготовленной из сплава Л63 традиционным способом. При этом предварительный отжиг перед волочением принципиального значения в формировании свойств холодноотянутой проволоки из стружки не имеет.

## ВЫВОДЫ

1. Стружковые отходы из латуни Л63, полученные механической обработкой, могут быть использованы в качестве исходного сырья при изготовлении

полуфабрикатов для горячей экструзии и последующего волочения проволоки.

2. Морфология стружковых отходов практически не влияет на технологические свойства брикетов, а также механические свойства прессованных прутков и получаемой волочением проволоки.

3. Механические свойства проволоки из стружковых отходов и получаемой по традиционной технологии, использующей литую заготовку, схожи и удовлетворяют требованиям ГОСТ 1066-90.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Биронт В.С., Аникина В.И., Загиров Н.Н. Материаловедение. Формирование структуры нового класса стружковых материалов: Учеб. пос. Красноярск: ГУЦМиЗ, 2005.
2. Биронт В.С., Аникина В.И., Загиров Н.Н. и др. Структуры гетерогенных стружковых материалов цветных сплавов. Новосибирск: Сибпринт, 2011.
3. Загиров Н.Н., Константинов И.Л., Иванов Е.В. // Изв. вузов. Цв. металлургия. 2012. № 2. С. 36–41.
4. Загиров Н.Н., Константинов И.Л., Иванов Е.В., Арефьев А.А. // Цв. металлы. 2012. № 10. С. 94–97.
5. Порошковая металлургия. Материалы, технология, свойства, области применения: Справочник / Под ред. И.М. Федорченко. Киев: Наук. думка, 1985.
6. Колпашников А.И., Ефремов А.В. Гранулированные материалы. М.: Металлургия, 1977.
7. Горелов В.М. Резание металлов. М.: Машиностроение, 1966.
8. Райков Ю.Н., Ахшимин Г.В., Полухин В.П., Гуляев А.С. Медные сплавы. Марки, свойства, применение: Справочник / Под общ. ред. Ю.Н. Райкова. М.: ОАО «Институт Цветметобработка», 2011.
9. Шевакин Ю.Ф., Грабарник Л.М., Нагайцев А.А. Прессование тяжелых цветных металлов и сплавов. М.: Металлургия, 1987.
10. Брабец В.И. Проволока из тяжелых цветных металлов и сплавов: Справ. изд. М.: Металлургия, 1984.

УДК 669.017

## ИССЛЕДОВАНИЕ СТРУКТУРЫ И ФАЗОВОГО СОСТАВА ПОРОШКОВЫХ АЛЮМОФОСФОРИСТЫХ ЛИГАТУР

© 2014 г. М.В. Главатских, А.В. Поздняков, С.В. Махов, В.И. Напалков

Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС», г. Москва

Статья поступила в редакцию 01.04.13 г., подписана в печать 04.04.13 г.

Разработаны порошковые алюмофосфористые лигатуры для модифицирования заэвтектических силуминов. Выбраны оптимальные режимы обработки порошковых смесей в высокоэнергетической планетарной мельнице, обеспечивающие минимальные потери исходного материала и микроструктуру с однородным и дисперсным распределением в алюминиевой матрице частиц избыточных фаз. Методом микрорентгеноспектрального анализа исследован фазовый состав полученных лигатур. Показана высокая эффективность модифицирования заэвтектического силумина Al–17мас.%Si введением фосфора (0,008 мас.%) полученными лигатурами.

**Ключевые слова:** модифицирование, порошковые лигатуры, фосфор, алюминиевые сплавы.

**Главатских М.В.** – магистрант кафедры металловедения цветных металлов МИСиС (119049, г. Москва, В-49, Ленинский пр-т, 4). E-mail: mariaglavatskih@yandex.ru

**Поздняков А.В.** – доцент той же кафедры. Тел.: (495) 955-01-34. E-mail: pozdniakov@misiss.ru.

**Махов С.В.** – ст. науч. сотр. кафедры цветных металлов и золота МИСиС. E-mail: 7391680@mail.ru.

**Напалков В.И.** – зам. ген. директора ООО «Интермикс Мет» (119121, г. Москва, ул. Плющиха, 62, стр. 1). E-mail: 7391680@mail.ru.