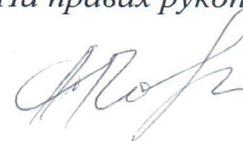


На правах рукописи



Роговой Антон Андреевич

**РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ СХЕМЫ ПОЛУЧЕНИЯ
И ИССЛЕДОВАНИЕ СТРУКТУРЫ И СВОЙСТВ КОМПОЗИЦИОННОЙ
ПРОВОЛОКИ ИЗ СОРТНЫХ СТРУЖКОВЫХ ОТХОДОВ МЕДИ
И ЕЕ СПЛАВОВ**

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание

степени магистра по направлению **Металлургия (150400.68)**

магистерская программа – **Обработка давлением металлов и сплавов
(150400.68.03)**

Красноярск 2014

Работа выполнена на кафедре обработки металлов давлением Института цветных металлов и материаловедения Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Сибирский федеральный университет»

Научный руководитель:

кандидат технических наук, доцент Загиров Николай Наильич

Рецензент:

Лысых Вячеслав Иванович, главный технолог ООО «Сафит»

Защита диссертации состоится «9» июля 2014 г. в 9:00 часов в ФГАОУ ВПО «Сибирский федеральный университет» по адресу:
660025, г. Красноярск, пр. Красноярский рабочий, 95, ауд. 104 л.

С авторефератом магистерской диссертации можно ознакомиться на сайте СФУ <http://edu.sfu-kras.ru/engineering> и в архиве открытого доступа: <http://elib.sfu-kras.ru>

Руководитель магистерской программы:

доктор технических наук,
профессор



С. Б. Сидельников

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность работы. В настоящее время в условиях рыночной экономики для многих отраслей машиностроения и металлургии основной проблемой, и одновременно задачей, продолжает оставаться создание конкурентоспособной металлопродукции. При этом заметная роль в обеспечении высокого уровня физико-механических свойств и приемлемой себестоимости металлоизделий отводится технологиям их производства. Современные тенденции их развития связаны с экономией материальных ресурсов путем наиболее полного и комплексного использования существующих источников сырья, изыскания новых нетрадиционных его видов и организацией на их базе малоотходных производств.

К числу таких источников сырья можно отнести образующиеся при работе различного рода металлорежущего оборудования стружковые отходы, основным способом утилизации которых всегда считался плавильный передел. Из – за низкой эффективности его реализации, особенно применительно к сыпучей стружке мелких фракций, актуальной является задача разработки новых способов вовлечения их в производственный оборот, которые полностью бы исключали угар металла при переработке стружки, минимизировали затраченные на переработку энергоресурсы, а также связанные с этим переделом газопылевые выбросы, являющиеся одним из основных источников загрязнения окружающей среды.

Предмет исследования – сортные сыпучие стружковые отходы меди и ее сплавов, служащие сырьем для получения прутково - проволочной продукции определенного функционального назначения.

Цель работы: выяснение принципиальной возможности получения металлопродукции в виде прутков и проволоки из сортных сыпучих стружковых отходов меди и ее сплавов, минуя традиционную стадию их переработки путем переplava, а также изучение вопроса формирования на их основе композиционных металлических материалов, обладающих специфическими структурами и свойствами.

Для ее достижения необходимо решить следующие задачи:

- выбрать из широкого спектра материалов на медной основе, используемых для получения горячепрессованных прутков и холоднодеформируемой (тянутой) круглой проволоки, те марки и виды отходов меди и ее сплавов, стружку которых будем использовать для проведения экспериментальных исследований;

- разработав общую единую универсальную технологическую схему получения прутков и проволоки, выбрать для каждого из исследуемых материалов численные значения основных параметров осуществления составляющих ее операций, конкретизировав их наименования и последовательность для каждого из рассматриваемых в работе случаев;

- спроектировать и изготовить требуемую для выполнения основных операций инструментальную оснастку, предварительно осуществив выбор необходимого для их реализации оборудования;

– с учетом разработанных схем провести в лабораторных условиях серию экспериментов по получению опытных образцов прутково – проволочной продукции из исследуемых составов стружковых материалов объемом, достаточным для проведения дальнейших металлографических исследований и механических испытаний;

– на основании данных металлографических исследований провести анализ характера структурообразования полуфабрикатов и изделий по мере реализации каждого из этапов обработки, и установить качественную связь происходящих в материале структурных изменений с технологическими параметрами, характеризующими условия осуществления той или иной операции;

– по результатам проведенных с использованием стандартных методик различного рода испытаний прутков и проволоки, полученных из разных групп стружковых материалов, дать оценку уровня их прочностных и пластических характеристик, а также привести данные по химическому составу и некоторым физическим свойствам

– выработать общие рекомендации по предполагаемому практическому использованию полученных результатов при производстве изделий определенного функционального назначения в рамках решения вопроса утилизации образующихся на том или ином предприятии стружковых отходов.

Научная новизна работы

1. Рассмотрен механизм межчастичного взаимодействия в процессе компактирования стружковой массы, состоящей либо из сыпучей стружки только одной меди или некоторых из ее сплавов, либо из составленных с их участием определенного рода стружковых композиций.

2. Проанализирован характер структурообразования и дана оценка уровня прочностных и пластических характеристик полученной из них прутково – проволочной продукции, сопровождаемые соответствующими фотографиями микроструктур и графиками зависимостей.

Практическая значимость работы

1. Разработана базовая технологическая схема изготовления полуфабрикатов и изделий из сортной сыпучей стружки, обеспечивающая повышение эффективности переработки стружковых отходов. Произведена ее адаптация применительно к изготовлению прутково – проволочной продукции, отвечающей по своим структуре и свойствам определенному уровню механических и эксплуатационных характеристик изделий, требования к которым оговорены в действующих технических условиях или ГОСТах.

2. Спроектирована и изготовлена требуемая для выполнения основных операций базовой технологической схемы инструментальная оснастка, а также произведен выбор необходимого для их реализации оборудования. Получены опытные образцы прутково – проволочной продукции из исследуемых составов стружковых материалов.

3. Выполнены металлографические исследования получаемых, по мере реализации каждого из запланированных этапов обработки, полуфабрикатов и изделий.

4. Проведены механические испытания на растяжение, а соответствующие также измерения уровня твердости и микротвердости прутков и проволоки, полученных из разных групп стружковых материалов.

Личный вклад автора

Принимал непосредственное участие при проведении всех этапов экспериментальных исследований, включающих подбор и подготовку исходных стружковых компонентов, горячее брикетирование сформированных стружковых композиций, горячую экструзию полученных брикетов и последующее холодное волочение прутков, оценку уровня механических и физических характеристик изготовленных образцов прутково – проволочной продукции.

Место выполнения диссертации. Кафедра «Обработка металлов давлением» Института цветных металлов и материаловедения Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Сибирский федеральный университет».

Место прохождения международной стажировки. INTAMT (г. Дюссельдорф, Германия).

Апробация работы. Основные положения диссертационной работы представлены на ежегодном Международном конгрессе «Цветные металлы» (Красноярск, 2013 г.), а также ежегодной Всероссийской научно-технической конференции Сибирского федерального университета с международным участием «Молодежь и наука» (Красноярск, 2013 г.).

Публикации. Результаты диссертационной работы отражены в 5 печатных трудах, 2 из которых опубликованы в журналах, входящих в перечень изданий, рекомендуемых ВАК.

Объем и структура диссертации. Диссертация состоит из введения, трех глав и заключения. Содержит 94 страницы машинописного текста, 40 рисунков, 13 таблиц, библиографический список из 35 позиций.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность темы и сформулирована цель работы, отмечается ее новизна и практическая значимость.

В первой главе рассмотрена классификация стружковых отходов в зависимости от источников их образования; выявлены основные недостатки традиционной схемы переработки стружковых отходов и указаны способы их устранения методами порошковой металлургии; сформулированы требования, предъявляемые к исходному вторичному сырью, поступающему в переработку по предлагаемой в работе технологической схеме; рассмотрены основные особенности составов и технологии производства низколегированных медных сплавов.

Проведенный анализ научно-технической и патентной литературы позволил сделать следующие выводы.

1. Осуществляемая в настоящее время схема переработки стружки цветных металлов и сплавов не всегда удовлетворяет требованиям экономии и рационального использования вторичных металлов и сплавов из – за повышенного угара металла, который в 2–3 раза превышает угар тех же металлов при пере-

плаве кускового лома; снижения на 10–15 % производительности металлургических агрегатов при использовании в шихте стружковых отходов вместо кускового лома; потерь металла за счет коррозии стружки, которые примерно на порядок превышают потери от коррозии кускового лома.

2. Недостатки традиционной технологии могут быть сведены к минимуму при переработке стружки методами, основанными на использовании приемов порошковой металлургии и традиционных процессов обработки давлением. В этом случае технологический цикл «стружка-прессовка-полуфабрикат-изделие», включающий этапы брикетирования, спекания, дополнительных горячих и холодной пластической деформации значительно короче традиционного металлургического цикла, менее энергозатратнее, легко автоматизируется и, при необходимости, органично встраивается в современное производство.

3. Медь и сплавы на ее основе благодаря многим уникальным физико – химическим, механическим и технологическим свойствам до сих пор являются одними из наиболее широко применяемых в различных областях промышленности цветных металлов, поэтому вопросы минимизации безвозвратных потерь и реализации наиболее эффективных способов вовлечения в производственный оборот образующихся возвратных отходов представляют для этой группы материалов несомненный практический интерес.

На основании сделанных выводов и были сформулированы цель и задачи диссертационной работы.

Во второй главе приведены основные положения используемых в работе методик (с указанием в отдельных случаях соответствующих ГОСТов), связанных с проведением механических испытаний прутков и проволоки на растяжение, измерением твердости, анализа химического состава, исследования электрофизических свойств, служащие в конечном итоге для оценки уровня прочностных и пластических характеристик, а также некоторых физических свойств получаемой продукции.

Третья глава посвящена решению задачи по адаптации составленной общей технологической схемы изготовления полуфабрикатов и изделий из сыпучей стружки, представленной на рисунке, применительно к стружке меди М1 и латуни Л63, по отдельности, стружковой смеси меди и указанной двойной латуни, а также стружковым композициям меди с различными типами бронз. Включение в ту или иную схему конкретной технологической операции носит вариативный характер, что обусловлено видом и спецификой обрабатываемого материала, размерами и конфигурацией получаемых изделий, уровнем достигаемых механических свойств и рядом других факторов.

На первом этапе был отработан ряд вопросов, касающихся особенностей компактирования сыпучей стружки чистой меди, образующейся при резке прессованных прутков на ленточной пиле. В частности, были проведены эксперименты по установлению влияния температуры нагрева пресс – формы и давления прессования на плотность брикетов и их механические характеристики, так как данные показатели являются определяющими при получении заготовки для следующей стадии обработки – горячей экструзии.

Варьирование температурно – деформационных режимов компактирования позволило установить, что для получения прессовок относительной плотностью 95 – 97% с удовлетворительным сочетанием прочностных и пластических свойств прессование стружки нужно осуществлять при температуре нагрева пресс – формы порядка 450 – 500 °С и давлении прессования не ниже 160 – 180 МПа. При этом предварительный отжиг стружки принципиального влияния на формирование свойств прессовок не оказывает, поэтому производить его, как правило, не целесообразно.



Рисунок – Общая технологическая схема получения продукции на основе переработки стружки цветных металлов и сплавов.

Вместе с тем было отмечено, что, несмотря на достаточно плотную упаковку, фрагменты стружки находятся лишь в механическом сцеплении друг с другом, физическая связь между частицами стружки фактически отсутствует. Для возникновения и развития очагов схватывания, полученные прессовки необходимо подвергнуть дополнительной пластической деформации в условиях действия всесторонних сжимающих напряжений. Одной из основных операций, реализующих указанную схему напряженного состояния, и является экструзия.

Для моделирования процесса экструзии в лабораторных условиях была спроектирована и изготовлена специальная инструментальная оснастка, монтируемая на столе вертикального гидравлического пресса усилием 1 МН, с помощью которой были получены прутки диаметрами 8 мм (коэффициент вытяжки μ при этом был приблизительно равен 32) и 6 мм ($\mu = 56$).

Температура нагрева прессовок перед экструзией принималась равной 900–950 °С, что соответствует «верхним» граничным значениям температурного интервала горячей обработки меди. Полученные пресс-изделия разрезали на несколько равных по длине фрагментов, часть из которых использовали для по-

следующего волочения, а из других, пропорционально вдоль длины, отбирали темплеты для изучения микроструктуры, а также вытачивались образцы для проведения механических испытаний на растяжение. В результате было установлено, что и микроструктура, и свойства взятых из различных мест по длине прутка образцов принципиально не меняются, соответствуя по ГОСТ 1535-2006 промежуточному между мягким и полутвердым состоянию материала прутка из меди.

В дальнейшем полученные горячей экструзией прутки подвергали однократному волочению на цепном волочильном стане. Эксперименты по протягиванию через различные волокна экструированных прутков из стружки меди показали, что с точки зрения устойчивого безобрывного протекания процесса волочения единичные обжаты за переход не должны превышать 30 %. При этом обязательно делалась поправка на то, что волочение осуществлялось в условиях, далеких от оптимальных. При использовании волокон с оптимальной геометрией, хорошим качеством отделки поверхности деформационной зоны, применении эффективной смазки и оптимального скоростного режима волочения величину единичных обжатий можно, по-видимому, несколько повысить и довести до значений, применяемых при волочении прутков из компактной меди.

Следующий этап работы был связан с исследованием влияния морфологии частиц сортных стружковых отходов на свойства прутков и проволоки, для чего использовали разные типы стружки латуни Л63. В результате было выявлено, что различие в морфологии частиц не оказывает существенного влияния на протекание таких процессов, как горячее прессование и горячая экструзия. При дальнейшем волочении горячепрессованных прутков, полученных из разных типов стружки, разница между значениями временного сопротивления разрыву σ_B проволоки все – таки проявляется. Так, например, при суммарном относительном обжати $\varepsilon_{\Sigma} = 34 \%$ разница между значениями σ_B проволоки из крупной и средней стружки составляет 20–25 %, из средней и мелкой стружки – 10–15 %. При этом комбинирование холодной обработки давлением с большими степенями деформации и промежуточных отжигов позволяет эту разницу нивелировать, приблизив значения механических характеристик проволоки из стружковых отходов к свойствам проволоки, получаемой по традиционной технологии, использующей литую заготовку.

Дальнейшие исследования были посвящены анализу характера структурообразования материала в ходе реализации процессов горячей экструзии и волочения полуфабрикатов из стружковой смеси меди с двойной латуниью Л63. Основной задачей этого этапа работы было рассмотрение вопроса потенциального использования сортных сыпучих стружковых отходов цветных металлов и сплавов в качестве исходного сырья для составления различного рода стружковых композиций в твердой фазе, изучение формируемой при этом микроструктуры, а также оценка достигаемого уровня механических свойств материала. В результате было выявлено, что структура получаемых по предлагаемой в работе технологической схеме прутков и проволоки состоит из чередующихся слоев, формируемых медной и латунной стружкой по отдельности, между которыми, как правило, имеется промежуточная область, образованная путем взаимно-

го проникновения указанных составляющих за счет протекания на границах стружек диффузионных процессов. Уровень прочностных и пластических характеристик проволоки из стружковой смеси, составленной в пропорции 50 % меди на 50 % латуни, занимает при любом суммарном относительном обжатии промежуточное положение между уровнем свойств проволоки, изготовленной только из стружки меди или латуни Л63 по отдельности.

На завершающем этапе работы были проведены исследования, связанные с оценкой влияния на характер структурообразования и формирования определенного уровня механических характеристик прутков и проволоки количественного и поэлементного состава применяемых для их изготовления стружковых композиций, образованных за счет смешивания в определенной пропорции сортных сыпучих стружковых отходов меди и некоторых типов бронз. Было установлено, что добавление к медной стружке любой из рассматриваемых в работе бронз способствует некоторому увеличению прочности материала. Характер поэтапного изменения механических характеристик от степени накопленной суммарной деформации для всех исследуемых материалов оставался практически идентичным и не зависел от дробности деформации. Формирование структуры прутков, получаемых из разных типов стружковых смесей, происходит в каждом конкретном случае с учетом отличительных черт, присущих каждому из смешиваемых компонентов. При этом структура проволоки из любого материала имеет ярко выраженное строчечное строение, обусловленное вытягиванием частиц стружки в направлении деформации. С увеличением содержания добавляемой в медную основу стружки бронзы размеры волокон увеличиваются, так как меняется количественное соотношение между составляющими – достаточно пластичной медной и более прочной бронзовой. В ряде случаев получить проволоку небольших диаметров порядка 3 мм из некоторых составов стружковых композиций системы «медь + бронза» без проведения промежуточных отжигов практически оказалось невозможным. Это связано с тем, что деформационный ресурс пластичности для указанной категории материалов имеет достаточно ограниченные рамки.

ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ РАБОТЫ

1. Обеспечение четкой организации работ по сбору стружковых отходов в местах их образования, а также проведение соответствующих мероприятий по удалению, складированию и хранению их с целью последующей переработки, позволяют использовать стружковые отходы как сортный сыпучий материал для получения продукции, не уступающей по своим характеристикам изделиям из компактных металлов и сплавов и отвечающей требованиям действующих ГОСТов или ТУ.

2. Технологическая схема изготовления полуфабрикатов и изделий непосредственно из стружки, являющаяся, при соблюдении ряда условий, альтернативой традиционному способу переработки стружковых отходов через правильный передел, включает в большинстве случаев стадии компактирования стружки в брикеты, горячей и холодной обработки давлением, эффективность

реализации которых определяется температурно-деформационными условиями их осуществления.

3. Для обеспечения необходимого, достаточно высокого уровня плотности промежуточной заготовки компактирование стружки в брикеты, как правило, производится при температурах, превышающих температуру начала рекристаллизации металла стружки или компонента, составляющего основу механической стружковой смеси, а величина прикладываемого давления горячего прессования должна быть не ниже значений предела текучести материала при выбранной температуре обработки.

4. При выборе операций горячей обработки давлением скомпактированных из стружки брикетов предпочтение следует отдавать тем из них, что характеризуются большими значениями развиваемых степеней деформации с высоким уровнем сдвиговых деформаций и благоприятной схемой напряженного состояния, среди которых, в первую очередь, указанным критериям отвечает процесс экструзии (выдавливания) металла через матрицы, рабочее отверстие которых соответствует заданной конфигурации получаемого промежуточного продукта.

5. Одним из направлений практической реализации рассматриваемого в работе подхода является разработка схем, связанных с созданием новых специфических функциональных композиционных или структурно-неоднородных материалов, изготовление которых базируется на консолидации различного рода дискретных сред с определенным сочетанием компонентов в твердой фазе.

ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ ДИССЕРТАЦИИ ОПУБЛИКОВАНЫ В СЛЕДУЮЩИХ РАБОТАХ

Издания, рекомендованные ВАК

1. Издания, рекомендованные ВАК **Роговой, А. А.** Роль развиваемых сдвиговых деформаций при реализации способа термометаллургической переработки сортовой стружки цветных металлов и сплавов / Загиров Н.Н., Иванов Е.В., Роговой А.А. // Журнал Сибирского федерального университета. Техника и технологии. 2013, №6(3). – с. 315-323.

2. **Роговой А. А.** Исследование влияния морфологии частиц сортовых стружковых отходов из латуни Л63 на свойства прутков и проволоки, получаемых обработкой давлением / Загиров Н.Н., Константинов И.Л., Иванов Е.В., Роговой А.А. // Известия вузов. Цветная металлургия. 2014. №4

Другие публикации

1. **Роговой А. А.** Оценка влияние дополнительного скручивания прутка при осуществлении процесса экструзии на структуру и свойства пресс – изделий из стружковой смеси меди с двойной латунью / Роговой А.А. // Специальное инженерное образование – подготовка современных инженерных кадров : тезисы региональной научно – технической конференции магистрантов [Электронный ресурс] / отв . за выпуск Е. А. Шипилова . – Электрон . дан . – Красноярск : Сиб . федер . ун -т, 2013. – с. 104 – 108.

2. **Роговой, А. А.** Особенности формирования структуры и свойств при получении композиционной проволоки из сортовых стружковых отходов меди и ее сплавов / Загиров Н.Н., Иванов Е.В. , Аникина В.И., Роговой А.А. // Цветные металлы – 2013 : Сб. научн. статей. – Красноярск: Версо, 2013. – с. 595 – 599

3. **Роговой, А. А.** Особенности формирования структуры и свойств при получении проволоки из стружковой смеси меди с цинком / Загиров Н.Н.; Иванов Е.В. , Аникина В.И., Роговой А.А. // Обработка сплошных и слоистых материалов. 2013, №1. – с. 13-19.