

ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертационную работу
«ПРОЯВЛЕНИЯ НЕОДНОРОДНОСТИ ПЛАСТИЧЕСКОЙ ДЕФОРМАЦИИ В
ПРОЦЕССАХ ВОЛОЧЕНИЯ ПРОВОЛОКИ ИЗ БЛАГОРОДНЫХ
МЕТАЛЛОВ», представленную **Первухиным Александром Евгеньевичем** на
соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности
05.16.05 – Обработка металлов давлением

1. Актуальность темы диссертационного исследования

Диссертация Первухина А.Е. посвящена изучению реологических свойств драгоценных металлов, совершенствованию процесса волочения проволоки, а также направлена на решение задач по повышению качества получаемых из них изделий и полуфабрикатов различных назначений.

Необходимость получения информации о реологических свойствах сплавов на основе платины и золота высокой чистоты связана с тем, что изделия из драгоценных металлов, в том числе и проволоки, нашли широкое применение в различных отраслях промышленности. Сплавы платины, кроме того, отличаются повышенной жаропрочностью и тугоплавкостью, сопротивлением высокотемпературной коррозии. Это обуславливает их применение при изготовлении катализаторных сеток, продукции для термометрии и микроэлектроники. Проволоку из золота используют при изготовлении токосъемной аппаратуры высокой степени надежности и многих других ответственных изделий. Высокие стоимости исследуемого класса материалов, растущие требования к качеству изделий, обусловленные постоянным расширением перечня отраслей для их использования, входящих в список приоритетных направлений развития науки, технологий и техники в Российской Федерации, а также рост конкуренции требуют совершенствования способов и технологии изготовления за счет повышения основных показателей производства: выхода годного и операционной убыли.

В связи с этим, исследования, направленные на решения комплекса задач для достижения поставленной цели по выработке рекомендаций по совершенствованию процесса производства тонкой и тончайшей проволоки из драгоценных металлов, является актуальной.

Актуальность работы подтверждается и тем, что выполнялась в рамках программы «Разработка научных основ физики и механики обработки металлов давлением с целью создания энерго- и ресурсосберегающих инновационных технологий производства металлургической продукции ответственного назначения» (гос. задание № 11.13692014/К от 18.07.2014) и Проекта №3 «Разработка технологии изготовления «легких» катализаторных сеток»,

утвержденного приказом №15-4 от 21.04.2016 генеральным директором АО «Екатеринбургский завод ОЦМ» Боровковым Д. А.

2. Структура и содержание диссертации

Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения, списка литературы из 151 наименования и одного приложения, содержащего акт внедрения результатов диссертационного исследования при производстве проволоки из драгоценных металлов и сплавов диаметром до 20 мкм в промышленных условиях Екатеринбургского завода по обработке цветных металлов. Текст диссертации изложен на 131 страницах, включая список литературы со 115 по 130 страницы, 79 рисунков и 5 таблиц.

Во введении обоснована актуальность темы диссертационной работы, сформулированы ее основная цель и задачи, показана научная новизна, теоретическая и практическая значимости работы.

В первой главе представлен обзор технической и патентной литературы, анализ результатов которого позволяют в полной мере оценить свойства исследуемых материалов и их роль в промышленной отрасли, а также выявить основные способы (методы) их обработки для получения качественной продукции в виде проволоки тончайших сечений технического назначения. При этом уделяется внимание проблеме, заключающейся в малой изученности реологических свойств драгметаллов и сплавов на их основе. Приводится описание программных пакетов для анализа напряженно-деформированного состояния, применение которых в процессе исследований гарантирует повышение точности полученных результатов даже в очень сложных процессах обработки металлов давлением при снижении трудозатрат на осуществление таких операций.

В результате анализа данных, взятых из научно-технических и литературных источников, сформулированы цель и задачи исследования.

Вторая глава посвящена вопросам исследования прочностных свойств при холодной деформации сплава на основе платины 925 пробы, легированного металлами платиновой группы – палладием и родием, по массе не превышающие 5% каждый, и золота высокой чистоты 999 пробы.

При изучении свойств применялась комбинированная методика, состоящая в растяжении проволочных образцов в условиях небольших степеней деформации при измерении условного предела текучести исследуемых материалов с высокой степенью его упрочнения. Получены значения сопротивления деформации сплава платины 925 пробы при скорости $0,008...0,01 \text{ с}^{-1}$ в диапазоне значений величины обжатия $0...2,644$, результаты исследований которых представлены в графическом и аналитическом виде.

Установлено, что кривые упрочнения для указанного сплава имеют вид монотонно возрастающих зависимостей. Особо стоит отметить критические рассуждения диссертанта о возможных причинах отклонений опытных данных и результатов аппроксимации при больших значениях степени деформации.

По упомянутой методике получены кривые упрочнения для золота высокой чистотой (99,99 %) при тех же скоростях в диапазоне значений деформации 0...2,083. Автором установлено, что кривая упрочнения имеет немонотонно возрастающий вид и наблюдается снижение величины сопротивления деформации при обжатии около значения 1,7. Предлагается необходимость учета вида кривой упрочнения при проектировании маршрутов волочения проволоки.

Третья глава направлена на выявление основных дефектов, встречающихся при волочении проволоки из драгоценных металлов. Практическая значимость представленных исследований заключается в том, что образцы отбирались в реальных промышленных условиях, а анализ полученных результатов проводился на основании полученных данных с применением методов электронной микроскопии и рентгеноспектрального анализа. Особо уделяется внимание дефектом в виде включений различной природы, в том числе инородных. Отмечено, что важным здесь является даже не наличие дефекта инородного включения, а присутствие пор, примыкающих к нему, которые впоследствии (при обработке) вытягиваются вдоль оси волочения. На основе решения задачи в этом аспекте предлагаются алгоритмы происхождения дефектов «включение-пора» с применением программного комплекса мирового уровня в области конечно-элементных расчетов процесса волочения ABAQUS, где включение в программе представляется в виде абсолютно твердого тела.

Другой вид рассматриваемых дефектов – кольцевые в виде локальных пережимов, возникающие при вытяжке проволочной заготовки на агрегате непрерывной разливки. Для оценки последствий наличия таких дефектов решена задача по моделированию волочения проволоки с кольцевой выемкой в программе РАПИД. Результаты решения показали, что такой дефект не разглаживается полностью и остается на поверхности проволоки. Его наличие провоцирует создание слабоупрочненных зон, которые при определенных условиях могут являться толчком к образованию основного дефекта при многократном волочении со скольжением – обрывности.

Также рассмотрен эффект перераспределения деформаций в операциях многопереходного волочения, результаты анализа которого говорят о том, что конфигурация очага деформации может отличаться от радиального, принятого в базовых задачах теории обработки металлов давлением по процессу

волочения. Для оценки справедливости такого допущения решалась задача с применением программного пакета РАПИД, результаты решений которой, позволяют утверждать, что при назначении маршрута волочения необходимо учитывать вид кривой упрочнения, иначе возникает риск проявления дефектов типа центральных разрывов из-за разделения очага деформации на две зоны.

В четвертой главе рассматриваются эффекты совместного применения операций волочения и скальпирования. На основании теоретического анализа поставлен эксперимент процесса скальпирования в промышленных условиях действующего предприятия, в результате которого устанавливается факт возникновения высокопрочного поверхностного слоя материалов. Показано, что наличие такого слоя влияет на изменение энергосиловых параметров деформации и изменяет граничные условия для последующего анализа процесса волочения. Результат решения показал, что степень деформации сдвига в упрочненном слое может достигать величины 1,8.

Для оценки влияния такого слоя на процесс волочения с применением программного продукта РАПИД решена задача по волочению проволоки, поверхность которой подвергалась скальпированию. Здесь же автором доказана необходимость применения специального подхода при анализе влияния процесса скальпирования на напряженно-деформированное состояние материалов. В этом случае, высоконагартованный поверхностный слой материалов не будет выделяться как особенный, а его аномальные свойства будут заданы через граничные условия с явным перераспределением деформаций и напряжений в протягиваемой проволоке тонкого и тончайшего сечения.

В результате проведенных практических исследований по выявлению особенностей реализации совместных процессов волочения и скальпирования при производстве тонкой и тончайшей проволоки из драгоценных металлов и сплавов в работе, а именно, в 4 главе, представлены рекомендации для изменения маршрутов холодной обработки таких материалов в условиях действующего предприятия АО «Екатеринбургский завод по обработке цветных металлов».

В заключении сформулированы основные результаты, полученные на основании решения комплекса задач поставленных в работе, при выполнении исследований. Отмечены перспективные направления в развитии актуальных вопросов, касающихся представленных в работе аспектов научных исследований.

В приложении приведен акт внедрения результатов диссертационной работы на АО «Екатеринбургский завод по обработке цветных металлов».

В целом материал работы изложен достаточно полно, в правильной логической последовательности, включает большое количество иллюстративного материала, имеет все признаки научного исследования и свидетельствует о способности результатов, представленных в диссертации, решать актуальные научно-технические задачи по профилю специальности 05.16.05 – «Обработка металлов давлением» с применением методов исследований из смежных научных дисциплин.

3. Новизна и степень обоснованность научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации, и их достоверность.

Основные результаты, представленные Первухиным А.Е. в диссертационной работе, являются новыми, а их практическая значимость для действующего предприятия, подтверждает их степень обоснованности. Так, автором получены данные о реологических свойствах сплава платины 925 пробы (ПлПдРд92,5-4-3,5) и золота высокой чистоты (Зл99,99) при скорости деформации $0,008...0,01 \text{ с}^{-1}$ в диапазоне степеней обжатия $0...2,644$ и $0...2,083$ соответственно.

Выявлены дефекты, которые характерны для процесса волочения проволоки из платиновых сплавов, и механизмы их возникновения, а также приемы их ликвидации для повышения качества заготовок, полуфабрикатов и готовых изделий ответственного назначения. На основе теоретических и экспериментальных методов исследования доказано, что совместное применение процессов волочения, как основного при получении тонкой и тончайшей проволоки, и скальпирования, как одного из основных приемов устранения дефектов, имеющих разную природу их появления, позволяет решить основную задачу, а именно повысить качество рассматриваемой в диссертационной работе номенклатуры продукции, имеющих спрос в приоритетных направлениях техники в Российской Федерации.

Указанные выше результаты и положения основаны на применении современных вычислительных методом и пакетов программ, экспериментальными исследованиями, статистической обработкой полученных данных, а также согласуются с общепринятыми закономерностями и практикой процессов холодного волочения проволоки, что дает полное основание считать их достоверными.

4. Практическая и теоретическая значимость результатов

Теоретическая ценность работы заключается в получении данных о реологических свойствах сплава платины и золота высокой чистоты, результатах математического моделирования процессов волочения и скальпирования, которые расширяют знания об этих видах обработки металлов.

Практическую ценность диссертационной работы представляют рекомендации по рационализации процессов холодной обработки указанных материалов способами волочения и скальпирования (акт внедрения АО «Екатеринбургский завод по обработке цветных металлов, г. Верхняя Пышма»).

5. Соответствие работы паспорту специальности

Содержание представленной работы соответствует паспорту научной специальности 05.16.05 «Обработка металлов давлением», так как не выходит за пределы области исследований (п.п. Исследование и расчет деформационных, скоростных, силовых, температурных и других параметров процессов обработки металлов и сплавов давлением. Исследование процессов пластической деформации металлов и сплавов с помощью методов математического моделирования. Исследование комплекса свойств металлов и сплавов в процессах пластической деформации. Оптимизация процессов и технологий обработки давлением для производства металлопродукции с заданными характеристиками качества. Разработка способов, процессов и технологий для производства металлопродукции, обеспечивающих ее качество и расширяющих сортамент изделий).

Диссертация написана грамотным техническим языком с использованием общепринятых терминов исследуемых предметных областей, аккуратно и правильно оформлена в соответствии с требованиями ВАК РФ, предъявляемым к диссертациям на соискание ученых степеней (ГОСТ Р 7.0.11-2011). Структура работы понятна и последовательна.

6. Опубликование результатов работы

Материал диссертации опубликован в 11-ти печатных изданиях, из которых три и три входит в перечень рецензируемых научных изданий, рекомендованных Высшей Аттестационной Комиссией РФ и в Международные базы научной периодики Scopus и Web of Science соответственно.

Апробация основных положений и результатов, представленных в работе, научных исследований проведена в рамках следующих практических конференций международного уровня: XV международная научно-техническая уральская школа семинар металловедов – молодых ученых (Екатеринбург, 2014); XVI международная научно-техническая уральская школа семинар металловедов – молодых ученых (Екатеринбург, 2015); XVII международная наудотехническая уральская школа семинар металловедов – молодых ученых (Екатеринбург, 2016); II Международная молодежная научно-практическая конференция «Инновационные процессы обработки металлов давлением: фундаментальные вопросы связи науки и производства» (Магнитогорск, 2016);

XVIII международная научно-техническая уральская школа семинар металловедов – молодых ученых (Екатеринбург, 2017); XI Международная конференция «Механика, ресурс и диагностика материалов и конструкций» (Екатеринбург, 2017).

Автореферат соответствует содержанию диссертации и достаточно полно отражает ее основные положения.

7. Замечания по работе

1. Автор в названии и по тексту (стр. 34, 54, 74) диссертационной работы использует термин «Благородные металлы» вместо «Драгоценные металлы», который не рекомендуется применять во всех видах документации в области драгоценных металлов согласно ГОСТ Р 52793–2007.
2. В патентно-литературном обзоре (глава 1, раздел 5, стр. 28–29) приведены программные продукты для моделирования процесса штамповки, которые использовались в работе для решения ряда поставленных задач, хотя в названии и по тексту исследования направлены на изучение пластической деформации в процессах волочения.
3. Из работы не ясно, на основании чего в качестве материала–аналога для исследований выбран металл «Медь», относящийся к группе цветных металлов. Достоверны ли полученные результаты исследований на меди применительно к сплаву платины 925 пробы и золоту, серебру высокой чистоты?
4. Глава 3, стр. 56, целесообразно ли при определении формоизменения металла вблизи расположения частиц с применением программного комплекса ABAQUS в качестве модельного материала выбирать медь не смотря на то, что ранее в работе получен комплекс реологических свойств для исследуемых автором металлов и сплавов, относящихся к группе драгоценных?
5. Из работы не понятно, на чем основан выбор угла наклона образующей волоки $\alpha = 10^\circ$ в качестве исходных данных для изучения формы очага деформации при волочении с применением расчетного модуля РАПИД–2D (стр. 67).
6. Стр. 68, не ясно, чем обоснован выбор закона трения по Зибелю при его значении показателя 0,1, условием использования которого применительно к процессам обработки металлов давлением согласно литературным источникам уместно для горячей деформации.
7. Не понятно, каким образом установлены значения режимов условной глубины реза при скальпировании для проволоки из серебра 999 пробы диаметрами 6,6 мм, 6,25 мм и 5,58 мм для их практической реализации в условиях действующего предприятия.

8. Глава 4, влияет ли изменение угла наклона острой кромки γ при скальпировании на глубину проникновения пластического деформированного слоя в заготовке?

9. В работе не представлена оценка показателей, подтверждающих экономическую целесообразность применения процесса скальпирования при производстве тонкой и тончайшей проволоки из драгоценных металлов высокого качества, ответственного назначения.

8. Заключение по работе

Сделанные замечания не снижают общей положительной оценки диссертационной работы, ценности ее научных и практических результатов, а также степени их достоверности. Диссертация, выполненная Первухин А.Е., представляет собой самостоятельную и законченную научно-квалификационную работу на актуальную тему, а практическая значимость представленных результатов имеет существенное значение для развития страны.

Диссертационная работа соответствует требованиям п. 9 Положения о присуждении ученых степеней, а ее автор – Первухин Александр Евгеньевич заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.16.05 – Обработка металлов давлением.

Официальный оппонент
кандидат технических наук,
доцент кафедры «Обработка металлов давлением»
Института цветных металлов и материаловедения
ФГАОУ ВО «Сибирский федеральный университет»
Тел. 8 (391) 206-37-31
e-mail lebedewa-olya@mail.ru

Лебедева
Ольга Сергеевна

Дата подписания отзыва: « 30 » марта 2018 г.

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Сибирский федеральный университет»,
660041, Красноярский край, г. Красноярск, пр. Свободный, д. 79
Тел.: 8 (391) 244-86-25; E-mail office@sfu-kras.ru



ФГАОУ ВО СФУ

Согласен Лебедевой заверяю

Заместитель общего отдела

30

11

20 г.