

На правах рукописи



Дитковская Юлия Дмитриевна

**ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ПОЛУЧЕНИЯ ПРОВОЛОКИ
ИЗ СПЛАВОВ ЗОЛОТА 585 ПРОБЫ И РАЗРАБОТКА ПРОГРАММНОГО
ОБЕСПЕЧЕНИЯ ДЛЯ ЕЕ СОПРОВОЖДЕНИЯ**

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:

доктор технических наук, профессор Сидельников Сергей Борисович

Рецензент:

Павлов Евгений Александрович, кандидат технических наук, начальник лаборатории получения драгоценных металлов и контроля их сплавов ОАО «Красноярский завод цветных металлов имени В.Н. Гулидова»

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 с повышением спроса на ювелирные изделия из сплавов золота 585 пробы наряду с красным золотом особую популярность приобретает белое золото – сплав на основе золота и палладия или никеля, обладающий благородным белым цветом и блеском, применяемый в качестве заменителя дорогостоящей платины. В связи с этим большое внимание уделяется созданию новых сплавов белого и красного золота, обладающих повышенными механическими и эксплуатационными свойствами. Внедрение новых материалов в производство, в свою очередь, требует проведения многовариантных расчетов для совершенствования существующей или проектирования новой технологии изготовления ювелирных изделий. Подобные расчеты целесообразно проводить с помощью систем автоматизированного проектирования (САПР).

Совершенствование материалов, технологий их обработки, проектирование и моделирование технологических процессов с помощью специализированного программного обеспечения является актуальной задачей в рамках развития ювелирного производства и обработки цветных металлов в целом.

Данная диссертация выполнена в рамках научно-исследовательской работы по заказу Министерства образования и науки РФ по теме № Т-7 «Создание новых сплавов драгоценных металлов с повышенными эксплуатационными характеристиками и исследование их свойств».

Предмет исследования – совершенствование режимов обработки сплавов на основе драгоценных металлов и разработка программного обеспечения сопровождения технологий производства длинномерных деформированных полуфабрикатов.

Цель работы: повышение конкурентоспособности и эффективности производства ювелирных цепей из сплавов золота 585 пробы.

Для ее достижения решаются следующие **задачи:**

- разработка нового состава и способа приготовления сплавов на основе золота 585 пробы;
- исследование существующей технологии изготовления деформированных длинномерных полуфабрикатов из сплавов золота 585 пробы для производства ювелирных цепей, применяемой в промышленных условиях;
- разработка программного обеспечения для анализа и проектирования технологических процессов производства проволоки из сплавов золота 585 пробы, а также проектирования калибровки прокатного инструмента;
- создание модуля программного обеспечения для моделирования прокатного инструмента и его изготовления на станках с ЧПУ;
- проектирование рациональных маршрутов обработки новых сплавов золота 585 пробы.

Научная новизна работы

1. На основании экспериментальных данных получены зависимости, характеризующие изменение прочностных свойств (временного сопротивления

разрыву σ_b и предела текучести σ_T) новых сплавов белого и красного золота 585 пробы от степени деформации.

2. Усовершенствованы методики и разработаны алгоритмы для определения деформационных режимов и энергосиловых параметров процессов холодной сортовой прокатки и волочения драгоценных металлов и сплавов.

Практическая значимость работы

1. Разработан способ модифицирования сплавов на основе золота (патент РФ № 2507284) и состав сплава красного цвета на основе золота 585 пробы (патент РФ № 2514898).

2. Предложены новые режимы холодной сортовой прокатки и волочения, обеспечивающие повышение эффективности производства ювелирных цепей из золота 585 пробы, обладающих повышенным уровнем эксплуатационных свойств.

3. Разработано программное обеспечение для проектирования процессов изготовления проволоки из сплавов драгоценных металлов и калибровки, моделирования прокатного инструмента и его изготовления, не имеющее аналогов в области проектирования процессов холодной обработки цветных металлов.

4. Результаты могут быть использованы в ювелирном производстве и внедрены в учебный процесс для подготовки бакалавров и специалистов в области обработки металлов давлением.

Личный вклад автора

Все результаты исследований получены в соавторстве при личном участии автора, основными из которых являются: разработка алгоритмов и программного обеспечения для сопровождения технологии производства проволоки из драгоценных металлов; обработка, систематизация и анализ результатов исследований свойств новых сплавов золота 585 пробы; получение зависимостей, характеризующих свойства новых сплавов.

Место выполнения диссертации. Кафедра обработки металлов давлением института цветных металлов и материаловедения, ФГАОУ ВПО «Сибирский федеральный университет».

Место прохождения международной стажировки. Delcam plc (г. Бирмингем, Великобритания).

Апробация работы. Основные положения диссертационной работы представлены на конференциях и конгрессах: ежегодная Международная научно-техническая Уральская школа-семинар металловедов – молодых ученых (Екатеринбург, 2011 г.), Международная конференции «Научные исследования и их практическое применение. Современное состояние и пути развития '2012» (Одесса, 2012 г.), ежегодный Международный конгресс «Цветные металлы» (Красноярск, 2012, 2013 гг.), Международная научно-техническая конференция «Современные технологии обработки материалов давлением: моделирование, проектирование, производство» (Москва, 2013 г.), Международная научно-практическая конференция «Научный потенциал мира» (София, 2013 г.), Международная научная конференция «Прикладные науки и технологии в США и Европе: общие проблемы и научные исследования» (г. Нью-Йорк, 2013 г.), ежегодная Всероссийская научно-техническая конференция Сибирского федераль-

ного университета с международным участием «Молодежь и наука» (Красноярск, 2011-2014 гг.); на ежегодной выставке инновационных проектов и научно-технических разработок в рамках общегородской ассамблеи «Красноярск. Технологии будущего» (Красноярск, 2014 г.).

Публикации. Результаты диссертационной работы отражены в 17 печатных трудах, 2 из которых опубликованы в журналах, входящих в перечень изданий, рекомендуемых ВАК, а также в 2 патентах на изобретения.

Объем и структура диссертации. Диссертация состоит из введения, трех глав и заключения. Содержит 85 страниц машинописного текста, 23 рисунка, 17 таблиц, библиографический список из 42 источника и 1 приложение.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

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

В первой главе рассмотрены современные тенденции производства ювелирных цепей из сплавов золота, проведен патентный поиск технических решений по составам сплавов золота белого цвета 585 пробы, применяемая в промышленных условиях технология, оборудование и система калибров для сортовой прокатки. Здесь представлен обзор существующих САПР и программ моделирования технологических процессов, анализ результатов исследований сортовой прокатки в ромбических и восьмигранных калибрах и методики определения формоизменения металла и энергосиловых параметров процесса.

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

1. Одной из основных тенденций развития ювелирной промышленности является разработка и внедрение в производство новых безникелевых сплавов белого золота 585 пробы, обладающих повышенными механическими и эксплуатационными свойствами и снижающими стоимость готовых ювелирных изделий.

2. Поскольку основными операциями в технологии изготовления деформированных длинномерных полуфабрикатов для производства ювелирных цепей являются холодная сортовая прокатка и волочение, необходима разработка рациональных маршрутов данных процессов.

3. Существующие программные продукты непригодны для проектирования холодной обработки цветных металлов и сплавов, в частности драгоценных. Это определяет актуальность разработки САПР процессов холодной сортовой прокатки и волочения, учитывая специфику технологических процессов, применяемых на производстве.

4. Целесообразна разработка программы, позволяющей моделировать прокатный инструмент и изготовление на станках с ЧПУ.

На основании сделанных выводов сформулированы задачи диссертационной работы.

Во второй главе представлены алгоритмы и методики расчета формоизменения металла и энергосиловых параметров при холодной сортовой прокатке и волочении, ставшие основой разработанной САПР «PROVOL». Программа

реализована в среде программирования Delphi и включает в себя три основных модуля для проектирования технологических процессов, которые могут использоваться автономно или в комплексе для расчетов в соответствии с применяемой на производстве технологией. На рисунке 1 представлен вид окна программы “PROVOL” для проектирования сортовой прокатки.

База данных программы позволяет работать с широким рядом современного оборудования и материалов. Модули визуализации могут представлять результаты расчетов в виде таблиц и графиков зависимостей, формировать отчеты в программном продукте MS Excel.

Программа позволяет проектировать калибры при сортовой прокатке, формировать чертежи, экспортировать их в среду AutoCAD.

Во время международной стажировки был разработан блок САПР для моделирования прокатного инструмента и его изготовления в среде FeatureCAM (разработка компании Delcam plc). Формируется готовый NC-код для изготовления вала на токарно-фрезерном оборудовании с ЧПУ. Полученная 3D-модель может использоваться для моделирования процесса сортовой прокатки, например, в программном комплексе DEFORM-3D.

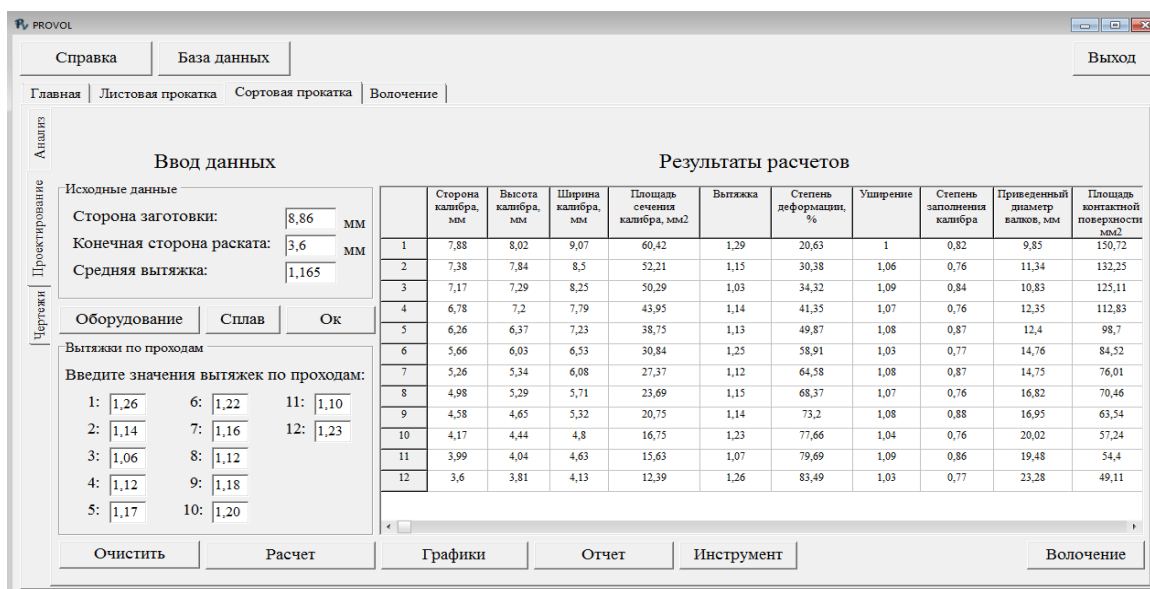


Рисунок 1 – Окно программы для проектирования сортовой прокатки

С помощью программы “PROVOL” проанализированы применяемые на производстве режимы сортовой прокатки полуфабрикатов из сплавов золота 585 пробы, выявлена их нерациональность, определены пути совершенствования.

В третьей главе представлены результаты опытно-промышленной апробации новых сплавов золота 585 пробы в заводских условиях на Красноярском заводе цветных металлов имени В.Н. Гулидова (ОАО «Красцветмет»). Химический состав и свойства новых сплавов (№2 и №3) и известного сплава (№1) приведены в таблицах 1 и 2. Исследования показали, что новые сплавы имеют высокие механические свойства, мелкозернистую структуру, хорошую технологичность, обеспечивающую получение проволоки с высокими потребительскими характеристиками.

Таблица 1 – Составы сплавов белого золота 585 пробы

Маркировка сплава	Химический состав сплава, массовая доля компонента, %								Расчетная плотность, г/см ³
	Au	Ag	Pd	Cu	Zn	Ni	In	Ru	
Сплав №1	58,5	-	-	25,0	4,0	12,5	-	-	12,70
Сплав №2	58,5	26,0	8,0	5,5	1,5	-	0,5	0,01	15,63
Сплав №3	58,5	21,6	10,0	8,4	1,5	-	-	0,01	15,63

Применение рутения в качестве модификатора потребовало поиска нового способа введения его в расплав, поскольку известные методики модифицирования обеспечивают его плохую растворимость в золоте из-за высокой температуры плавления, что приводит к снижению модифицирующего эффекта. С целью повышения качества и измельчения зеренного строения слитков был разработан и запатентован новый способ модифицирования сплавов. Он обеспечивает точное определение количества введенного в расплав рутения, полное усвоение модификатора, в связи с чем литые и деформированные полуфабрикаты обладают равномерной мелкозернистой структурой по всей длине и сечению слитка (патент РФ №2507284).

Таблица 2 – Механические свойства деформированных заготовок из сплавов белого золота 585 пробы

Проход сортовой прокатки	Схема деформации	Сплав №1		Сплав №2		Сплав №3	
		σ_B , МПа	δ , %	σ_B , МПа	δ , %	σ_B , МПа	δ , %
Первый	$\emptyset 8 \rightarrow 3,7 \times 3,7$	814,7	0,6	942,4	3,6	940,1	4,0
Второй	$3,7 \times 3,7 \rightarrow 2,1 \times 2,1$	1011,1	1,2	752,7	2,6	881,0	2,4
Третий	$2,1 \times 2,1 \rightarrow 1,1 \times 1,1$	1014,5	2,7	660,5	1,9	819,9	1,5

Предложен и запатентован состав нового сплава красного цвета на основе белого золота 585 пробы, обладающий повышенными эксплуатационными и прочностными характеристиками (патент РФ № 2514898).

В результате испытаний получены эмпирические зависимости для расчета временного сопротивления разрыву (σ_B) и предела текучести (σ_T) от величины накопленной деформации (ϵ):

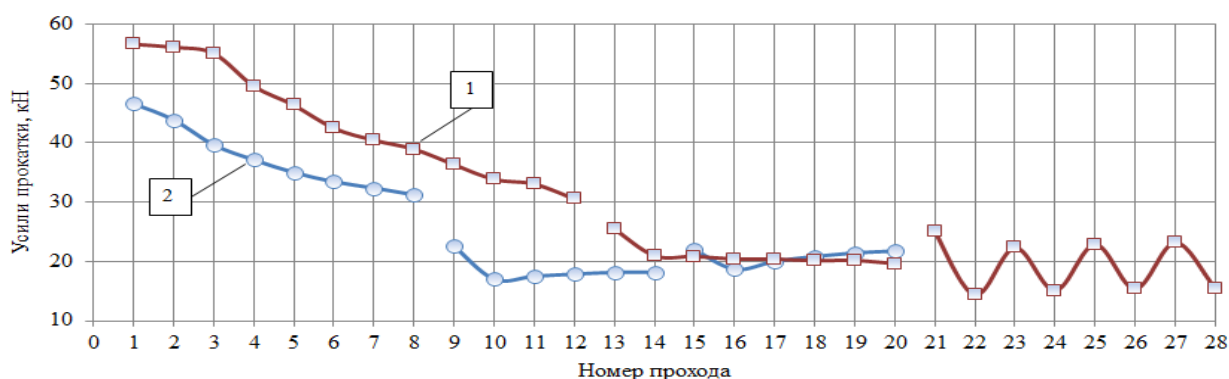
$$\sigma_B = a \cdot \epsilon^2 + b \cdot \epsilon + c, \quad (1)$$

$$\sigma_T = a \cdot \epsilon^2 + b \cdot \epsilon + c, \quad (2)$$

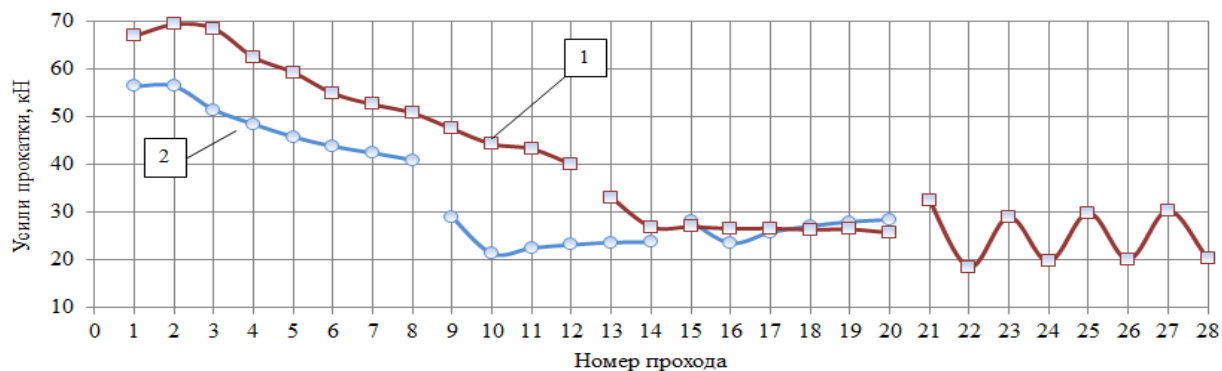
где a , b и c – безразмерные коэффициенты (таблица 3).

Таблица 3 – Коэффициенты для определения прочностных характеристик сплавов белого золота 585 пробы

Марка сплава	Механические свойства	Безразмерные коэффициенты		
		a	b	c
Сплав № 1	σ_B	0,096	-0,9212	438,5
	σ_T	0,092	-0,0452	269,5
Сплав № 2	σ_B	0,001	4,7385	516,5
	σ_T	0,021	1,6162	346,3
Сплав № 3	σ_B	0,009	3,0603	550,3
	σ_T	0,019	3,6589	388,0



а



б

Рисунок 2 – Изменение усилий при сортовой прокатке по действующим (1) и предложенным (2) маршрутам для новых сплавов белого золота 585 пробы: а – сплав № 2, б – сплав № 3

С помощью разработанной САПР “PROVOL” спроектированы новые маршруты сортовой прокатки для новых сплавов золота 585 пробы (рисунок 2). Их применение позволяет сократить количество переходов, выровнять энергосиловую загрузку оборудования, обеспечить равномерность деформации заготовки по переходам, а значит, повысить качество готового изделия.

В заключении представлены основные выводы и результаты работы.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Разработан и запатентован новый способ модифицирования сплавов на основе золота (патент РФ № 2507284), обеспечивающий точное определение количества введенного в расплав модификатора, его полное усвоение, равномерную мелкозернистую структуру полуфабрикатов, высокое качество и эффективность модифицирования.

2. Предложен и запатентован новый сплав красного цвета на основе золота 585 пробы (патент РФ № 2514898), обладающий повышенным уровнем механических и эксплуатационных свойств.

3. Проведены экспериментальные исследования новых составов сплавов белого золота 585 пробы, определены уравнения зависимости их прочностных свойств от степени деформации. Создана база данных по механическим характеристикам материалов.

4. Проанализирована существующая технология, применяемая на производстве, определены ее недостатки, пути совершенствования.

5. Разработана программа “PROVOL”, позволяющая проектировать целый комплекс технологических процессов, базирующаяся на авторских методиках определения формоизменения металла и энергосиловых параметров при холодной прокатке и волочении.

6. Создан блок программного обеспечения для моделирования прокатного инструмента и его изготовления, что позволяет перейти от проектирования сортовой прокатки и калибровки к моделированию технологического процесса и производству валков.

7. С помощью разработанной программы спроектированы режимы сортовой прокатки для новых сплавов белого и красного золота 585 пробы, имеющие повышенные технико-экономические показатели.

Таким образом, результаты позволяют усовершенствовать технологию получения проволоки из сплавов золота 585 пробы для изготовления ювелирных цепей, они рекомендованы для внедрения в учебный процесс и производство при дальнейшем расширении линейки сплавов из драгоценных металлов и применении программного обеспечения для расчетов режимов их обработки.

ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ ДИССЕРТАЦИИ ОПУБЛИКОВАНЫ В СЛЕДУЮЩИХ РАБОТАХ

Издания, рекомендованные ВАК, и патенты на изобретения

1. **Гайлис, Ю. Д. (Дитковская, Ю. Д.)** Разработка методики расчета технологических параметров получения деформированных полуфабрикатов из сплавов золота 585-й пробы / С.Б.Сидельников, Н.Н. Довженко, О.С. Лебедева, С.В. Беляев, Ю.Д.Гайлис, Е.В.Феськов // Журнал Сибирского федерального университета, серия «Техника и технологии». Октябрь 2012 (том 5, номер 6). – С. 615 – 623.

2. **Гайлис, Ю. Д. (Дитковская, Ю. Д.)** Разработка подсистемы САПР технологических процессов производства ювелирных изделий / С.Б.Сидельников, Н.Н.Довженко, Ю.Д.Гайлис, О.С.Лебедева // Известия МГТУ «МАМИ». Научный рецензируемый журнал. Серия 2. Технология машиностроения и материалы. – М., МГТУ «МАМИ», №2(16), 2013, т.2. – С. 216 – 220.

3. Пат. № 2507284 Российская федерация, МПК С1 С22С 5/02 С22С 1/03. Способ модифицирования сплавов на основе золота / Сидельников С. Б., Довженко Н. Н., Беляев С. В., **Гайлис Ю. Д. (Дитковская, Ю. Д.)** [и др.]; заявитель и патентообладатель ФГОУ ВПО «Сибирский федеральный университет». – 2012154131/02; заявл. 13.12.2012; опубл. 20.02.2014г. Бюл. №5. – 5 с.

4. Пат. № 2514898 Российская федерация, МПК С22С 5/02. Сплав красного цвета на основе золота 585 пробы / Довженко Н.Н., Сидельников С.Б., Лопатина Е.С., **Гайлис Ю. Д. (Дитковская, Ю. Д.)** [и др.]; заявитель и патентообладатель ФГОУ ВПО «Сибирский федеральный университет». – 2013116285; заявл. 09.04.2013г.; опубл. 10.05.2014г. Бюл. №13. – 5 с.

Другие публикации

1. **Гайлис, Ю. Д. (Дитковская, Ю. Д.)** Разработка методики расчета формоизменения металла при сортовой прокатке прутков из сплавов золота 585 пробы / О.С.Лебедева, Е.В. Феськов, Ю.Д.Гайлис // XII Международная научно-техническая Уральская школа-семинар металлургов – молодых ученых: сб. науч. тр. – Екатеринбург: УрФУ, 2011 г. – С. 205 – 207.

2. **Гайлис, Ю. Д. (Дитковская, Ю. Д.)** Анализ и оптимизация расчета деформационных режимов холодной листовой прокатки цветных металлов и сплавов / Ю.Д.Гайлис // Молодёжь и наука: сборник материалов VII Всероссийской научно-технической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых [Электронный ресурс] /отв. ред. О.А.Краев - Красноярск: Сиб. федер. ун-т., 2011. – С.267 – 270. – Режим доступа: http://conf.sfu-kras.ru/sites/mn2011/thesis/s21/s21_90.pdf. – Загл. с экрана.

3. **Гайлис, Ю. Д. (Дитковская, Ю. Д.)** Анализ и автоматизация расчета деформационных режимов холодной листовой прокатки и волочения благородных металлов и их сплавов / Ю.Д.Гайлис // Молодёжь и наука: в 4 т.: материалы конф. Т.3. / отв. за выпуск О.А.Краев. – Красноярск: Сибирский федеральный ун-т, 2012. – С. 530 – 535.

4. **Гайлис, Ю. Д. (Дитковская, Ю. Д.)** Разработка программного обеспечения для расчета деформационных режимов листовой, сортовой прокатки и волочения деформируемых полуфабрикатов из сплавов золота 585 пробы / С.Б. Сидельников, О.С. Лебедева, Ю.Д.Гайлис, Е.В.Феськов // Моделирование и развитие процессов обработки металлов давлением: междунар. сб. науч. тр. / под.ред. В.М. Салганика. – Магнитогорск: Изд-во Магнитогорск. гос. тех. ун-та им. Г.И.Носова, 2012. – С. 25 – 30.

5. **Гайлис, Ю. Д. (Дитковская, Ю. Д.)** Разработка и исследование технологии получения деформированных полуфабрикатов из сплавов золота 585 пробы /С.Б.Сидельников, С.В.Беляев, О.С.Лебедева, Е.А.Павлов, А.В.Столяров, И.В.Усков, Е.В.Феськов, Ю.Д.Гайлис // Цветные металлы-2012: Сб. научн. статей. – Красноярск: Версо, 2012. – С.802 – 807.

6. **Гайлис, Ю. Д. (Дитковская, Ю. Д.)** Расчет параметров формоизменения процесса холодной сортовой прокатки прутков из сплавов золота 585 пробы / С.Б. Сидельников, О. С. Лебедева, А. В. Столяров, Ю.Д.Гайлис, Е.В. Феськов // Сб. науч. Тр. SWorld. Материалы международной научно-практической конференции «Научные исследования и их практическое применение. Современное состояние и пути развития ‘2012»». – Выпуск 3. Том 9. – Одесса: КУПРИЕНКО, 2012. – С.64 – 69.

7. **Гайлис, Ю. Д. (Дитковская, Ю. Д.)** Автоматизация проектирования технологических режимов получения проволоки из сплавов золота для производства ювелирных цепей / Ю.Д.Гайлис // Интеллектуальный потенциал XXI века: ступени познания: сб. материалов XIII Молодежной научно-практической конференции/Под общ.ред. С.С.Чернова. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2012. – С.64 – 69.

8. **Гайлис, Ю. Д. (Дитковская, Ю. Д.)** Программное обеспечение для проектирования технологических параметров производства длинномерных полуфабрикатов из белого золота 585 пробы / Ю.Д.Гайлис // Молодежь и наука: материалы конф.: в 3 т. Т. 3 / отв. За выпуск О.А.Краев. – Красноярск: Сиб.федер.ун-т, 2013. – С.195 – 200.

9. **Гайлис, Ю. Д. (Дитковская, Ю. Д.)** Development of technological parameters design software for the production of deformed semi-finished products from precious alloys / Ю.Д.Гайлис // Молодежь и наука: сб. материалов IX Всероссийской научно-технической конференции с международным участием [Электронный ресурс] . – Красноярск, 2013. Режим доступа: <http://conf.sfu-kras.ru/sites/mn2013/thesis/s082/s082-012.pdf>. – Загл. с экрана.

10. **Гайлис, Ю. Д. (Дитковская, Ю. Д.)** Исследование механических свойств литых и деформированных полуфабрикатов сплава белого золота 585 пробы / Н.Н.Довженко, С.Б.Сидельников, Э.В.Мальцев, С.В.Беляев, Э.А.Рудницкий, Е.С.Лопатина, Ю.Д.Гайлис, Е.С.Леонтьева // Цветные металлы-2013: Сб. научн. статей. – Красноярск: Версо, 2013. – С. 603 – 605.

11. **Гайлис, Ю. Д. (Дитковская, Ю. Д.)** Проектирование технологии и моделирование инструмента для производства длинномерных ювелирных изделий / Ю.Д.Гайлис // Научный потенциал мира-2013: сборник материалов IX международной научно-практической конференции. – София: «Бял ГРАД-БГ» ООД, 2013. – С. 86 – 90.

12. **Гайлис, Ю. Д. (Дитковская, Ю. Д.)** Автоматизированное проектирование технологических процессов обработки давлением металлов и сплавов в производстве ювелирных цепей / Ю.Д.Гайлис // Специальное инженерное образование – подготовка современных инженерных кадров [Электронный ресурс] : тезисы I региональной научно-технической конференции магистрантов 19 ноября 2013 года / Сиб. федерал. ун-т ; отв. за вып. Е. А. Шипилова. - Электрон. текстовые дан. (PDF, 14,8 Мб). - Красноярск : СФУ, 2013. – С.20 – 24.

13. **Gaylis, Y. D. (Ditkovskaya Y. D.)** Using of CAD and CAM systems in technology designing and tools 3D-modeling in long-length semi-finished products processes / Y.D.Gaylis, E.I.Lepp // “Applied Sciences and technologies in the United States and Europe: common challenges and scientific findings”: Papers of the 3rd International Scientific Conference (November 11–12, 2013). Cibunet Publishing. - New York, USA. 2013. – p.128 – 130.

14. **Дитковская, Ю. Д.** Моделирование инструмента для сортовой прокатки прутков из драгоценных металлов и их сплавов / Ю.Д.Дитковская // Молодежь и наука: Всероссийской научно-технической конференции с международным участием [Электронный ресурс]. – Красноярск: Сиб.федер.ун-т, 2014. – Режим доступа: http://conf.sfu-kras.ru/sites/mn2014/pdf/d03/s10/s10_006.pdf. – Загл. с экрана.

15. **Дитковская, Ю. Д.** Анализ технологии и проектирование режимов обработки для получения ювелирных цепей из сплавов драгоценных металлов / Ю.Д.Дитковская // Концепт [Электронный ресурс]: научно-методический электронный журнал. – «Современные научные исследования», Выпуск 2, 2014. – Режим доступа: <http://e-koncept.ru/2014/54925.htm>. – Загл. с экрана.