

Министерство промышленности и торговли  
Российской Федерации

ГОСУДАРСТВЕННЫЙ НАУЧНЫЙ ЦЕНТР



"Центральный научно-исследовательский институт черной металлургии им. И.П.Бардина"

ГНЦ ФГУП "ЦНИИчермет им. И.П. Бардина"

105005 г. Москва, ул. Радио, д. 23/9, стр. 2  
Тел. +7(495)777-93-01; факс +7(495)777-93-00  
e-mail: [chermet@chermet.net](mailto:chermet@chermet.net)  
[www.chermet.net](http://www.chermet.net)

УТВЕРЖДАЮ:

Генеральный директор  
Государственного научного центра  
Федерального государственного  
унитарного предприятия «Центральный  
научно-исследовательский институт  
черной металлургии им. И.П. Бардина»

В.В. Семенов

«30» 09 2010 год № 2707-1/10  
на № от

## ОТЗЫВ

ведущей организации на диссертационную работу Та Динь Суан на тему «Исследование и разработка технологического процесса получения прутков мелких сечений из биосовместимых сверхупругих сплавов нового поколения системы Ti-Zr-Nb с применением радиально-сдвиговой прокатки и ротационной ковки», представленную в экспертный совет НИТУ «МИСиС» на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.16.05 "Обработка металлов давлением"

### Актуальность темы диссертационной работы

Сверхупругие сплавы нового поколения системы Ti-Zr-Nb относятся к числу весьма перспективных биосовместимых материалов применительно к костной имплантологии. Для успешного внедрения их в практику изготовления имплантатов необходимы высококачественные длиномерные прутки (более 2000 мм) малого круглого сечения (диаметром 7-8 мм и менее). На сегодняшний промышленные технологии получения таких прутков практически отсутствуют. В связи этим тема диссертационной работы, посвященная исследованию и разработке технологического процесса получения прутков мелких сечений из биосовместимых сверхупругих сплавов с применением радиально-сдвиговой прокатки и ротационной ковки, является актуальной и весьма востребованной.

### Содержание диссертации

Представленная к защите диссертационная работа состоит из введения, четыре главы, заключения и выводов, списка литературы из 75 наименований отечественных и зарубежных авторов. Диссертация изложена на 139 страницах машинописного текста и включает 68 рисунков, 18 таблиц и 4 приложения.

**Во введении** обоснована актуальность диссертационной работы, поставлена цель, определены задачи исследования, сформулирована научная новизна, практическая значимость, указаны основные положения, выносимые автором на защиту, публикации по теме диссертации и апробация работы.

**В первой главе** представлен аналитический обзор литературы исследований в области технологических процессов и способов получения деформированных полуфабрикатов из металлов и сплавов специального назначения. Отмечены преимущества и недостатки известных способов. Отмечена перспективность технологии радиально-сдвиговой прокатки (РСП) и её сочетания с другими процессами для получения длинномерных прутков мелких сечений с мелкозернистой структурой и высокими свойствами. Определены основные задачи работы и пути их решения.

**Во второй главе** подробно описано создание деформационно-геометрической модели процесса РСП на основе развития метода траекторно-скоростного анализа с учетом цикличности процесса. В частности установлены константы очага деформации и геометрии положения валков, получены новые аналитические зависимости скорости и степени деформации в каждом цикле от параметров траектории истечения металла и настройки стан.

**В третьей главе** изложены результаты исследования радиально-сдвиговой прокатки сплава Ti-18Zr-14Nb и сочетания РСП с радиальной ковкой (РК) с использованием компьютерного моделирование в программном комплексе Qform. Исследование выполнено в сравнении с серийным сплавом ВТ-6, также используемым в имплантологии. Для определения реологических свойств сплава Ti-18Zr-14Nb был проведен эксперимент по осадке образцов диаметром 5мм высотой 10мм на испытательном комплексе горячей деформации WUMSI. В частности установлено, что новый сплав проявляет более высокую склонность к развитию неравномерности деформации по сечению заготовки, что связано с особенностями реологического поведения. Моделированием показано, сочетание РСП и РК снижает результирующую неравномерности деформации и выравнивает структуру металла.

**Четвертая глава** посвящена прямой экспериментальной отработке технологического процесса получения прутков мелких сечений из сплава нового поколения системы Ti-Zr-Nb на основе сочетания РСП и РК в опытно-промышленных условиях, а также анализу структуры и свойств полученных прутков. Радиально-сдвиговая прокатка проводилась на мини-станах 14–40 и 10–30 научно-производственного центра кафедры ОМД НИТУ «МИСиС», ротационная ковка выполнялась на машине РКМ-2. Результаты опытной отработки показали эффективность разработанной технологии и высокую степень её готовности к промышленной реализации.

**В выводах** представлены основные результаты диссертационной работы.

### **Научная новизна диссертационной работы**

Научную новизну диссертационной работы представляют следующие результаты исследования, полученные соискателем:

- построена деформационно-геометрическая модель процесса РСП, с учетом цикличности процесса деформации и геометрических факторов, включающая, в частности, новые константы очага деформации и новые зависимости скорости и степени деформации в каждом цикле от параметров траектории истечения металла и настройки стана;

- с применением компьютерного моделирования установлено влияние угла подачи, коэффициента вытяжки и температур на напряженно-деформированное состояние и другие параметры (утяжка, усилие, мощность) РСП заготовок из сплава нового поколения системы Ti-Zr-Nb в сравнении с серийным сплавом ВТ6;

- выявлены особенности развития пластической деформации в комбинированном процессе получения прутков мелких сечений из сверхупругого сплава системы Ti-Zr-Nb на основе сочетания РСП и РК;

- прямыми экспериментами на опытно-промышленном оборудовании показано, что высокотемпературная деформация с использованием сочетания РСП и РК по разработанным режимам способствует глубокой проработке структуры сплава Ti-Zr-Nb с формированием однородного по сечению мелкого зерна.

### **Практическая значимость работы**

Деформационно-геометрическая модель процесса РСП устанавливает практически важные соотношения связи скорости и степени деформации в каждом цикле с параметрами настройки стана.

Данные моделирования процесса РСП и сочетания РСП и РК позволяют прогнозировать качество получаемых прутков и определять рациональные технологические параметры.

Разработана и экспериментально опробована технология термомеханической обработки сплава системы Ti-Zr-Nb с памятью формы, позволяющей получать прутки диаметром 3-8 мм длиной более 2 м с размером зерна около 40 мкм, с благоприятным сочетанием низкого модуля Юнга ( $E = 39$  ГПа), достаточно высокой прочности ( $\sigma_v = 618$  МПа) и сверхупругого поведения при комнатной температуре для медицинского применения.

Результаты теоретических и экспериментальных исследований используются при выполнении практических и лабораторных занятий студентами бакалавриата и магистратуры на кафедре ОМД НИТУ «МИСиС».

### **Достоверность результатов и обоснованность выводов**

Достоверность полученных результатов обеспечивается аналитическими методами расчета, моделированием в программе Qform (с лицензией кафедры ОМД, НИТУ МИСиС), использованием современного испытательного комплекса горячей деформации WUMSI, качественным и количественным согласованием результатов моделирования и физических экспериментов, прямым экспериментальным опробованием разработанной технологии на опытно-промышленном оборудовании с положительным результатом, отсутствием противоречий с известными научными данными по проблематике исследования. Основные выводы диссертации обоснованы и логически вытекают из содержания работы.

#### **Рекомендации по использованию результатов диссертационной работы**

Результаты могут быть использованы в организациях, ведущих исследования по разработке новых конструкционных материалов и способов их обработки, в деятельности конструкторских и технологических бюро промышленных предприятий при разработке технологий, проектировании станов и рабочих валков радиально-сдвиговой прокатки. Деформационно-геометрическая модель и результаты конечно-элементного моделирования могут использоваться в учебном процессе при проведении практических занятий и лабораторных работ для студентов, обучающихся в бакалавриате и магистратуре.

#### **Публикации и апробация**

Результаты диссертационной работы изложены в 3 статьях в рецензируемых печатных изданиях, входящих в перечень ВАК и базы данных Scopus, ISI, доложены и обсуждены на двух международных конференциях.

#### **Замечания и вопросы по работе**

1. В работе не отражено какое соотношение степеней деформации (коэффициентов вытяжки) при РСП и РК необходимо для реализации искомого положительного эффекта - в виде получения прутков с достаточно однородным распределением по сечению размера зерна.
2. На рис. 3.38 представлена модель эволюции среднего размера зерна сплава ВТ6 в процессе деформирования, однако не указано какие металлофизические закономерности лежат в основе этого результата.
3. Нет сопоставления механических и функциональных свойств исследуемого сплава Ti-Zr-Nb, достигнутых в результате предложенной термомеханической обработки с исходным состоянием, а также сравнения с другими титановыми сплавами медицинского назначения.
4. В тексте работы имеются грамматические неточности и опечатки.

Отмеченные недостатки не снижают научной и практической ценности рассматриваемой работы.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Диссертация представляет собой законченную, самостоятельную научно-квалификационную работу на актуальную тему, в которой на основании выполненных автором исследований сформулированы теоретические и технологические решения, имеющие значение обработки давлением сплавов специального назначения. Результаты, полученные автором и изложенные в работе, имеют научную новизну и практическую значимость.

Содержание автореферата соответствует содержанию диссертации.

Диссертационная работа на тему «Исследование и разработка технологического процесса получения прутков мелких сечений из биосовместимых сверхупругих сплавов нового поколения системы Ti-Zr-Nb с применением радиально-сдвиговой прокатки и ротационной ковки» соответствует требованиям «Положения о присуждении ученых степеней» НИТУ «МИСиС», предъявляемым к кандидатским диссертациям, а её автор, **Та Динь Суан**, заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.16.05 - «Обработка металлов давлением».

Диссертационная работа **Та Динь Суан** «Исследование и разработка технологического процесса получения прутков мелких сечений из биосовместимых сверхупругих сплавов нового поколения системы Ti-Zr-Nb с применением радиально-сдвиговой прокатки и ротационной ковки» заслушана и обсуждена на заседании научно-технического совета Научного центра качественных сталей ГНЦ ФГУП «ЦНИИчермет им. И. П. Бардина» «30» сентября 2020г. (протокол № 5).

Отзыв составил:

Главный научный сотрудник, д.т.н.



Никулин А.И.

Подпись руки Никулина А.И. заверяю:

Ученый секретарь



Москвина Т.П.

Данные о ведущей организации:

Государственный научный центр Федеральное государственное унитарное предприятие «Центральный научно-исследовательский институт черной металлургии им. И.П. Бардина» (ГНЦ ФГУП «ЦНИИчермет им. И.П. Бардина») 105005, Москва, ул. Радио 23/9, стр. 2, тел.: +7 (495) 777-93-01, эл. почта: [chermet@chermet.net](mailto:chermet@chermet.net)