

**Национальная академия наук Кыргызской Республики
ИНСТИТУТ МАШИНОВЕДЕНИЯ**

**Министерство образования и науки Кыргызской Республики
КЫРГЫЗСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ им. И. Раззакова**

Диссертационный совет Д 05.16.523

На правах рукописи

УДК 621.73.01

Нурахметова Кульзира Кумаргалиевна

**РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ МОДЕЛИРОВАНИЯ ПРОЦЕССОВ
ГОРЯЧЕЙ ШТАМПОВКИ ОСЕСИММЕТРИЧНЫХ ПОКОВОК ИЗ
ТИТАНОВЫХ СПЛАВОВ**

05.02.08 –«Технология машиностроения»

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Бишкек- 2017

Работа выполнена в **Кыргызском государственном техническом университете имени И.Раззакова (КГТУ)**

Научный руководитель доктор технических наук, профессор
Машеков Серик Акимович

Официальные оппоненты: доктор технических наук, профессор
Абсадыков Бахыт Нарикбаевич

доктор технических наук, доцент
Рагрин Николай Алексеевич

Ведущая организация: Казахский национальный аграрный
университет (г. Алматы, проспект
Абая 8)

Защита состоится «12» мая 2017 года в 14.00 на заседании диссертационного совета Д.05.16.523 при Институте машиноведения Национальной академии наук Кыргызской Республики, Кыргызском государственном техническом университете им. И.Раззакова Министерства образования и науки Кыргызской Республики по адресу: 720055, г. Бишкек, ул. Скрябина, 23.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Института машиноведения Национальной академии наук Кыргызской Республики и на сайте <http://imash.kg/index.php/soiskatel-nurakhmetova-kulzira-nurakhmetova>.

Отзыв на автореферат в двух экземплярах, с подписью, заверенной гербовой печатью, просим направлять по адресу: 720055, г. Бишкек, ул. Скрябина, 23, Институт машиноведения НАН КР, диссертационный совет Д.05.16.523 или по e-mail: imash.dissovet@gmail.com.

Автореферат разослан « 10 » апреля 2017 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета
Д.05.16.523, к.т.н., с.н.с



Квитко С.И.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы диссертации. В настоящее время используемая технология изготовления поковок из титановых сплавов с мелкозернистой структурой характеризуется малой производительностью, большой трудоемкостью и высокими материальными затратами. Для получения поковок с мелкозернистой структурой по всему его сечению применяется многократная осадка и вытяжка (или всесторонняя ковка (ВСК)) при температурах выше и ниже температуры полиморфного превращения ($T_{\text{пп}}$). При этом степень деформации в ($\alpha+\beta$)-области (ниже $T_{\text{пп}}$) не превышает 25 %, а в β -области (выше $T_{\text{пп}}$) – 40 %. При подготовке структур заготовок из титановых сплавов для дальнейшей обработки в основном используют плоские бойки.

Основным отрицательным фактором, влияющих на уровень и анизотропию свойств материала поковок, отштампованных по существующей технологии с использованием предварительной многократной осадки и вытяжки, является неравномерность распределения степени деформации сдвига в разных частях заготовки.

Таким образом, изучение основных закономерностей распределения накопленной деформации и формирования структуры и свойств при дробной ковке и штамповке поковок из титановых сплавов, усовершенствование моделей структурообразования титановых сплавов имеет большое научное и практическое значение. Использование результатов этих исследований, создание новых технологических режимов является актуальной задачей для кузнечно-штамповочного производства.

Работа выполнена в рамках госбюджетной тематики в соответствии с координационным планом научно-исследовательских работ Казахского национального исследовательского технического университета имени К.И. Сатпаева.

Цель и задача исследования. Целью работы является разработка технологии производства осесимметричных поковок с мелкозернистой структурой путем создания методики моделирования процессов горячейковки и объемной штамповки.

Для достижения поставленной цели решались следующие основные задачи:

- изучение закономерности распределения напряженно-деформированного состояния (НДС) при штамповке поковок типа дисков в инструменте с изменяющейся формой;
- за счет вариации режимов деформирования разработка новых технологий, обеспечивающих улучшение качества поковок из титановых сплавов;

- исследование основных закономерностей формирования структур и механических свойств осесимметричных поковок из титановых сплавов.
- совершенствование методики расчета размеров зерен поковок из титановых сплавов в условиях горячейковки и штамповки;
- совершенствование методики моделирования процессов горячейковки и штамповки осесимметричных поковок из титановых сплавов;
- разработка режимов получения осесимметричных поковок с мелкозернистой структурой с высоким уровнем механических свойств;
- реализация компьютерного моделирования процесса горячейковки с использованием программного комплекса «MSC.SuperForge».

Основные положения, выносимые на защиту:

1. Установлен характер влияния комбинированной обработки в различных по форме бойках и штамповки поковок типа дисков и лопаток из титановых сплавов на распределение накопленной деформации и формирование структуры титанового сплава.

2. Выявлены закономерности распределения НДС и температуры при штамповке поковок в новом по конструкции инструменте с изменяющейся формой, позволяющие получить равномерное распределение накопленной деформации в высаживаемой части заготовки и уменьшить энергосиловые параметры штамповки.

3. Установлена зависимость величины зерна титановых сплавов от основных технологических параметровковки и штамповки, позволяющие производить поковки типа дисков и лопаток из титановых сплавов требуемого качества.

4. Разработана методика моделирования процессов горячейковки осесимметричных поковок из титановых сплавов с использованием программного комплекса «MSC.SuperForge, позволяющая изучить НДС заготовок на различных этапах обработки.

5. Разработаны четыре технологических режима изготовления поковок типа «лопатка», использующие структурные принципы повышения механических свойств.

Научная новизна работы:

– показано, что при новой комбинированной обработке поковок различных по форме бойках и штамповке, в отличие от известных технологий, накопленная деформация распределяется равномерно по сечению заготовки и обеспечивает формирование мелкозернистой структуры;

- для процесса штамповки поковок в новом по конструкции инструменте с изменяющейся формой исследованы закономерности распределения НДС и температуры, позволяющие моделировать равномерное распределение накопленной деформации в высаживаемой части заготовки и уменьшение усилий при обработке;

- установлена взаимосвязь между величиной зерна титанового сплава ВТ6 от технологических параметровковки и штамповки для поковок типа дисков и лопаток;

- методика моделирования процессов горячей штамповки осесимметричных поковок из титановых сплавов с использованием программного комплекса «MSC.SuperForge» разработана для моделирования новых совмещенных процессовковки и горячей штамповки.

- впервые предложены принципы повышения механических свойств поковок из титановых сплавов, основанные на получении их мелкозернистой структурой комбинированными способами обработки, реализованные в четырех технологических процессах изготовления.

Практическая значимость работы заключается в следующем

- в результате проведенных исследований были усовершенствованы технологические режимы обработки титановых поковок для получения их мелкозернистой структуры с величиной зерна 0,21 – 0,43 мкм,

- разработаны рекомендации по режимам обработки для технологических процессов изготовления осесимметричных поковок из титановых сплавов в новом по конструкции инструменте с изменяющейся формой, способствующие получению изделия требуемой формы с минимальным количеством дефектов и стабильным уровнем механических свойств.

- разработаны рациональные температурно-деформационные режимы для получения изделий сложной формы из ультрамелкозернистой (УМЗ) заготовки из титанового сплава ВТ6 методом штамповки с целью повышения механических свойств изделий.

- на основе предложенных четырех режимов обработки осесимметричных поковок из титановых сплавов разработаны совмещенные технологии изготовления поковок типа «лопатка», обеспечивающие достижение повышенных механических свойств в сплаве ВТ6 и снижение трудоемкости изготовления.

Результаты экспериментальных исследований, проведенные на оборудовании лабораторий Кыргызского государственного технического университета имени И. Раззакова и Казахского национального исследовательского технического университета им. К.И. Сатпаева переданы предприятиям, которые заинтересованы в новых видах технологии изготовления поковок из титановых сплавов.

Экономическая значимость полученных результатов заключается в том, предложенный способ изготовления дисков из титановых сплавов позволяет повысить качество поковок, при этом снижается трудоемкость на 20 – 25%, что позволяет 2 – 3 раза снизить расходы на освоение производства при одновременной гарантии их качества.

Личный вклад аспиранта в получении результатов. Основные теоретические и практические результаты, изложенные в диссертации, получены автором лично, используя в литературе имеющиеся сведения, автором самостоятельно проведен анализ полученных данных.

Апробация результатов исследования. Материалы диссертационной работы докладывались и обсуждались на международной научно-технической конференции: «Молодежь в инновационных исследованиях» (г. Бишкек, 2015), международной научно-практической конференции «Современные научно-практические достижения» (г. Кемерово, 2015).

Публикации. Основные результаты диссертационной работы опубликованы в 12 научных трудах, в том числе 4 статьи в международных журналах, входящих в базу индексирования научных публикации Scopus, и 6 статей в журналах, рекомендованных ВАК КР.

Структура и объем диссертации. Диссертационная работа состоит из введения, 4-х глав, заключения, списка использованных источников, включающего 186 наименования, и 1-го приложения. Объем диссертации – 150 страницы машинописного текста, включающего 3 таблицы, 78 рисунков.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении показана актуальность и новизна темы диссертации, сформулирована цель работы, поставлены задачи исследования и изложены положения, выносимые на защиту.

В первой главе выполнен обзор работ, посвященных исследованиюковки и штамповки стали и сплавов. Из приведенных в литературном обзоре данных видно, что в настоящее время ведутся многочисленные исследования в направлении создания новых способовковки, штамповки и конструкций инструментов. Однако, многие инструменты не находят широкого применения. Это объясняется многими причинами, в частности, сложностью изготовления многих инструментов, трудностью установки его на оборудовании, высокими затратами на изготовление и т.д.

Во второй главе, используя программный комплекс «MSC.SuperForge», выполнено компьютерное моделирование процесса горячей высадки круглой заготовки в штампе с изменяющей формой рабочей поверхности (ИФРП). Моделирование исследуемого процесса осуществлялось следующим образом: создавались геометрические модели исходной заготовки и инструмента; наносилась сетка конечных элементов на заготовку; задавались реологические свойства заготовки; задавалась начальная температура и коэффициент трения; с достаточной точностью производился расчет НДС.

Штамповка в штампе с ИФРП осуществляется следующим образом: исходную заготовку устанавливают между нижним штампом и криволинейно-выпуклым элементом верхнего штампа. При движении верхнего штампа вниз происходит пластическая деформация заготовки и упругая деформация криволинейно-выпуклого элемента верхнего штампа. Изгиб криволинейно-выпуклого элемента позволяет с малыми затратами энергосиловых параметров произвести штамповку.

Используя результаты численного моделирования, установлено, что: в начальном периоде высадки в штампе с ИФРП максимальные по величине интенсивности напряжения и деформации (ИНиД) сосредотачиваются в зонах контакта штампов и заготовки. С повышением единичного обжатия зоны с локализацией ИНиД перемещаются от контактной поверхности к периферийным зонам высаживаемой части заготовки (рисунок 1). Во время высадки заготовки в штампе с ИФРП интенсивность скорости деформации локализуются в зоне контакта заготовки с инструментом; в процессе штамповки в слоях с максимальными величинами ИНиД увеличивается температура; при штамповке в

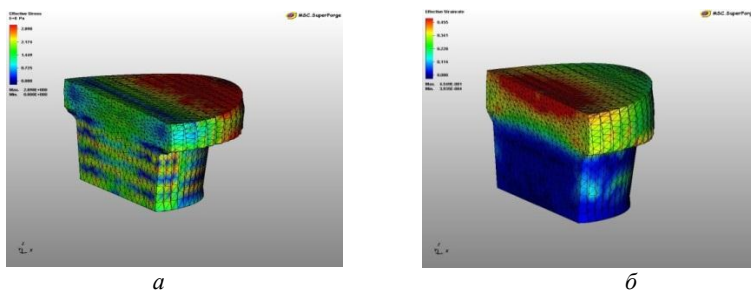


Рисунок 1 - Картина распределения интенсивности напряжений (а) и деформации (б) в заготовке при высадке в инструменте с изменяющей формой при $t = 750\text{ }^{\circ}\text{C}$

инструменте с ИФРП накопленная деформация распределяется равномерно по объему заготовки; усилие штамповки в инструменте с ИФРП меньше, чем при высадке в плоском инструменте.

В третий главе предлагаются следующие четыре совмещенных технологии для выпуска качественных поковок типа «лопатка»:

первая технология: нагрев, протяжка в плоских и комбинированных бойках в интервале температур 850-630 °С, высадка замковой части в инструменте с ИФРМ при температуре 800-630 °С и изотермическая штамповка (ИЗШ) при температуре 650 °С.

вторая технология: нагрев, прокатка в гладких валках в интервале температур 950-1000 °С, осадка в выпуклых бойках в интервале температур 750-800 °С и ИЗШ при температуре 650 °С.

третья технология: нагрев заготовки в интервале температур 630-850 °С, протяжка в плоских бойках и на радиально-ковочной машине (РКМ), осадка в выпуклых бойках в интервале температур 750-800 °С и ИЗШ при температуре 650 °С.

четвертая технология:

а) нагрев слитка до температуры выше температуры плавления $T_{\text{пл}}$ и протяжка в плоских бойках с относительной подачей $S = l/D = 0,8$ (где l – длина очага деформации; D – диаметр заготовки) по схеме «круг - круг» с диаметра 840 мм до диаметра 500 мм;

б) нагрев заготовки до температуры ниже $T_{\text{пл}}$ и протяжка в комбинированных бойках (верхний – плоский, нижний – вырезной) с относительной подачей $S = 0,6$ по схеме «круг - круг» с диаметра 500 мм до диаметра 400 мм;

в) отжиг при температуре выше $T_{\text{пл}}$;

г) нагрев промежуточной заготовки до температуры ниже $T_{\text{пл}}$ и протяжка с диаметра 400 мм до диаметра 135 мм по схеме «круг - круг» на радиально-ковочной машине (РКМ) фирмы GFM;

д) отрезка из прутка мерной заготовки, ее обточка на соответствующую длину и диаметр, ультразвуковой контроль на отсутствие дефектов;

е) нагрев промежуточной заготовки до температуры ниже $T_{\text{пл}}$ и ковка мерной заготовки на ступенчатый профиль на РКМ;

ж) высадка части ступенчатой заготовки в инструменте с изменяющейся формой на гидравлическом прессе (ГП) усилием 10 МН;

з) расплющивание прутковой заготовки на бесшаботном молоте;

и) скручивание промежуточной заготовки на ГП усилием 10 МН;

к) окончательная штамповка промежуточной заготовки на бесшаботном молоте и получение турбинных лопаток с точными размерами.

Для расчета НДС совмещенных процессов использована специализированная стандартная программа MSC.Super Forge.

Условие разрушения заготовок из титановых сплавов, т.е. степень использования ресурса пластичности (СИРП), рассчитана по формуле:

$$\psi = \int_0^{\varepsilon} \frac{H(\tau)d\tau}{\Lambda_p[k_{\text{жс}}(\tau)]} = \frac{\Lambda}{\Lambda_p[k_{\text{жс}}(\varepsilon)]}, \quad (1)$$

где Λ_p – предельная пластичность металла, зависящая от напряженного состояния; $\Lambda = \int_0^{\varepsilon} H(\tau)d\tau$ – степень деформации сдвига; $k_{\text{жс}} = \sigma/T$ – коэффициент жесткости схемы напряженного состояния (КЖСНС); T – интенсивность касательного напряжения, МПа; σ – среднее напряжение, МПа; $H(\tau)$ – интенсивность скорости деформации сдвига, с⁻¹.

Степень деформации сдвига за весь этап деформирования рассчитана по формуле: $\Lambda = \Sigma G_i$, где G_i – интенсивность деформаций.

Для исследования эволюции микроструктуры использована модель глобуляризации титанового сплава ВТ6 по Джонсону-Мейлу-Аврами-Колмогорову. По данной модели произведен расчет объемной доли и средний размер глобулярных зерен титанового сплава ВТ6 и проведен анализ НДС и эволюции микроструктуры поковки, изготовленной по *первой технологии*.

На основе компьютерного моделирования установлено, что протяжка круглой заготовки в плоских бойках с относительными подачами $S = 0,6 \dots 1,0$ приводит на начальном этапе первого обжатия к локализации ИНиД в поверхностных зонах заготовки; увеличение обжатия и относительной подачи ($S=1,0$) приводит к локализации ИНиД по ковочно-му кресту; протяжка с относительной подачей 0,6 и 0,8 позволяет локализовать максимальные по величине ИНиД в зонах, располагающихся между центром и поверхностью заготовки, а также в поверхностной зоне заготовки, соответственно; при протяжке в первом проходе с относительными подачами 1,0 большая часть объема геометрического очага деформации (ГОД) располагается в зонах затрудненной деформации (ЗЗД), а при протяжке с относительными подачами 0,6...0,8 сравнительно малая часть объема ГОД располагается в ЗЗД; протяжка заготовки с единичными с обжатиями 15 %, кантовками на 30° и относительными подачами 0,6, 0,8 и 1,0 приводят к локализации ИНиД в поверхностных зонах заготовки, при этом увеличение обжатия до 20 % позволяет перенести акцент ИНиД от поверхностной зоны к центру заготовки; при протяжке с кантовками 30° зоны с максимальными величинами ИНиД разворачиваются по очагу деформации, что приводит интенсивному

развитию макросдвиговых деформаций, т.е. к интенсивному уменьшению размеров зерен в структуре металла; расположение максимальных по величине ИНиД в зоне ковочного креста приводит к опасности разрушения металла в этой зоне, а также к недостаточному измельчению структуры в других зонах заготовки; протяжка круглых заготовок в комбинированных бойках в первом проходе без кантовок приводит к увеличению ИНиД в зонах, прилегающих к участку контакта инструмента с заготовкой, при этом в свободных от нагрузки поверхностных зонах заготовки возникают малые по величине деформации; протяжка круглой заготовки в комбинированных бойках в первом проходе с относительной подачей $S = 0,6$ приводит на начальном этапе обжатий к локализации ИНиД в поверхностном слое заготовки. С увеличением обжатия зоны локализации ИНиД переносятся от поверхностных слоев к зонам, располагающимся между центром и поверхностью заготовки; протяжка в комбинированных бойках в первом проходе с большими величинами обжатия и относительной подачи $S = 0,8$ приводит к расширению зон с максимальными величинами ИНиД, при этом максимальные по величине ИНиД локализуются под плоским бойком; протяжка в комбинированных бойках в первом проходе с относительной подачей $S = 1,0$ приводит к переносу зон с максимальными величинами ИНиД от участка соприкосновения заготовки с плоским бойком к участкам контакта заготовки с вырезным бойком; в процессе протяжки в комбинированных бойках с кантовкой 30° и относительной подачей 0,6, 0,8 и 1,0 интенсивность напряжений и деформаций локализуется на участках контакта металла с инструментом. Однако между участками соприкосновения инструмента с заготовкой возникают средние по величине ИНиД.

Рассчитана степень деформации сдвига Λ для ряда технологических режимов протяжки в плоских и комбинированных бойках. Анализ эпюр изменения Λ показал, что при протяжке с относительной подачей $S = 0,8$ и кантовкой 30° степень деформации сдвига имеет максимальные значения в центральных зонах заготовки. При этом Λ в поверхностных слоях имеет наименьшие значения.

Результаты расчета Λ показали, что при протяжке в комбинированных бойках по наиболее рациональному режиму (протяжка с относительными подачами 0,6 и углами кантовки 30°) Λ имеет наибольшее значение на участках, прилегающих к поверхности заготовки, в то время как в центральной зоне заготовки – минимальную величину.

Таким образом, результаты расчета Λ показали, что более равномерное распределение Λ по сечению деформируемой заготовки можно достичь при совмещенном способе деформирования. Совмещенный процесс включает протяжку в плоских бойках с углом кантовки 30° и

относительной подачей 1,0 на первом этапе деформирования и ковку в комбинированных бойках с углом кантовки 30° и относительной подачей 0,6 на втором этапе деформирования. Таким процессомковки можно изготовить поковку с мелкозернистой структурой с высокими механическими свойствами.

Анализ картин распределения ИНиД по сечению лопатки, полученной при штамповке высаженной заготовки, показывает, что из-за возникновения на контактной поверхности больших по величине коэффициентов трения, снижается ИНиД в поверхностных зонах замка лопатки. В очаге деформации внутренние слои движутся немного быстрее внешних, и происходит незначительное затягивание металла в центре очага к перу лопатки в осевом направлении. Наибольшая ИНиД наблюдается в месте перехода от очага деформации к конической полости, что вызвано значительным сужением матрицы. Наибольшая ИНиД наблюдается также в нижней части пера, что вызвано выдавливанием металла в коническую полость матрицы.

На основе расчета КЖСНС и СИРП установлено, что в процессе протяжки заготовок из титанового сплава ВТ6 в плоских и комбинированных бойках наибольшая величина КЖСНС и СИРП возникает в свободных от нагрузки поверхностных зонах заготовки; в процессе высадки заготовок в штампе с ИФРП и штамповке лопаток из титанового сплава ВТ6 наибольшая величина КЖСНС и СИРП сосредотачивается в центральных зонах высаживаемой части заготовки; при протяжке в плоских и комбинированных бойках, высадке в штампе с ИФРП и штамповке лопаток СИРП не превышает единицы, что показывает отсутствие трещин в материале заготовки при обработке совмещенным процессом.

Установлено, что после протяжки в плоских бойках доля глобулярных зерен по сечению заготовки составляет 0,33...0,73. После протяжки в комбинированных бойках доля глобулярных зерен по сечению заготовки составляет 0,85...0,96. Таким образом, из-за накопления Λ и умеренной скорости деформации по сечению заготовки почти полностью проходит глобуляризация зерен.

Показано, что наиболее интенсивное уменьшение среднего размера глобулярного зерна происходит в процессековки в комбинированных бойках (до 1,22...1,32 мкм) и при высадке (до 0,76...0,83 мкм). После изотермической штамповки образуется мелкозернистая однородная структура со средним размером глобулярного зерна 0,51...0,62 мкм. Полученная мелкозернистая микроструктура способствует повышению пластичности, ударной вязкости, прочности.

Выполнен анализ НДС и эволюции микроструктуры поковки из титанового сплава ВТ6, изготовленной по *второй технологии*. Компью-

терным моделированием установлено, что при прокатке в гладких валках в начальный момент прокатки интенсивность деформации (Γ) и напряжений (σ_i) локализуются в зонах захвата металла валками. С увеличением времени деформирования (вторая стадия) максимальные по величине σ_i и Γ сосредотачиваются на краях деформируемой заготовки. При этом в центре заготовки величины σ_i и Γ повышаются; на следующих стадиях прокатки акцент σ_i и Γ переносится от края и центра заготовки в зону контакта валка с заготовкой. Такое распределение ИНиД по стадиям прокатки приводит к более равномерному распределению суммарного Γ и σ_i по очагу деформации; в процессе прокатки в гладких валках температура в зонах контакта «горячий металл – валки» снижается; в начальной стадии осадки в выпуклых бойках σ_i и Γ локализуются больше в контактных зонах заготовки с инструментом; увеличение обжатия приводит к переносу акцента σ_i и Γ от контактной поверхности к центру и периферии заготовки; в процессе осадки в выпуклых бойках в зонах локализации деформации повышается температура; характер скорости течения металла аналогичен развитию интенсивности деформации во времени.

Анализ эпюр изменения Λ по сечению заготовки при прокатке в гладких валках показывает, что при деформировании с обжатием $\varepsilon = 20\%$ степень деформации сдвига имеет наибольшее значение в поверхностной зоне заготовки, а при осадке в выпуклых бойках – в центральных зонах, прилегающих к вертикальной оси заготовки и на участках, прилегающих к зону контакта «горячий металл – инструмент».

На основе расчета КЖСНС и СИРП установлено, что при прокатке заготовок из титанового сплава ВТ6 в гладких валках наибольшая величина КЖСНС и СИРП возникает в периферийных зонах заготовки; в процессе осадки заготовок в выпуклом инструменте и штамповке лопаток из титанового сплава ВТ6 наибольшая величина КЖСНС и СИРП сосредотачивается в центральных и периферийных зонах осаживаемой или прессуемой части заготовки; при прокатке в гладких валках, осадке в выпуклом инструменте и штамповке лопаток из титанового сплава СИРП не превышает единицы, что показывает отсутствие нарушения сплошности материала заготовки в совмещенных процессах обработки металлов давлением (ОМД).

Показано, что после прокатки в гладких валках доля глобулярных зерен по сечению заготовки составляет 0,46...0,74. При этом из-за большой величины Λ в поверхностных зонах и зонах, прилегающих к поверхностным зонам заготовки, почти полностью проходит глобуляризация зерен. Однако из-за малой величины Λ в центральных зонах заготовки глобуляризация зерен проходит не полностью.

После осадки в выпуклых бойках доля глобулярных зерен по сечению заготовки составляет 0,85...0,98, т.е. из-за увеличения Λ и умеренной скорости деформации по сечению заготовки почти полностью проходит глобуляризация зерен.

В процессе предварительной и окончательной изотермической штамповки зоны затрудненной деформации получают достаточную деформацию для того, чтобы структура полностью превратилась из ламеллярной в глобулярную.

Установлено, что наиболее интенсивное уменьшение среднего размера глобулярного зерна происходит в процессе прокатки в гладких валках (до 6,23...4,11 мкм) и при осадке в выпуклых бойках на гидравлическом прессе (до 2,51...1,72 мкм). После изотермической штамповки на кривошипном горячештамповочном прессе (КГШП) образуется мелкозернистая однородная структура со средним размером глобулярного зерна 1,51...0,62 мкм. Такая мелкозернистая микроструктура способствует повышению пластичности, ударной вязкости, прочности.

Необходимо отметить, что предварительное фасонирование исходной листовой заготовки в выпуклых бойках позволяет действенным методом регулировать ИНиД в процессе изотермической штамповки. Применение конусообразной заготовки позволяет не только качественно перераспределить материал заготовки перед штамповкой, но и взаимобалансировать сдвиговые усилия в штампе, тем самым избавиться от специальных тормозящих обойных канавок и увеличить ресурс штампа.

Выполнен анализ НДС и эволюции микроструктуры заготовки из титанового сплава ВТ6, изготовленной по *третьей технологии*. На основе полученных результатов компьютерного моделирования установлено, что в первом проходе протяжки круглой заготовки на РКМ интенсивность напряжения и деформации сначала локализуются в поверхностных зонах заготовки, а при увеличении обжатия из-за возникновения сил трения наибольшая величина ИНиД появляется в средней части радиуса заготовки; в первом проходе в прилегающих к инструменту зонах заготовки и в зонах, располагающихся определенно ниже зоны соприкосновения плоского инструмента с заготовкой, появляются наибольшие по величине σ_i и Γ . Протяжка на РКМ с кантовкой на 30° и малыми величинами обжатия позволяет сосредоточить σ_i и Γ в зоне контакта металла с инструментом, а при увеличении обжатия зоны с наибольшими величинами σ_i и Γ переносятся ближе к центру заготовки, при этом от поверхности до середины радиуса σ_i и Γ распределяется сравнительно однородно; в процессе протяжки на РКМ в зонах локализации ИНиД температура увеличивается, а в зонах контакта инструмента с заготовкой – понижается; при осадке в выпуклых бойках с малыми

обжатиями σ_i и Γ локализуются в контактных зонах заготовки с инструментом; увеличением единичного обжатия ИНиД еще больше сосредотачиваются в контактной зоне заготовки, при этом величина Γ , σ_i повышается в центре и периферийной зоне заготовки; осадка в выпуклых бойках приводит к повышению температуры в зонах локализации деформации; закономерности распределения скорости течения металла по времени соответствуют развитию Γ во времени.

Результаты расчета Λ показали, что при протяжке в плоских бойках с кантовкой 30° и относительной подачей $S = 0,8...1,0$ степень деформации сдвига имеет максимальное значение в прилегающих к инструменту зонах, а также в центральных слоях заготовки. При этом в поверхностных участках Λ имеет минимальные значения.

Анализ картин изменения Λ по сечению заготовки показывает, что при протяжке на РКМ с углом кантовки 45° степень деформации сдвига имеет наибольшую величину на участках, прилегающих к поверхности заготовки, в то время как в центральной зоне заготовки – наименьшую величину.

Следовательно, при ковке на РКМ интенсивность напряжения и деформации, а так же Λ локализуются в поверхностных и средних зонах заготовки. Поэтому для изготовления поковки с однородной структурой, необходимо использовать совмещенный способ ковки РКМ с ковкой в плоских бойках, позволяющих совместно равномерно измельчить структуру исходной заготовки.

Проанализировав закономерности изменения Λ по сечению заготовки при осадке в выпуклых бойках, установлено, что степень деформации сдвига имеет максимальное значение в поверхностных зонах заготовки.

На основе расчета КЖСНС и СИРП установлено, что: в процессе протяжки заготовок из титанового сплава ВТ6 в плоских бойках наибольшая величина КЖСНС и СИРП наблюдается в свободной от нагрузки поверхностных зонах заготовки; при протяжке заготовок из титанового сплава ВТ6 на РКМ наибольшая величина КЖСНС и СИРП возникает в центральных зонах заготовки; в процессе осадки заготовок в выпуклом инструменте лопаток из титанового сплава ВТ6 наибольшую величину КЖСНС и СИРП имеют периферийные зоны осаживаемой заготовки; при протяжке в плоских бойках и на РКМ, а также при осадке в выпуклом инструменте и штамповке лопаток СИРП не превышает единицы, что показывает отсутствие нарушения сплошности материала заготовки в совмещенных процессах ОМД.

Установлено, что после протяжки в плоских бойках доля глобулярных зерен по сечению заготовки составляет $0,32...0,83$. При этом из-

за большой величины Λ в центральных зонах и зонах, прилегающих к центральным зонам заготовки, почти полностью проходит глобуляризация зерен. Однако, из-за малой величины Λ в поверхностных зонах заготовки не полностью проходит глобуляризация зерен.

После протяжки на РКМ и осадки в выпуклых бойках доля глобулярных зерен по сечению заготовки составляет 0,92...0,99, т.е. из-за равномерного распределения Λ и умеренной скорости деформации по сечению заготовки почти полностью проходит глобуляризация зерен.

В процессе ИЗШ зоны затрудненной деформации получают достаточную деформацию для превращения в глобулярную структуру.

Наиболее интенсивное уменьшение среднего размера глобулярного зерна происходит в процессе протяжки в плоских бойках (до 3,93...9,43 мкм) и РКМ (до 2,83...4,31 мкм) и при осадке в выпуклых бойках на гидравлическом прессе (до 1,62...1,92 мкм). После изотермической штамповки на КГШП образуется мелкозернистая однородная структура со средним размером зерна 0,52...0,73 мкм.

Проведен анализ НДС и эволюции микроструктуры поковок из титанового сплава ВТ6, изготовленных по *четвертой технологии*. Результаты исследования НДС при протяжке в плоских, комбинированных бойках и РКМ совпали с вышеприведенными данными.

Установлено, что после протяжки в плоских бойках доля глобулярных зерен по сечению заготовки составляет 0,31...0,51. После протяжки в комбинированных бойках и отжига при температуре выше $T_{\text{пп}}$ доля глобулярных зерен по сечению заготовки составляет 0,63...0,82. Таким образом, из-за увеличения Λ при умеренной скорости деформации и отжига при температуре выше $T_{\text{пп}}$ по сечению заготовки почти полностью проходит глобуляризация зерен.

В процессе протяжки на РКМ, высадке и изотермической штамповке структура полностью превратилась в глобулярную.

Наиболее интенсивное уменьшение среднего размера глобулярного зерна происходит после протяжки в комбинированных бойках, отжига и протяжки на РКМ (до 1,24...2,14 мкм), а также при высадке на гидравлическом прессе (до 1,08...1,25 мкм). После изотермической штамповки на КГШП образуется мелкозернистая однородная структура со средним размером глобулярного зерна 0,51...0,74 мкм.

Таким образом, ковкой и изотермической штамповкой на КГШП можно получить турбинные лопатки с мелкозернистой однородной микроструктурой. Данная структура способствует повышению пластичности, ударной вязкости, прочности получаемой деталей.

В четвертой главе проведено исследование НДС совмещенных процессов штамповки дисков с оценкой ресурса пластичности деформи-

руемого сплава. В данной главе исследовано НДС заготовки при протяжке прутков в вырезных бойках с применением программы MSC.SUPERFORGE.

На основе результатов компьютерного моделирования установлено, что при протяжке в вырезных бойках ИНиД имеют наибольшие значения на участках, близлежащих к участку контакта инструмента с заготовкой и в центральных зонах поковки. При этом в свободных от нагрузки поверхностных участках заготовки наблюдаются наименьшие по величине ИНиД. При протяжке в вырезных бойках на оси симметрии вырезных бойков имеются зоны с минимальной по величине ИНиД; с увеличением обжатия происходит расширение зон локализации ИНиД.

Анализ эпюр изменения Λ по сечению заготовки показал, что при протяжке в вырезных бойках равномерное распределение Λ в периферийных и центральных зонах заготовки достигается при угле кантовки $90^\circ - 45^\circ - 30^\circ - 90^\circ$. При этом протяжка с относительной подачей $S = 0,6$ приводит к увеличению Λ в периферийных и близлежащих к поверхности зонах заготовки. Следует отметить, что в центральных слоях заготовки Λ имеет наименьшие значения.

Таким образом, результаты расчета показали, что более равномерное распределение Λ по сечению деформируемой заготовки можно достичь при совмещенном способе деформирования. Совмещенный способ деформирования предусматривает следующие три этапа обработки: протяжка в плоских бойках при температуре 850°C с углом кантовки 30° и относительной подачей 1,0; ковка в вырезных бойках с углом кантовки $90^\circ - 45^\circ - 30^\circ - 90^\circ$ при температуре 850°C с относительной подачей 0,6; штамповка в закрытом штампе при температуре 650°C .

Анализ картин распределения ИНиД по сечению поковок типа диски (рисунок 2) показывает, что из-за сложности конструкции штампа, и тем самым увеличения коэффициента трения, снижается ИНиД в поверхностных зонах поковки. В очаге деформации внутренние слои поковки движутся немного быстрее, чем внешние, что приводит к увеличению величины Λ в центральных зонах поковки типа диск.

На основе расчета КЖСНС и СИРП установлено, что в процессе протяжки заготовок из титанового сплава ВТ6 в плоских и вырезных бойках наибольшая величина КЖСНС и СИРП возникает в свободных от нагрузки поверхностных зонах заготовки. При протяжке в плоских и вырезных бойках и штамповке дисков из титанового сплава ВТ6 СИРП не превышает единицы, что показывает отсутствие нарушения сплошности материала заготовки в совмещенных процессах ОМД.

Показано, что после протяжки в плоских и вырезных бойках доля глобулярных зерен по сечению заготовки составляет, соответственно,

0,33...0,73 и 0,93...0,99, т.е. из-за увеличения Λ по сечению заготовки почти полностью проходит глобуляризация зерен.

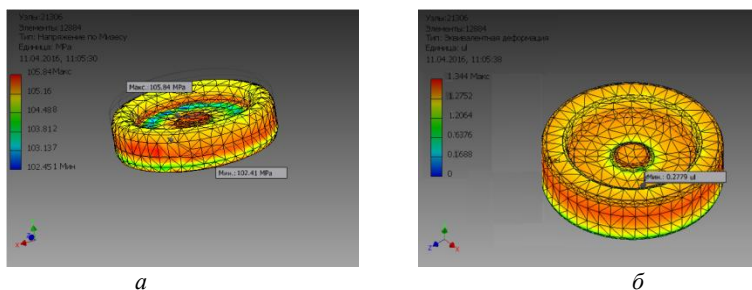


Рисунок 2 - Картина распределения интенсивности напряжений (а) и деформаций (б) по сечению поковки типа диска при $t = 650^{\circ}\text{C}$

Наиболее интенсивное уменьшение среднего размера глобулярного зерна происходит в процессековки в вырезных бойках (до 3,54...6,54 мкм). После изотермической штамповки образуется мелкозернистая однородная структура со средним размером глобулярного зерна 1,52...4,29 мкм. Данная микроструктура способствует повышению пластичности, ударной вязкости, прочности.

Приводятся результаты лабораторного опробования разработанной технологии. Для проведения лабораторного эксперимента использована заготовка размером $\varnothing 90 \times 220$ мм из титанового сплава марки ВТ1-0. Исходная заготовка протягивалась в плоских бойках с единичным обжатием 20% и относительной подачей 0,8 – 1,0 по схеме «круг-круг» до диаметра 70 мм при температуре 850°C на винтовом прессе. Полученная заготовка подогревалась до температуры 850°C и протягивалась в комбинированных бойках с единичным обжатием 20% и относительной подачей 0,5 – 0,6 по схеме «круг-круг» до диаметра 50 мм. Откованная заготовка разрезалась на мерные заготовки. Далее полученные ковкой мерные заготовки нагревались до температуры 650°C и производилась штамповка поковки типа диск.

Исследование структуры заготовок, откованных в плоских бойках, показало, что протяжка в плоских бойках обеспечивает преимущественное деформирование осевой зоны заготовки. В результате в этой зоне формируется сравнительно мелкозернистая структура с размером зерен 30,9 – 41,2 мкм. При таких режимахковки в поверхностной зоне сохраняется структура с крупными зернами. В результате заготовка приобретает пластинчатую структуру с размером пластин в поперечном сечении от 10,3 до 16,1 мкм. Дальнейшая протяжка в комбинированных

бойках способствует перенесению акцента деформации в поверхностные слои заготовки и формированию сравнительно мелкозернистой структуры с размером зерен до 10,7 – 14,9 мкм.

Исследование образцов титанового сплава ВТ1-0, штампованных на винтовом прессе показало, что поковки имеют сравнительно мелкозернистую структуру с размерами зерен 0,21 – 0,43 мкм.

По результатам исследования механических свойств установлено, что общий уровень механических свойств отштампованных дисков по всем показателям соответствует требованиям ОСТ 1 90218-76.

Таким образом, предложенный способ изготовления дисков из титановых сплавов позволяет повысить качество поковок, при этом снижается трудоемкость на 20 – 25%, повышается выход годного металла на 9 – 12 %.

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ВЫВОДЫ

В результате выполненных исследований решена актуальная задача в области моделирования технологического процесса горячей штамповки и разработки рекомендаций по режимам обработки поковок из титановых сплавов. По результатам работы можно сделать следующие выводы:

1. С использованием программного комплекса «MSC.SuperForge» реализовано компьютерное моделирование операцийковки и штамповки, применение которых позволяет избежать материальных и временных затрат на изготовление натурной технологической оснастки и доводки технологии на производстве.

2. Впервые получены количественные данные и установлены основные закономерности изменения НДС при высадке в штампе с ИФРП и протяжке в вырезных бойках поковок из титановых сплавов.

3. Разработаны методика расчета размеров зерен поковок из титановых сплавов в условиях горячейковки и штамповки и установлено, что сравнительно равномерное распределение накопленной деформации по сечению деформируемой заготовки можно достичь при применении совмещенных процессов обработки.

4. Методом конечных элементов получены количественные данные и установлены основные закономерности распределения НДС при моделировании прокатки, протяжки в плоских и комбинированных бойках и на РКМ, а также осадке в выпуклых бойках и штамповке.

5. Доказано, что прокаткой в гладких валках и высадкой в выпуклых бойках и изотермической штамповкой или протяжкой в плоских и комбинированных бойках и на РКМ, высадкой в инструменте с ИФРП и

изотермическая штамповка на КГШП; а также ковкой в плоских и комбинированных бойках, высадкой в инструменте с ИФРП и изотермической штамповкой на КГШП при температурах выше и ниже $T_{\text{пл}}$ без нарушения сплошности материала поковки можно изготовить диски и лопатки с мелкозернистой и глобулярной структурой.

6. Установлено, что для обеспечения мелкозернистой структуры и требуемых механических свойств поковок из сплава ВТ1-0 подготовку структуры необходимо вести протяжкой в плоских и вырезных бойках при температуре ниже температуры плавления $T_{\text{пл}}$ с относительной подачей 0,8 – 1,0 и 0,5 – 0,6, соответственно, а штамповку поковок осуществлять при температуре ниже $T_{\text{пл}}$ на гидравлическом прессе.

7. Разработаны методика компьютерного моделирования технологического процесса горячей объемной штамповки осесимметричных поковок из титановых сплавов в программном комплексе MSC.SuperForge, согласующаяся с нормативными документами.

ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ ДИССЕРТАЦИОННОЙ РАБОТЫ ОТРАЖЕНЫ В СЛЕДУЮЩИХ ПУБЛИКАЦИЯХ

1. Нурахметова, К.К. Моделирование технологического процесса штамповки турбинных лопаток из титановых сплавов [Текст] / С.А. Машеков, А.Е. Нуртазаев // Наука и новые технологии - Бишкек: Издательство научных журналов и детской художественной литературы, 2015, № 2.- С. 36-44.

2. Нурахметова, К.К. Исследование напряженно-деформированного состояния заготовки при высадке осесимметричных поковок с применением MSC.SUPERFORGE [Текст] / С.А. Машеков, А.Е. Нуртазаев // Известия Вузов - Бишкек: Издательство научных журналов и детской художественной литературы, 2015.- № 1.- С. 24-30.

3. Нурахметова, К.К. Проблемы штамповки титановых сплавов и их решение [Текст] / С.А. Машеков - Известия КГТУ им Раззакова Бишкек: Текник, 2015.- № 34 – С. 134-138.

4. Нурахметова, К.К. Управление деформацией как инструмент обеспечения заданных структур и свойств компрессорных лопаток из титановых сплавов [Текст] / С.А. Машеков, А.Е. Нуртазаев // Известия КГТУ им Раззакова Бишкек: Текник, 2015.- № 34 – С. 149-159

5. Нурахметова, К.К. Моделирование технологического процесса подготовки структуры заготовок ковкой в плоских и комбинированных бойках для штамповки компрессорных лопаток [Текст] / С.А. Машеков, А.Е. Нуртазаев // Известия КГТУ им Раззакова Бишкек: издательство Текник, 2015. - № 35 –С. 91-99

6. Нурахметова, К.К. Получение компрессорных лопаток с заданной структурой в совмещенных процессах обработки металлов давлением с применением методов математического моделирования [Текст] / С.А. Машеков, А.Е. Нуртазаев //; Известия КГТУ им Раззакова Бишкек: издательство Техник, 2015 - № 35 –С. 99-107

7. Нурахметова, К.К. Некоторые проблемы развития производства штампованных поковок из титановых сплавов в странах СНГ. [Текст] / С.А. Машеков // Сборник материалов Международной научно-практической конференции, г. Кемерово: УИП КузГТУ, 2015- 5-6 мая - С. 171-176.

8. Nurakhmetova, K.K. Improving the processing of forgings made of titanium alloys by the uniform distribution of deformation in the blanks during the combined forging processes / Mashekov S.A., Alshynova A.M., Mashekova A.S., Tukibay A.A. // Sadguru Publications Udaipur (INDIA) 2015, 13(2) - P.786-800.

9. Нурахметова, К.К. Состояние и перспективы развития производства турбинных лопаток из титановых сплавов за рубежом [Текст] / С.А. Машеков // Вестник НАН РК – Алматы: Аруна, 2015. - № 3. - С.108-115.

10. Nurakhmetova, K.K. Improving the technology of blade punching made of titanium alloys by the calculation of degree of resource utilization plasticity / Mashekov S.A., Alshynova A.M., Mashekova A.S., Smailova G.A., Bazhaev N.A. // Sadguru Publications Udaipur (INDIA) 2016, 14(2)- P. 829-841

11. Nurakhmetova K.K. Engineering of the combined process of punching the compressor blades with an estimate of the plasticity resource of the wrought alloy / Mashekov S.A., Alshynova A.M., Mashekova A.S., Smailova G.A., Sembayeva N.S. // Sadguru Publications Udaipur (INDIA) 2016, 14(2), P. 852-864

12. Nurakhmetova, K.K. Controlling the stress-strain as a tool for ensuring the production of titanium blades without any defects / Mashekov S.A., Alshynova A.M., Smailova G.A., Myrzakhmetova U.A. // Wulfenia journal Klagenfurt, Austria 2016, № 2 (23)

Нурахметова Кульзира Кумаргалиевнанын «Титан эритмелеринен окко симметриялуу кандалган бөлүктөрдү ысыкта штамптоо процессин моделдөөнү иштеп чыгуу» деген темадагы, адистиги: 05.02.08 «Машина куруунун технологиялары» боюнча техника илимдеринин кандидаттык илимий даражасын изденип алууга диссертациясы
КЫСКАЧА МАЗМУНУ

Ачкыч сөздөр: чыңалуу тензору, деформация тензору, которулуш, микроструктура, титан эритмелери, α -дан, β -дан ($\alpha+\beta$)-фаза, α -фаза, β -фаза, деформация, чыңалуу, агуунун предели, бекемдик предели, даярдык бөлүк, кандалган бөлүк, чоюп тартуу, кандоо.

Изилдөө объекти: титан куюлмаларынан жасалган сом темир уста-жубастык өндүрүшү.

Изилдөө предмети: октук симметриялуу титан эритмелерин ыссык жубастоо режимдери.

Илимий иштин максаты: майда дандуу структурасы менен окко симметриялуу кандалган бөлүктөрдү өндүрүүнүн технологиясын долбоорлоо үчүн ысыкта кандоо жана көлөмдүү штамптоо процесстерин моделдөөнүн ыкмаларын иштеп чыгуу.

Изилдөөнүн методу жана аппаратурасы. Изилдөөнүн усулдук көрсөтмөлөрү чыңалуу деформациянын абалын ЧДА теориясын, кандоо процессинин чектүү-элементтик моделдөөнү колдонууга негизделген. Теориялык эсептөөлөр үчүн MSC.SuperForge программалык каражаттын комплекси колдонулду. «Axiovert-200 MAT» оптикалык микроскопто металлографикалык анализ жүргүзүлдү. Эксперименттик изилдөөлөр винт түрүндөгү прессте жана MB-01м түзүлүшүндө аткарылды.

Алынган жыйынтыктар жана алардын жаңылыгы. Титан эритмелеринен окко симметриялуу кандалган бөлүктөрдү ысык көлөмдүү штамптоонун технологиясын компьютердик моделдөөнүн усулдук көрсөтмөлөрү MSC.SuperForge программа каражатынын комплексинде иштелип чыкты; кандалган бөлүктөрдү өзгөрүлмө формадагы инструментте штамптоодо, ошондой эле жыйналган деформацияны металлдарды айкалышкан оңдоп түзөөдө сандык берилиштер жана ЧДАнын өзгөрүшүнүн аныкталган мыйзам ченемдүүлүктөрү, температура жана энергия күчтүн параметрлери алынды; талап кылынган сапаттагы диск жана калакча түрүндөгү кандалган бөлүктөрдү өндүрүүгө өбөлгө түзгөн титан эритмелеринин дандарынын чоңдуктарынын кандоонун жана штамптоонун негизги технологиялык параметрлеринен көз карандылыгы иштелип чыкты жана илимий жактан негизделди.

Колдонуу даражасы: алынган жыйынтыктар, көлөмдүү штамптоонун технологиялык процессинин компьютердик моделдөө ыкмаларын окуу процессине киргизүүгө кызыккан Алматы технологиялык университетине өткөрүлүп берилди.

Колдонуу областы: металлургия жана машина куруу ишканалары.

РЕЗЮМЕ

диссертации Нурахметовой Кульзиры Кумаргалиевны на тему «Разработка методики моделирование процессов горячей штамповки осесимметричных поковок из титановых сплавов» на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.02.08 – Технология машиностроения

Ключевые слова: тензор напряжений, тензор деформации, перемещение, микроструктура, титановые сплавы, α -зерна, β -зерна ($\alpha+\beta$)-фаза, α -фаза, β -фаза, деформация, напряжение, предел текучести, предел прочности, заготовка, поковка, протяжка, ковка.

Объект исследования - кузнечно-штамповочное производство поковок из титановых сплавов.

Предмет исследования – режимы горячей штамповки осесимметричных поковок из титановых сплавов.

Цель работы: разработка методики моделирования процессов горячейковки и объемной штамповки для проектирования технологии производства осесимметричных поковок с мелкозернистой структурой.

Методы исследования и аппаратура. Методика исследований базируется на использовании теории напряженно-деформированного состояния НДС, конечно-элементном моделировании процессовковки. Используются программные комплексы MSC.SuperForge. В экспериментах использованы оптический микроскоп «Axiovert-200 MAT», винтовой пресс и установка MB-01м.

Полученные результаты и их новизна. Разработана методика компьютерного моделирования технологического процесса горячей объемной штамповки осесимметричных поковок из титановых сплавов в программном комплексе MSC.SuperForge; получены количественные данные и установленные закономерности изменения НДС, температуры и энергосиловых параметров при штамповке поковок в инструменте с изменяющейся формой, а также накопленной деформации при совместной обработке металлов; разработаны и научно-обоснованы зависимости величины зерна титановых сплавов от основных технологических параметровковки и штамповки, позволяющие производить поковки типа дисков и лопаток требуемого качества.

Степень использования: полученные результаты переданы Алматинский технологический университет, которые заинтересованы во внедрении в учебный процесс методику компьютерного моделирования технологического процесса объемной штамповки.

Область применения: металлургические и машиностроительные предприятия.

SUMMARY

of dissertation of Nurakhmetova Kulzira Kumargaliyevna on the theme
"Development of a technique of hot stamping process simulation of
axisymmetric forging from titanium alloys" for the degree of candidate
of technical sciences, specialty 05.02.08 - Mechanical engineering
technology

Keywords: stress tensor, strain tensor, moving, microstructure, titanium alloys, α -grains, β -grains, $(\alpha + \beta)$ -phase, α -phase, β -phase, deformation, stress, yield stress, tensile strength, preform, forging, broaching, hammering.

The object of research is forging and stamping production of forgings from titanium alloys.

The subject of the research is the improvement of hot-forging modes of axisymmetric forgings made of titanium alloys.

Objective: To develop a methodology simulation of hot forging and die forging technology for the design of the production of axisymmetric hammerings with fine-grained structure.

Research methods and instruments. Methodology of study is based on the use of VAT theory, finite element simulation of the forging process. For the theoretical calculation software used MSC.SuperForge complexes. Metallographic analysis was performed on an optical microscope «Axiovert-200 MAT».

The results and novelty. Quantitative data and set the VAT change patterns, temperature, power parameters at stamping forgings in a tool with a changing shape, computer modeling the quantitative data and established the basic laws of the distribution of the accumulated deformation in the combined treatment of metals, such as broaching in different shapes strikers and stamping, developed and scientifically depending on the size of the grain-based titanium alloys from the basic technological parameters of forging and stamping to allow for forging types of discs and the required quality of the blades.

Results of the study can be used in the educational process, as well as engineering and metallurgical enterprises of the CIS countries.

Extent of use: The results are transferred to the Almaty Technological University, who are interested in the implementation of the methodology in the educational process of computer simulation of the process forging.

Applications: metallurgical and machine-building enterprises of the CIS countries.