

015-71
Национальная академия наук Кыргызской Республики
ИНСТИТУТ МАШИНОВЕДЕНИЯ

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

ЖАЛАЛ-АБАДСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

Диссертационный совет Д. 05.13.010

На правах рукописи
УДК 621.73.01

Бажаев Нурлан Аманкулович

**ВЛИЯНИЕ КОНСТРУКТИВНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ
ОБОРУДОВАНИЯ И ФИЗИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ПРИ
ОБРАБОТКЕ ДАВЛЕНИЕМ НА КАЧЕСТВО ИЗГОТОВЛЕНИЯ
ИЗДЕЛИЙ**

Специальность 05.02.08 –Технология машиностроения

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Бишкек 2015

Работа выполнена в Казахском национальном техническом университете имени К.И. Сатпаева

- Научный руководитель:** доктор технических наук, профессор
Машеков Серик Акимович
- Официальные оппоненты:** доктор технических наук, профессор
Муслимов Аннас Поясович
- кандидат технических наук, доцент
Самсалиев Анвар Амантаевич
- Ведущая организация:** АО Казахстанско-Британский технический университет
(г. Алматы, ул. Толе би, 59)

Защита состоится 6 февраля 2015 г. в 14.00 часов на заседании диссертационного совета Д.05.13.010 при Институте машиноведения Национальной академии наук Кыргызской Республики, Кыргызском государственном техническом университете им. И. Раззакова и Жалал-Абадском государственном университете по адресу: г. Бишкек, пр. Мира, 66.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Института машиноведения Национальной академии наук Кыргызской Республики (г. Бишкек, ул. Скрябина, 23).

Ваши отзывы 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.05.13.010, а также по e-mail: imash_kg@mail.ru

Телефон для справок: (0312) 541149, факс: (0312) 562785

Автореферат разослан «25» декабря 2014 г.

Ученый секретарь диссертационного
совета Д.05.13.010, к.т.н., с.н.с.

Квитко С.И.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. В условиях рыночной экономики за счет применения более передовых технологий повышение качества выпускаемой продукции до уровня мировых стандартов является одной из важных научно-практических задач, поэтому создание эффективного оборудования и технологий, позволяющих уменьшить энерго- и трудозатраты на производство изделий, снизить расходные коэффициенты металла и инструмента, улучшить качество продукции, является актуальной проблемой машиностроения и металлургии.

Применяемые различные виды обработки металлов давлением (ОМД) требуют использования технологических процессов, обеспечивающих высокую производительность, точность и заданные физико-механические характеристики готовых изделий. При этом технологические решения, строящиеся на базе процессов пластического деформирования, должны обеспечивать выпуск точных деталей в больших объемах, управлять механическими свойствами изделий. Характерной особенностью технологических процессов обработки давлением является их связь с комплексом физико-механических характеристик готовых изделий. Поэтому необходимо исследовать влияние технологических факторов на свойства готовых деталей, а также разработать способы, позволяющие управлять механическими характеристиками изделий за счет изменения тех или иных технологических параметров. Следует отметить, что исследования подобного плана в ОМД находятся на стадии постановочного характера и развитие этого подхода следует признать актуальным.

Связь темы с планом научных работ. Работа выполнена в рамках научно-технической программы «Новые технологии для углеводородного и горно-металлургического секторов и связанных с ними сервисных отраслей», а также в рамках госбюджетной тематики научно-исследовательских работ Казахского национального технического университета им. К.И. Сатпаева.

Целью работы является исследование влияния упругих элементов машин ОМД на механизм пластической деформации металлов и сплавов, разработка технологии ОМД, позволяющей получить металлоизделия высокого качества.

Для достижения этой цели были поставлены и решены следующие задачи:

– изучение влияния жесткости инструмента на изменение энергосиловых параметров ОМД и локализацию деформации и за счет вариации конструкции инструмента разработка новых технологий, обеспечивающих улучшение качества изделий из сталей и сплавов;

– изучение закономерностей изменения геометрических размеров и распределения напряженно-деформированного состояния (НДС) при осадке цилиндрических образцов;

– изучение влияния температурно-деформационных режимов обработки и жесткости инструмента на изменение структуры металлов и сплавов.

Основные положения, выносимые на защиту:

1. количественные данные о распределении НДС и температуры, об изменениях усилий при осадке заготовок в плоских бойках с различным контактным трением;

2. закономерности развития внутризеренной и межзеренной деформации по очагу деформации при деформировании металлов и сплавов с различными подкладками;

3. закономерности влияния жесткости деформируемого инструмента на изменение механических свойств стали и сплавов при осадке в плоских бойках.

Научная новизна полученных результатов:

– в условиях объемного течения металла и различного контактного трения в динамике получены количественные данные и установлены основные закономерности распределения НДС и температуры, а также изменение усилия при осадке в плоских бойках;

– впервые раскрыты закономерности развития внутризеренной и межзеренной деформации по очагу деформации при деформировании металлов и сплавов с различными подкладками, вызывающими изменение в структуре металла;

– выявлены закономерности изменения механических свойств стали и сплавов при осадке в плоских бойках, учитывающие жесткость деформируемого инструмента.

Практическая значимость полученных результатов:

– разработана и теоретически исследована автоматическая система регулирования усилия гидравлического пресса при обработке металлов давлением;

– выявленные качественные взаимосвязи между упругими свойствами подкладки деформируемого инструмента и комплексом механических свойств позволяют дать рекомендации по модернизации существующего оборудования;

– определены режимы деформирования сталей и сплавов, способствующие получению качественного изделия со стабильным уровнем механических свойств.

Личный вклад автора. Основные теоретические и практические результаты, изложенные в диссертации, получены автором лично, ана-

лиз полученных данных проведен самостоятельно с учетом имеющихся в отечественной и зарубежной литературе сведений.

Апробация практических результатов. Основные положения диссертационной работы доложены и обсуждены на конференциях: XXI Международная научно-техническая конференция «Новое в безопасности жизнедеятельности» (г. Алматы, 2009 г.); III Международная научно-практическая конференция «Проблемы инновационного развития нефтегазовой индустрии» (г. Алматы, 2010 г.); III Международная Казахстанская металлургическая конференция «Казахстанской магнитке - 50 лет» (г. Темиртау, 2010 г.); XV Международная научно-техническая конференция «New technologies and achievements in metallurgy, material engineering and production engineering» (Польша, г. Czestochowa, 2014 г.).

Полнота отражения результатов диссертации в публикациях. Основные результаты диссертационной работы опубликованы в 9 научных трудах и получен 1 инновационный патент Республики Казахстан.

Структура и объем диссертации. Диссертационная работа состоит из введения, 4 глав, заключения и списка использованных источников, включающего 151 наименование. Объем диссертации – 189 страниц машинописного текста, в том числе 12 таблиц, 51 рисунок, 1 приложение.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

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

В первой главе показан обзор работ, посвященных исследованию неоднородности напряженного состояния, локализаций пластической деформаций и закономерности механизма пластической деформации. Из приведенных в литературном обзоре данных видно, что в настоящее время имеются многочисленные работы, посвященные исследованию влияния различных факторов на пластические свойства металлов. Приведены способы обработки и мероприятия, способствующие улучшению обрабатываемости металлов давлением. Однако, все же большая часть данных способов и мероприятий не находят широкого применения. Это объясняется многими причинами, в частности, сложностью изготовления оснастки, высокой трудоемкостью мероприятий, высокими затратами на осуществление способа, невысокой производительностью и т.д. Анализ работ, посвященных мероприятиям по улучшению обрабатываемости металлов давлением, показывает, что улучшению качества получаемых изделий способствует благоприятная схема НДС, что приводит к получению однородной структуры металла, т.е. проработке первона-

чальной литой структуры в мелкозернистую. Улучшить НДС возможно путем совершенствования инструмента, температурно-деформационных режимов обработки, правильно выбранным способом деформации и т.д.

Во второй главе на основе использования программного комплекса MSC.SuperForge исследовано НДС осадки в плоских бойках – как основной операцииковки и как операции, широко используемой при исследовании различных процессов ОМД. Произведено математическое моделирование процесса осадки с большими величинами единичного обжатия.

При математическом моделировании осадки круглых в плане заготовок рассмотрена симметричная плоскость, в которой металл течет неравномерно во всем направлении от оси симметрии. В связи с этим при моделировании осадки в системе MSC.SuperForge рассмотрена двумерная (2D) осесимметричная деформация заготовки.

Для исследования процесса осадки использовалась цилиндрическая заготовка размерами $\varnothing 100 \times 200$ мм. В качестве материала заготовки выбран титановый сплав с температурным диапазоном деформирования 1200 – 850 °С и с механическими свойствами: модуль упругости 120000 МПа, коэффициент Пуассона 0,3 и плотность 4,5 г/см³. Осадка заготовки производилась при температуре 960 °С. При моделировании принималось, что материал заготовки изотропный упругопластический с нелинейным упрочнением (BISO). Коэффициент трения был принят 0,3 и 0,4.

В Computer-aided design (CAD) программе Inventor была построена двумерная геометрическая модель инструмента и заготовки, которая в последующем была импортирована в Computer-aided engineering (CAE) программу MSC.SuperForge. Для создания конечно-элементной модели заготовки использованы двумерные элементы, которые применяются для моделирования течения металла в осесимметричных условиях деформирования. Для модели заготовки и инструмента потребовалось 2600 элементов и 3200 узлов.

На основе полученных результатов численного моделирования установлено следующее:

- при осадке в плоских бойках с увеличением единичного обжатия из-за действия контактных сил трения часть объема геометрического очага деформации оказывается в зонах затрудненной деформации;

- следствием появления зон затрудненной деформации является локализация преимущественного течения металла или полос сдвига в форме ковочного креста;

- локализация деформации в зоне ковочного креста приводит к повышению тепловыделения и опасности разрушения металла в этих зонах с одной стороны, и к недостаточной деформации структуры в

остальном объеме заготовки и к разнородности структуры по сечению, с другой стороны;

- при осадке в плоских бойках с увеличением единичного обжатия интенсивности напряжения и деформаций концентрируются в местах перехода от деформируемой к недеформируемой части заготовки и по ковочному кресту;

- концентрация интенсивности напряжений и деформаций может привести к образованию трещин, что так же ухудшает качество металла.

На формирование полос сдвига при горячей осадке сильное влияние оказывает градиент температуры и напряжения. Начальная стадия образования полос сдвига включает развитие охлажденных зон в горячей заготовке, соприкасающихся с холодным инструментом. Эти зоны тоже ограничивают однородное течение, поскольку для их деформации требуются повышенные локальные напряжения.

Установлено, что с увеличением контактных сил трения неравномерность деформации увеличивается и полосы сдвига еще больше сосредотачиваются в центральных зонах заготовки. При этом закономерность распределения температурного поля и интенсивности напряжения и их величина почти не изменяется.

Необходимо отметить, что область локального течения появляется в зонах заготовки, где интенсивность напряжений максимальна по величине и достигает некоторого количественного предела, а затем распространяется под действием градиента напряжений в соседние области. Возбуждая искусственно в очаге деформации области со значительной величиной сдвигающих напряжений и распространяя их на весь очаг деформации, создаются условия для усиления локализации деформации с соответствующим повышением температуры.

В процессе осадки зоны интенсивного разогрева формируются на границах между подвижным и неподвижным металлом. Поскольку толщина граничного слоя может быть бесконечно малой, даже незначительные деформации могут вызвать сдвиг величиной в несколько тысяч процентов. Зародившись, полоса сдвига распространяется самостоятельно за счет адиабатического разогрева пограничного слоя. При этом сопротивление деформации металлов пограничного слоя уменьшается, что приводит к резкому уменьшению усилия деформирования (рис. 1).

Можно отметить, что причиной локализации пластической деформации и уменьшения усилия деформирования служат, как изменение интенсивности напряжения в зависимости от величины деформации и контактных сил трения (рис. 1), так и появление теплового эффекта при осадке.

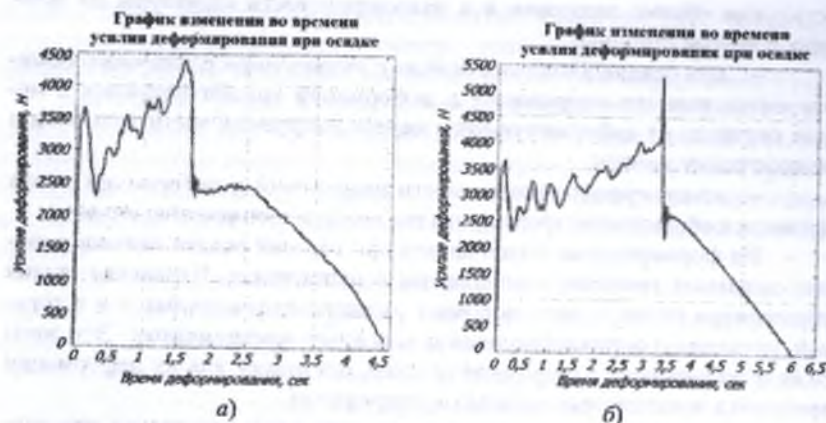


Рисунок 1 – Зависимость усилия осадки от времени деформирования при коэффициентах трения 0,3 (а) и 0,4 (б)

В третьей главе исследовано влияние изменения прочностных и пластических свойств образцов в зависимости от жесткости деформирующего устройства. Испытания образцов на статическое растяжение проведены на универсальной испытательной машине МИ-20У. Для изменения жесткости системы машина – инструмент – образец использовано устройство, имеющее специальную конструкцию. Она состоит из шайбы с резьбой для удержания конструкции на верхней части разрывной машины и соединяется промежуточной осью с внутренним диском стакана. Между внутренним диском и стаканом находится сменный упругий элемент. Стакан заглушается крышкой, закрепленной на стакане болтами. На крышке резьбой крепятся промежуточные детали, которые изготовлены из малотеплопроводной нержавеющей стали, и захват головки образца. Аналогичные детали имеет нижняя часть конструкции. Конструкция устанавливается в пассивный (нижний) и активный (верхний) захваты. Устройство работает следующим образом: при приложении растягивающей нагрузки возникающая сила сначала воздействует на упругий элемент конструкции, упруго его деформирует, и лишь потом деформирует упругопластический растягиваемый образец.

Влияние температуры на механические свойства сплава Д16 исследовано на образцах, вырезанных из деформированных прутков диаметром 20 мм, имеющих расчетную длину 22 мм и рабочий диаметр 5 мм. Образцы растягивали в атмосфере воздуха. На метрическую резьбу М10 образцов навинчивали удлинительные детали. Образцы помещали в печь и нагревали до температуры 300 °С.

При проведении экспериментов для изменения жесткости системы в качестве сменных упругих элементов использованы стальные, резиновые и текстолитовые диски. В каждой партии образцов, испытанных при одной жесткости системы, было по 7–10 шт. По результатам измерений рассчитаны средние значения для каждой группы экспериментов полного максимального усилия $P_{ср}$, удлинения образцов $\delta_{ср}$, пределов прочности $\sigma_{в.ср}$, сужения $\psi_{ср}$. Проведенная статистическая обработка результатов показала отсутствие грубых ошибок. Результаты расчета асимметрии эксцесса показали близость распределения экспериментальных данных к нормальному распределению. Это связано с тем, что величины асимметрии и эксцесса приблизительно равняются нулю.

Результаты анализа позволяют отметить, что при испытании образцов из алюминиевого сплава Д16 на разрыв усилие растяжения и временное сопротивление образцов увеличиваются при использовании текстолитовых и резиновых подкладок. При этом можно отметить, что довольно высокое увеличение временного сопротивления и усилие растяжения получено у образцов, деформированных при высокой температуре. Так, величина усилия образцов, растянутых при комнатной температуре, увеличилась на 9,5 % и 23,6 % при использовании соответственно текстолитовых и резиновых подкладок, а при проведении растяжения при температуре 300 °С анализируемые величины увеличились на 36,1 % и 49,3 % при использовании текстолитовых и резиновых подкладок соответственно по сравнению с растяжением без прокладок.

В результате анализа полученных данных сделан вывод, что причиной уменьшения усилия при растяжении образцов без упругих прокладок является образование шейки, сосредоточение в этой шейке деформации и мгновенное повышение температуры. Поэтому, при пластическом течении исследуемого образца с малой упругой деформацией инструмента рост температуры в узкой зоне, соответствующей по размеру удлинению за один цикл, зависит от объема металла в зоне пластической деформации и может превышать температуру плавления металла. Нагрев участков локализации деформации приводит к уменьшению усилия деформирования.

На основе полученных данных сделан вывод, что причиной увеличения усилия при растяжении образцов с упругими прокладками является деформация металла не только за счет внутризеренного сдвигового перемещения, но и межзеренной деформации. Растяжение образцов путем развития комбинации деформации способствует уменьшению ее локализации и нагреву металла на участках сосредоточения деформации, т.е. способствует прохождению равномерной деформации. Все это приводит к увеличению усилия деформирования.

Таким образом, растяжение образцов в конструкции, где используются в качестве подкладки текстолит и резина, создает хорошие условия для внутриверенной и межзеренной деформации. Связано это с тем, что в процессе растяжения образца подкладки, упруго деформируясь, создают хорошие условия для прохождения процессов скольжения по границам зерен, пластической аккомодации и диффузионной ползучести и т.д. При этом в процессе растяжения почти во всех зернах создаются условия для возникновения касательных напряжений, под действием которых внутри зерна и на его границе возникает напряжение сдвига τ , приводящее к внутриверенной и межзеренной пластической деформации.

Необходимо отметить, что использование подкладки и его упругая деформация облегчает межзеренную и внутриверенную деформацию, при этом в пластическую деформацию вовлекается большое количество систем скольжения по следующим причинам:

1) при возникновении максимальных усилий упругая деформация подкладки создает хорошие условия для поворота зерен и тем самым, возникновению максимальных касательных напряжений в различных плоскостях скольжения зерен металла и в плоскостях скольжения приграничных зон зерен, что приводит к деформациям многочисленных зерен. Это способствует проведению растяжения в условиях равномерной деформации;

2) в процессе растяжения образцов в конструкции, имеющей упругие подкладки, из-за упругой деформации подкладок в момент возникновения максимальных усилий создаются хорошие условия для прохождения процессов пластической аккомодации и диффузионной ползучести и т.д. Все это способствует к привлечению к деформации большого количества зерен и тем самым проведению растяжения в условиях равномерной деформации.

Представленные экспериментальные данные со всей очевидностью указывают на то, что при растяжении образцов с применением упругих подкладок зерна металла равномерно деформируются. Это уменьшает неравномерность деформации зерен по сечению заготовки и увеличивает усилия растяжения. При этом, чем меньше упругие свойства прокладок, тем равномернее деформируются зерна образца, и тем больше будет возникающее усилие деформирования.

Разработана автоматическая система регулирования усилия гидравлического пресса при обработке заготовок давлением и математические модели их элементов для расчета основных параметров, необходимых при проектировании. Разработанная автоматическая система регулирования усилия при обработке металлов давлением позволяет управлять технологическим процессом по заранее заданному закону в зависимости от материала заготовки, что значительно повышает количество

обработанных изделий, а составленные математические модели позволяют рационально спроектировать автоматическую систему управления технологическим процессом.

Ниже представлена принципиальная схема автоматического регулирования усилия обработки (рис. 2), которая состоит из силового цилиндра 1 гидропресса, регулятора расхода 2 с электромагнитным управлением, насоса 3 с постоянной производительностью, демпферов 4, обеспечивающих гашение колебания давления, задающего программно устройства, устанавливающего посредством u_0 закон регулирования усилия при обработке заготовки в зависимости от материала и массогеометрических его параметров, датчика давления D_0 , который представляет собой информационное устройство, преобразующее давление в рабочей полости цилиндра в электрический сигнал u_0 , сумматора 5, который является сравнивающим устройством двух поступающих к нему сигналов u_0 и u_2 с выдачей сигнала рассогласования $u = u_0 - u_2$.

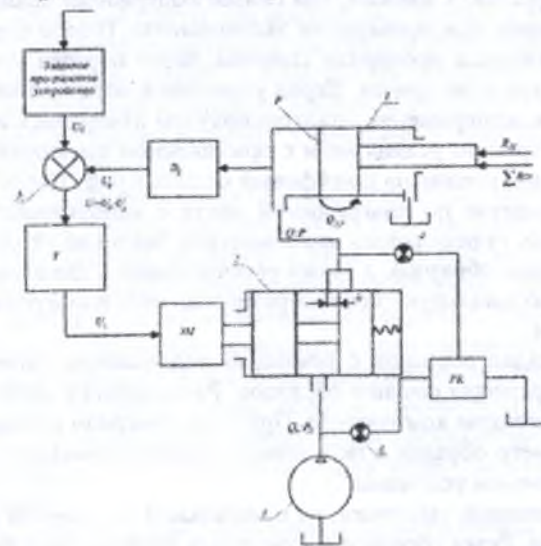


Рисунок 2 – Принципиальная схема автоматического регулирования усилия при обработке металлов давлением

В четвертой главе представлены результаты исследования влияния жесткости плоских бойков на структуру и свойства осажённых заготовок. Для исследования влияния жесткости плоских бойков на усилие, структуру и свойства осажённых заготовок из стали 20, медного сплава М2 и алюминиевого сплава АМг6М проведена серия экспериментов в

лабораторных условиях. Для проведения экспериментов из вышеприведенных материалов изготовлены образцы диаметром 14 мм и длинами 14, 28 и 42 мм. Торцевые поверхности образцов очищали шлифовальной бумагой. Стальные заготовки предварительно отжигали в электрической печи типа KS 600/25 при температуре 650 °С с выдержкой 4 часа для получения равноосной структуры.

В одинаковых условиях деформировались по три образца. Затем под стальную пластину, на которой была установлена мессдоза, подкладывалась такая же по размерам пластина из текстолита толщиной 15 мм и осадка повторялась для следующих образцов. Следующая партия образцов деформировались после замены пластины из текстолита пластиной из резины.

Осадку проводили на гидравлическом прессе через полированные плиты с единичным обжатием до 40,4 – 40,7 %. Нагружение велось с постоянной скоростью 1 мм/мин, тем самым выдерживая правило статического нагружения при проведении эксперимента. Плиты перед установкой каждого образца протирали спиртом, затем образец устанавливали строго по центру плит пресса. Перед установкой образцов на пресс и после окончания эксперимента штангенциркулем измерялись их диаметр и высота. Регистрацию усилия вели с применением тензорезисторной мессдозы с записью усилия на шлейфовый осциллограф. После проведения всех экспериментов по диаграммной ленте с использованием тарировочных данных определялось максимальное значение усилия, возникающее при осадке образцов, а также рассчитывалось давление в сечении, имеющем максимальную бочкообразность, образующуюся после деформирования.

При осадке образцов с помощью видеокамеры записывали геометрические размеры сечения образцов. Расшифровку данных проводили с использованием компьютера. При этом замеряли кадром максимальный диаметр образца и полученные данные совмещали по времени с регистрируемыми усилиями.

Из осаженной заготовки, из центральной и торцевой зон, вырезались темплеты. Резка образцов проводилась абразивными кругами с интенсивным охлаждением. Поврежденный при резке приповерхностный слой удалялся при последующей шлифовке на грубой абразивной шкурке, а затем на все более мелкой. Окончательная полировка проводилась с использованием специальных паст, которые наносились на сукно. Для удобства проведения указанных операций и обеспечения плоскостности поверхности исследуемого образца его заливали эпоксидной смолой (араалитом) в держателе. Для проведения микро- и макроструктурного анализа подготовленные образцы подвергались травлению.

Металлографический анализ проводился на оптическом микроскопе ЕС МЕТАМ РВ-21-1 при увеличениях 50, 100, 200 и 500 крат. Количественный анализ параметров дефектной субструктуры осуществлялся стандартными методами.

Микротвердость по сечению образцов определяли на приборе ПМТ-3. При помощи пресса испытуемый образец закрепляли пластилином на пластинку. При закреплении пластинки с испытуемым образцом исследуемая поверхность располагалась параллельно рабочей плоскости столика. Поверхность образца была плоской, чистой, с шероховатостью не более 0,32 мкм по параметру R_a . В испытуемую поверхность вдавливали алмазную пирамиду под нагрузкой 0,05–5 Н. Микротвердость H определялась по формуле: $H = 1,8544 (P/d^2) \cdot 10^{-6}$, где P – нагрузка, Н; d – диагональ отпечатка, м; H – микротвердость, МПа.

Исследование влияния жесткости бойков на энергосиловые параметры процесса осадки показало, что изменение жесткости инструмента со стороны осадочной плиты при неизменных условиях контакта на поверхностях между деформируемым образцом и инструментом и при отсутствии видимых изменений в конфигурации деформируемых образцов вызывает значительные изменения усилия деформирования. Установка текстолитовой прокладки вызывает увеличение усилия на 3..5%, а установка резины – на 20...30%.

Макроструктурный анализ металла образцов, осаженных без прокладки в плоских бойках, свидетельствует о неоднородности структуры на поперечных шлифах образцов в виде широких зон диагонального расположения с хорошо проработанной структурой, сильно отличающейся от структуры основного металла. На образцах, деформированных с текстолитовой и резиновой прокладкой, ярко выраженные полосы локализации деформации с хорошо проработанной структурой наблюдаются меньшим объемом. Таким образом, макроструктура заготовок, осаженных с текстолитовыми и резиновыми прокладками, сравнительно более равномерная, чем у металла образцов, осаженных без прокладок в плоских бойках.

На макрофотографиях образцов из медного сплава М2 различные зоны пластической деформации в сечении путем травления выделены менее заметно, чем на стальных образцах. У торцевых поверхностей образцов заметна крупнокристаллическая структура, однако четкого разделения областей конусов скольжения не получено. При деформировании с резиновой прокладкой образуются полосы активного деформирования по диагонали тупых углов.

Необходимо отметить, что для всех образцов характерно выделение области контакта с деформирующим инструментом, которая отличается от всего остального объема заготовки травимостью. Эти области

наиболее четко видны на стальных образцах. Именно они и являются широко описанными в литературе зонами затрудненной деформации, называемые конусами скольжения. Однако границы этих областей не смыкаются, не образуют углов в 45° , как описывается во многих источниках.

Введение более мягких прокладок под осадочную плиту изменяет картину макротравления. При использовании прокладки из текстолита картина становится размытой, однако размеры конуса скольжения немого больше, чем при осадке без прокладок.

Использование резиновой прокладки значительно меняет расположение зон. При применении резиновой прокладки сложно исключить внецентренное приложение нагрузки, приводящее к несимметричной деформации. Области аналогичные конусам скольжения преобразуются в зоны, сдвинутые к острым углам. Зона деформации проявляется в виде полосы, расположенной между зонами затрудненной деформации.

Для определения причины изменения усилия деформирования образцы были разрезаны поперек, были изготовлены шлифы, измерена микротвердость по сечению образцов и получены микрофотографии.

Сталь 20 является двухфазной системой, состоящей из зерен феррита с объемно-центрированной кубической решеткой (ОЦК) и колоний перлита, являющихся механической смесью феррита и цементита. При осадке на прессе без прокладок в зоне затрудненной деформации (в зоне контакта инструмента с заготовкой) образованы поликристаллические равноосные зерна феррита. Вблизи со стенками бочки сформировалась мелкокристаллическая полиэдрическая структура с вытянутой формой зерен феррита, ориентированной перпендикулярно стенкам. Цементитные колонии в этих областях не претерпевают каких-либо изменений и располагаются по границам зерен. В центре зоны локализации деформации, а так же в среднем участке зон затрудненной деформации образуется наиболее мелкозернистая структура с сильно вытянутой формой зерна феррита. Цементитные колонии в этих областях дробятся, но деформируются намного менее интенсивно. Указанные области по структуре имеют довольно четкое различие.

При осадке образца на прессе с текстолитовой прокладкой структура, формирующаяся по сечению стального цилиндра, аналогична наблюдаемой при деформации без прокладки. В центре зоны затрудненной деформации зерна приблизительно в 2 раза больше, чем в центре зоны локализации деформации.

При деформировании образца на прессе с резиновой прокладкой помимо одноосного сжатия произошел сдвиг. Проведенные исследования структуры показали, что структура в центре и по краям зоны затрудненной деформации изменилась значительно по сравнению с ис-

ходным отоженным состоянием. Вблизи со стенками бочки образца образовалась более мелкозернистая структура с вытянутыми зернами, ориентированными перпендикулярно к стенкам бочки.

В центральной зоне локализации деформации структура претерпела существенные изменения, связанные с измельчением зерен феррита и их существенным вытягиванием в направлении, перпендикулярном вектору нагрузки. Наибольшие изменения в структуре отмечаются в среднем участке зоны локализации деформации.

Анализ рассматриваемых микрофотографий позволяет сделать следующие выводы:

- у всех образцов в центральной части зоны локализованной деформации зерна феррита вытянуты в плоскости, перпендикулярной вектору нагрузки на образец;

- в образцах, осаженных без подкладки и с подкладкой из текстолита, в этой области произошло измельчение перлитных колоний, но форма цементитных включений сохраняется сферической;

- в образце при деформации без подкладки в области максимальной деформации обнаруживается пластинчатый перлит, что указывает на образование в ходе деформации аустенита с последующим его распадом (вероятно, по ретроградному типу) на пластинчатый перлит после прекращения деформации за счет изменения температуры и снятия остаточных напряжений;

- у всех образцов в периферийной области образца, т.е. вблизи поверхности максимального изгиба бочки, зерна феррита и перлита деформируются в меньшей степени, следов фазовых превращений не обнаружено;

- образцы, деформированные без прокладки, в зоне затрудненной деформации имеют характер структуры, свойственной для отоженных недеформированных сталей с крупными зернами феррита и колониями зернистого (сфероидального) перлита;

- образцы, деформированные с подкладкой из текстолита и резины, имеют более мелкозернистую структуру по сравнению с исходной отоженной структурой.

Исследование микроструктуры цилиндра из медного сплава М2, осаженного на прессе в без прокладок, показало, что в верхней и нижней частях бочки вблизи с поверхностью плит, сформировалась полиэдрическая равноосная структура с размером зерна в 3-5 раз меньше исходного отоженного образца, т.е. произошло дробление первичных зерен на полиэдры. В крайней части бочки (вдоль стенок) зерна имеют полиэдрическую структуру с несколько вытянутой формой, ориентированной перпендикулярно к ее стенкам. Средний размер этих зерен меньше

сформировавшихся вблизи торцов бочки в 1,5–2 раза. В центральной части образца в зоне локализации деформации образовалась мелкокристаллическая структура с полиэдрической вытянутой формой, ориентированной перпендикулярно вектору нагрузки. Отношение длины к толщине зерна в сечении в этой области доходит до соотношения 1:8.

При осадке цилиндрического образца из медного сплава М2 на прессе с использованием резиновых прокладок под нижнюю плиту одновременно с его сжатием произошел сдвиг. При этом структура металла вблизи с плитами прессы изменилась незначительно. Анализ структуры показывает, что в этой области вследствие деформации скольжением произошло дробление исходных зерен на более мелкие полиэдры, но их кристаллографическая ориентация по отношению к ориентации первичного зерна осталась практически без изменений. Вдоль стенок образовавшейся бочки металл претерпел более высокую степень деформации, поскольку в этой области структура более мелкокристаллическая. В этой области зерна имеют полиэдрическую вытянутую форму с ориентацией зерен перпендикулярной стенкам бочки (вектору нагрузки). В центральной части бочки сформировалась полиэдрическая сильно вытянутая структура зерен с ориентацией перпендикулярной вектору прилагаемой нагрузки. Область с такой структурой довольно четко отделяется от других областей и представляет собой овал в сечении, большая ось которого соответствует меньшей диагонали бочки образца, при этом самая мелкокристаллическая структура отмечается в области близкой к тупому углу бочки.

Анализ эпюр изменения размеров зерен по сечению заготовки при осадке в плоских бойках без прокладки (рис. 3) показывает, что размеры зерен имеют наибольшие значения в зонах контакта металла заготовки с инструментом. При этом в центральных зонах и прилегающих к инструменту зонах заготовки, а также в слоях заготовки, располагаемых между центральными и поверхностными зонами заготовки, размеры зерен имеют наименьшие значения.

Осадка заготовки в плоских бойках с применением подкладки из текстолита и резины приводит к более равномерному распределению эпюр изменения размеров зерен по сечению заготовки (рис. 4 и 5). При этом размеры зерна имеют минимальную величину в центральных слоях заготовки.

Результаты исследования микроструктуры стали 20 показали, что более равномерное распределение размеров зерен по сечению деформируемой заготовки можно достичь при осадке в плоских бойках с применением подкладки из резины (рис. 5).

Таким образом, используя упругую прокладку и развивая по сечению заготовки внутриверхнюю и межзеренную деформацию, можно

более равномерно распределять деформацию по сечению осаживаемой заготовки и тем самым получить поковку с мелкозернистой структурой с высокими механическими свойствами.

Измерение микротвердости проводилось в разных зонах сечения образцов из медного сплава М2, деформированных без прокладки и с резиновой прокладкой:

– в центральной части образцов, в области максимальной пластической деформации;

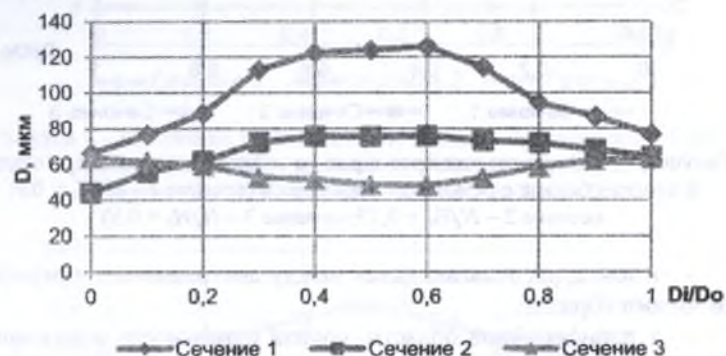


Рисунок 3 – Изменение размеров зерен по сечению заготовки при осадке в плоских бойках без прокладки (сечение 1 - $H/H_0 = 0,9$; сечение 2 - $H/H_0 = 0,75$; сечение 3 - $H/H_0 = 0,5$; где H_i – расстояние от торца заготовки до исследуемой точки; H_0 – высота заготовки; D – диаметр зерен)

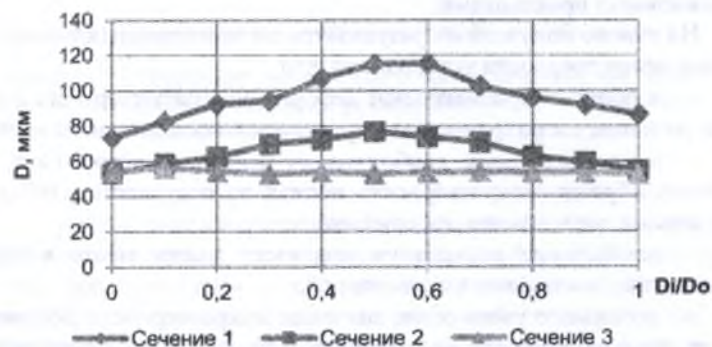


Рисунок 4 – Изменение размеров зерен по сечению заготовки при осадке в плоских бойках с текстолитовой прокладкой (сечение 1 - $H/H_0 = 0,9$; сечение 2 - $H/H_0 = 0,75$; сечение 3 - $H/H_0 = 0,5$)

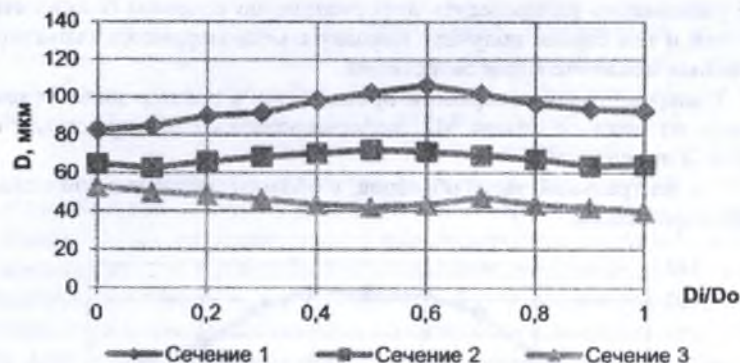


Рисунок 5 – Изменение размеров зерен по сечению заготовки при осадке в плоских бойках с резиновой прокладкой (сечение 1 – $H/H_0 = 0,9$; сечение 2 – $H/H_0 = 0,75$; сечение 3 – $H/H_0 = 0,5$)

- в зонах, располагающихся между центральными и периферийными зонами образца;
- в периферийной области, вблизи поверхности максимального изгиба бочки;
- в областях затрудненной деформации вблизи поверхностей касания деформируемого образца и осадочной плитой.

Данные микротвердостей в каждой зоне усредняли.

На рисунках 6 и 7 представлены картины изменения микротвердости по сечению заготовки при осадке в плоских бойках без прокладки и с резиновыми прокладками.

На основе полученных результатов по экспериментальному определению микротвердости установлено, что

- в областях максимальной деформации микротвердость медного сплава уменьшается по сравнению с другими зонами осаженного образца;
- в периферийных, свободных от действия инструмента, боковых зонах образца микротвердость несколько повышается, по сравнению с зонами локализации деформации;
- наибольшие повышения твердости имеют место в приконтактных зонах инструмента с заготовкой;
- небольшое увеличение значения микротвердости получено по мере снижения жесткости инструмента. Так, установка резиновой прокладки приводит к увеличению микротвердости по сравнению с осадкой без упругой прокладки.

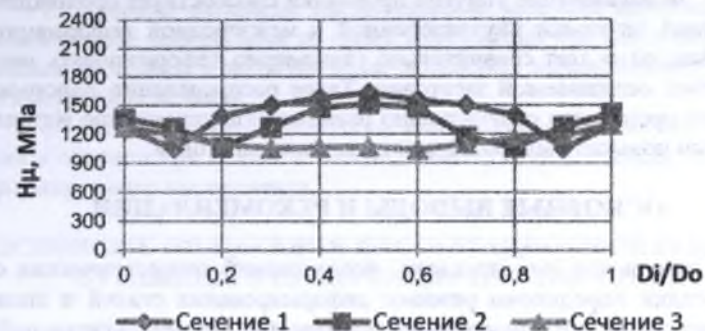


Рисунок 6 – Изменение твердости H_v по сечению заготовки при осадке в плоских бойках без прокладки (сечение 1 – $H/H_0 = 0,9$; сечение 2 – $H/H_0 = 0,75$; сечение 3 – $H/H_0 = 0,5$)

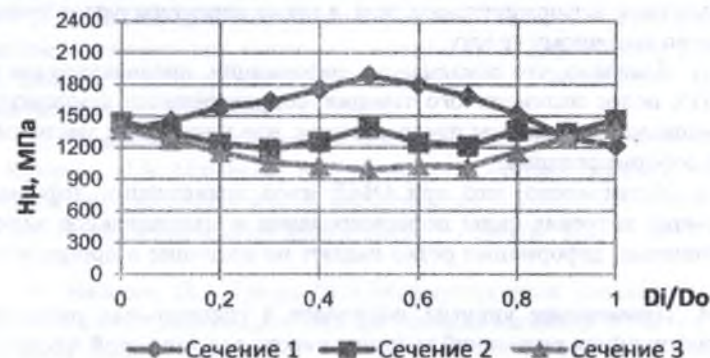


Рисунок 7 – Изменение твердости по сечению заготовки при осадке в плоских бойках с резиновой прокладкой (сечение 1 – $H/H_0 = 0,9$; сечение 2 – $H/H_0 = 0,75$; сечение 3 – $H/H_0 = 0,5$)

На основе полученных результатов можно отметить, что

- уменьшение микротвердости на границах между подвижным и неподвижным металлом, т.е. в зонах локализации деформации, можно пояснить формированием в этих зонах интенсивного разогрева. Поскольку толщина граничного слоя может быть бесконечно малой, даже незначительные деформации могут вызвать большое повышение температуры металла. При этом в зонах локализации деформации проходят различные физико-химические процессы, снижающие микротвердость металла;

– использование упругой прокладки способствует прохождению по сечению заготовки внутризеренной и межзеренной деформации и, тем самым, позволяет сравнительно равномерно деформировать металл по сечению осаживаемой заготовки. Такое распределение деформации позволяет произвести сравнительно равномерное упрочнение металла и тем самым повысить микротвердость металла заготовки.

ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ И РЕКОМЕНДАЦИИ

В результате выполненных исследований технологических операций осадки определены режимы деформирования сталей и сплавов обеспечивающие повышение качества изделий. По результатам работы можно сделать следующие выводы:

1. Экспериментально установлено, что при ковке заготовок в плоских бойках очаг деформации ограничивается активно-движущимися и пассивными поверхностями инструмента и свободными поверхностями деформируемого тела, а также характеризуется течением металла по ковочному кресту.

2. Доказано, что локализация деформации, проявляющаяся в виде тонких полос интенсивного течения, сопровождается температурно-деформационным фазовым превращением, что приводит к уменьшению усилия деформирования.

3. Установлено, что при ОМД из-за локализации деформации наибольшие значения силы деформирования и максимальное значение сопротивления деформации резко падают по величине в процессе обработки.

4. Применение упругих подкладок в специальных растягивающих конструкциях разрывной машины вместо классической жесткой системы способствует равномерной деформации зерен металла и увеличению усилия на разрыв, а также равномерному распределению деформации по сечению деформируемой заготовки и тем самым получению изделия с мелкозернистой структурой с высокими механическими свойствами.

5. Разработана автоматическая система регулирования усилия гидравлического пресса при обработке металлов давлением в зависимости от материала заготовки, математические модели её элементов для расчета их основных параметров, необходимых при конструировании.

6. Получены количественные данные и установлены основные закономерности распределения НДС и температуры, а также изменение усилия при осадке в плоских бойках с различным контактным трением методом конечных элементов;

7. Впервые раскрыты закономерности развития внутризеренной и межзеренной деформации по очагу деформации при деформировании металлов и сплавов с различными подкладками, вызывающими изменение в структуре металла;

8. Выявлены закономерности изменения механических свойств стали и сплавов при осадке в плоских бойках, учитывающие жесткость деформируемого инструмента.

ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ ДИССЕРТАЦИОННОЙ РАБОТЫ ОТРАЖЕНЫ В СЛЕДУЮЩИХ ПУБЛИКАЦИЯХ

1. Бажаев, Н.А. Исследование пластической деформации с точки зрения физико-химического процесса [Текст]. /Н.А. Бажаев, Г.Г. Курапов, С.А. Машеков, У.К. Какимов //Труды XXI Международной научно-технической конференции «Новое в безопасности жизнедеятельности». Алматы: КазНТУ, 2009. – Т. 1. – С. 110.

2. Бажаев, Н.А. Исследование осадки стальных цилиндрических образцов с изменением жесткости инструмента деформации [Текст]. / Н.А. Бажаев, Г.Г. Курапов, С.А. Машеков, У.К. Какимов // Новости науки Казахстана. №1/2010. – С. 71–78.

3. Бажаев, Н.А. Осадка медных образцов [Текст]. /Н.А. Бажаев, Г.Г. Курапов, С.А. Машеков, У.К. Какимов //Сборник трудов III Международной научно-практической конференции «Проблемы инновационного развития нефтегазовой индустрии». – Алматы: КБТУ, 2010. – Т. 2. – С. 73–76.

4. Бажаев, Н.А. Труды III-й Международной Казахстанской металлургической конференции «Казахстанской магнитке 50 лет» [Текст]. / Темиртау: 2010. – С. 184–186.

5. Бажаев, Н.А. Исследование конструкции с применением упругих элементов для использования в разрывной машине [Текст]. /Н.А. Бажаев, Г.Г. Курапов, С.А. Машеков, У.К. Какимов. Вестник КазАТК №6. – 2009. – С. 109–112.

6. Бажаев, Н.А. Осадка цилиндрических образцов из стали [Текст]. /Н.А. Бажаев, Г.Г. Курапов, С.А. Машеков, У.К. Какимов. Алматы: Вестник КазНТУ №3(79)-2010. – С. 146–153.

7. Бажаев, Н.А. Исследование влияния технологических параметровковки в бойках с различной жесткостью на структуру и свойства поковок типа дисков [Текст]. /Н.А.Бажаев, С.А.Машеков, А.С.Машекова. Известия вузов №3, 2013. Бишкек. – С. 3–5.

8. Бажаев, Н.А. Математическое моделирование процесса осадки в плоских бойках с применением MSC.SUPERFORGE [Текст].

/Н.А. Бажаев, С.А. Машеков, А.С. Машекова. Наука и новые технологии №3, 2013. Бишкек. – С. 46–50.

9. **Бажаев, Н.А.** Исследование влияния жесткости деформирующего инструмента на структуру и свойства стали 20, медного сплава М2 и алюминиевого сплава АМг6М [Текст]. / Н.А. Бажаев, Г.Г. Курапов, С.А. Машеков, А.Т. Турдалиев, А.С. Машекова // Труды XV Международной научно-технической конференции «New technologies and achievements in metallurgy, material engineering and production engineering» г.Сзесточова (Польша). 2014. – С. 403–412.

10. **Бажаев, Н.А.** Многовалковая дробилка. Получен инновационный патент. Н.А. Бажаев, С.А. Машеков, Е.З. Нугман и др. 20.07.2011 г., №76046, 2011/08.31.1 Комитет по правам интеллектуальной собственности Министерства юстиции РК. Астана: 2011.

Бажаев Нурлан Аманкуловичтин техникалык илимдер кандидаты даражасына ээ болу шчци, 05.02.08 – «Машина куру технологиясы» кесипчилигине тиешеллици «Басым менен иштеп чыгарууда буюмдардын сапатына жабдуулардын конструктивдик элементтеринин жана физикалык жараяндарынын таасири» темасында жазылган диссертациянын

КЫСКАЧА МАЗМУНУ

Ачык сөздөр: чыңалуу, чыңалуунун тензору, чыңалуунун ургалдуулугу, майышуу, майышуунун тензору, майышуунун ургалдуулугу, үлгү, ичкертүү, жылышуулук, чөгөрүү, макротүзүлүш, микротүзүлүш, соккуч, аспап.

Изилдөө объектиси: металлдарды басым менен иштетүү технологиясы, майышуучу аспаптын конструкциясы.

Иштин максаты: металлдар жана эритмелердин жылышуу майышуу механизминде майышуучу аспаптын ийкемсиздигинин таасирин изилдөө жана жогорку сапаттагы металл буюмдарды жаратуусуна мүмкүнчүлүк берген металлды басым менен иштетүү технологиясын иштеп чыгаруу.

Изилдөө ыкмасы жана аппаратурасы: Изилдөө ыкмасы жылышуу майышуу назариятында, иштетүүнүн аякы-элементтик жараяндарын моделдөөнүн колдонуусунда негизделген. Назариятык эсептөөгө MSC.SuperForge программалык комплекстер колдонулган. Эксперименталдык изилдөөгө металлдардын жана эритмелердин механикалык касиеттерин аныктоого стандарттык ыкмалар колдонулган. Үлгүлөрдүн бекемдүүлүк жана жылышуулук касиеттеринин ченөөлөрү МИ-20У универсалдык сыноочу машинасында жүргүзүлдү.

Алынган жыйынтыктар жана алардын жаңылыгы: Буюмдардын сапаттарына майышуучу аспаптын ийкемсиздигинин таасиринин негизки мыйзам ченемдүүлүктөрү аныкталган. Металлдын түзүлүшүндө өзгөртүүлөрдү жаратуучу металлдардын жана эритмелердин ар кандай төшөлмөлүү майышунун борборуна карата ички дандык жана дан аралык майышуунун өркүндөөсүнүн мыйзам ченемдүүлүктөрү табылган. Жалпак соккучтардагы чөгөрүүсүндө болоттордун жана эритмелердин механикалык касиеттеринин өзгөрүүсүнө майышуучу аспаптын ийкемсиздигинин таасиринин мыйзам ченемдүүлүктөрү табылган.

Колдонуу даражасы: Алынган жыйынтыктар «Алматинский завод тяжелого машиностроения» АК мекемесинде текшерилген. Эксперименттин берилиштери боюнча жогорку сапаттагы сомтемирлерди жаратуугу мүмкүнчүлүк түзгөн ийлөөнүн технологиялык шарттамалары сунушталган.

Колдонуу чөйрөсү: калың барактарды жана жука тилкелерди ысык, муздак жайуусунда, диск, дөңгөлөк жана башка өңдүү өңдүү сомтемирлерди ийлөө жана мөөрлөө.

РЕЗЮМЕ

диссертации Бажаева Нурлана Аманкуловича на тему: «Влияние конструктивных элементов оборудования и физических процессов при обработке давлением на качество изготовления изделий» на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.02.08 – «Технология машиностроения»

Ключевые слова: напряжение, тензор напряжений, интенсивность напряжения, деформация, тензор деформации, интенсивность деформации, образец, обжатие, пластичность, осадка, макроструктура, микроструктура, боек, инструмент.

Объект исследования: технология обработки металлов давлениями, конструкция деформируемого инструмента.

Цель работы: исследование влияния жесткости деформирующего инструмента на механизм пластической деформации металлов и сплавов и разработка технологии обработки металла давлением, позволяющей получить металлоизделия высокого качества.

Методы исследования и аппарата. Методы исследования базируются на использовании теории пластической деформации, конечно-элементном моделировании процессов обработки. Для теоретических расчетов использованы программные комплексы MSC.SuperForge. Для экспериментального исследования использованы стандартные методы определения механических свойств и структуры металлов и сплавов. Измерения прочностных и пластических свойств образцов проводились на универсальной испытательной машине МИ-20У.

Полученные результаты и их новизна. Установлены основные закономерности влияния жесткости деформирующего инструмента на качество изделий. Раскрыты закономерности развития внутризеренной и межзеренной деформации по очагу деформации при деформировании металлов и сплавов с различными подкладками, вызывающими изменения в структуре металла. Выявлены закономерности влияния жесткости деформируемого инструмента на изменения механических свойств стали и сплавов при осадке в плоских бойках.

Степень использования: полученные результаты апробированы на предприятии АО «Алматинский завод тяжелого машиностроения». По данным эксперимента рекомендованы технологические режимыковки, позволяющие получать поковки высокого качества.

Область применения: горячая, холодная прокатка толстых листов и тонких полос,ковка и штамповка поковок типа дисков, колёс и др.

SUMMARY

of Bazhayev Nurlan Amankulovich's dissertation on the theme: "The impact of the structural elements of equipment and physical processes in processing of putting pressure on quality of manufacturing products» on competition for a scientific degree of Candidate of technical sciences on speciality 05.02.08 – "manufacturing engineering"

Key words: stress, stress tensor, stress intensity, deformation, deformation tensor, strain intensity, sample, compress, plasticity, draught, macrostructure, microstructure, firing pin, tool.

The object of the research: the technology of metal processing by pressures of constructions of deformable tool.

Aim of the work: to study the effect of elastic elements of metal processing machines on the mechanism of plastic deformation of metals and alloys, development of metal processing technology for obtaining high-quality metal products.

Methods of research and equipment. Methods of research and equipment are based on the theory of plastic deformation, finite-element modeling of processes. For the theoretical calculation the MSC.SuperForge software is used. For the experimental study the standard methods for determining the mechanical properties and structure of metals and alloys are used.

The obtained results and their novelty. Results on the influence of rigidity of the tool on the quality of the products are obtained. Patterns of development of intragranular and intergranular deformation on the hearth of deformation in straining of metals and alloys with different pads, causing a change in the structure of the metal, are revealed. Regularities of influence of rigidity of deformable tool on changing of mechanical properties of steels and alloys with draught in flat firing pins are detected.

Degree of use: the obtained results were tested during the processing of metals and alloys at the "Almaty heavy machine-building plant", JSC, and showed improvement (quality of forgings) of resource of their work.

Field of application: hot and cold rolling of thick sheets and thin stripes, forging and stamping of forging type discs, wheels, etc.