

Лавриненко Владислав Юрьевич

**РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО
ПРОЕКТИРОВАНИЯ ПРОЦЕССОВ ВЫСАДКИ ПОКОВОК ТИПА
СТЕРЖНЯ С ШАРОВОЙ ГОЛОВКОЙ С НАПРАВЛЕННЫМ
ВОЛОКНИСТЫМ СТРОЕНИЕМ**

Специальность 05.03.05 – Технологии и машины обработки давлением

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Москва
2004

Работа выполнена в Московском государственном техническом университете им. Н.Э.Баумана на кафедре «Технологии обработки давлением»

Научный руководитель - кандидат технических наук,
доцент Иванюк А.В.

Научный консультант - заслуженный деятель науки и техники РФ,
доктор технических наук,
профессор Семенов В.И.

Официальные оппоненты: доктор технических наук,
профессор Субич В.Н.
кандидат технических наук
Исмагилов И.М.

Ведущая организация - ОАО «НИИТАвтопром»

Защита состоится « 1 » декабря 2004 г. в ____ ч. ____ мин на заседании диссертационного совета Д212.141.04 в Московском государственном техническом университете им. Н.Э.Баумана по адресу:
105005, г. Москва, 2-ая Бауманская ул., д.5
Телефон для справок 267-09-63

Ваш отзыв на автореферат в одном экземпляре, заверенный печатью, просим направлять по указанному адресу

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Московского государственного технического университета им. Н.Э.Баумана

Автореферат разослан « 27 » октября 2004 г.

Ученый секретарь

диссертационного совета

кандидат технических наук, доцент



Семенов В.И.

Подписано к печати 20.10.04г. Зак. 240 Объем 1.0 п.л. Тир. 100
Типография МГТУ им. Н.Э.Баумана

204

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность работы. В настоящее время актуальной задачей является повышение технико-экономических показателей отечественного машиностроения в целом и конкурентоспособности продукции машиностроительного производства путем повышения качества, надежности и увеличения срока службы деталей машин.

Одним из основных методов получения заготовок для изготовления ответственных деталей, которые определяют надежность и качество машины в целом, является обработка металлов давлением. Получение качественных поковок составляет главную задачу кузнечно-штамповочного производства. Вопросы качества поковок являются многоплановыми и решаются в различных направлениях.

Однако изготовление поковок методами обработки металлов давлением не всегда обеспечивает требуемое качество, которое бы удовлетворяло современным требованиям машиностроения. Особенно это можно отнести к поковкам, из которых изготавливают высоконагруженные ответственные детали типа колец подшипников, шаровых пальцев и различных направляющих.

Многочисленными исследованиями было установлено, что повышение эксплуатационной стойкости и долговечности таких деталей в значительной степени связано с расположением волокон макроструктуры относительно рабочей контактной поверхности.

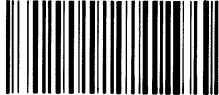
Вместе с тем, при ковке и штамповке можно получить практически любое, заранее заданное направленное волокнистое строение поковок. Однако вопрос получения направленного волокнистого строения при высадке поковок типа стержня с шаровой головкой является недостаточно изученным. При использовании обычных методик проектирования технологических процессов высадки зачастую невозможно получить требуемое направленное волокнистое строение. Поэтому необходимо проведение экспериментальных исследований по изучению изменения волокнистого строения на различных этапах деформирования в зависимости от различных технологических параметров высадки.

В настоящее время отсутствуют систематические исследования стойкости на истирание в зависимости от ориентировки макроструктуры относительно контактной поверхности детали.

Отсутствие методики автоматизированного проектирования технологических процессов высадки поковок с шаровой головкой с направленным волокнистым строением затрудняет разработку и внедрение технологических процессов изготовления поковок с благоприятным распределением волокон макроструктуры относительно рабочих контактных поверхностей.

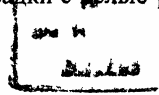
В связи с этим проведение исследований по изучению волокнистого строения поковок с целью выявления закономерностей процессов высадки

НТБ МГТУ им. Н.Э.Баумана



1698537

Лавриненко В.Ю. Разработка



ки методики автоматизированного проектирования технологических процессов высадки поволоков с шаровой головкой с направленным волокнистым строением является актуальной задачей.

Целью работы является разработка методики автоматизированного проектирования технологических процессов высадки поволоков типа стержня с шаровой головкой с направленным волокнистым строением на горизонтально-ковочных машинах (ГКМ) на основе проведенных экспериментальных и теоретических исследований с целью получения благоприятного волокнистого строения относительно рабочей контактной поверхности для повышения качества поволоков и эксплуатационной стойкости и срока службы изготавливаемых из них деталей.

Методы исследований. Экспериментальные исследования проводили методом моделирования горячей высадки стали холодной высадкой заготовок из алюминиевого сплава марки 1050А (АД-0, ГОСТ 4784-97) на универсальной испытательной машине УИМ-50 (номинальная сила 0,5 МН). Использовали разработанную штамповую оснастку, позволяющую моделировать однопереходную высадку и высадку с предварительными наборными переходами (в пуансоне, в матрице, в пуансоне и матрице) на ГКМ заготовок с различными значениями угла скоса торца γ и относительной высаживаемой длины $\psi = l_{\text{в}} / d_{\text{заг}}$ (l_0 и $d_{\text{заг}}$ – длина и диаметр высаживаемой части заготовки).

Экспериментальные исследования стойкости на истирание в зависимости от расположения волокон макроструктуры проводили на испытательной машине трения «Шкода-Савин». Образцы из сталей 40Х, 45 и 38ХГНМ имели различный угол выхода волокон на контактную поверхность (0°, 45° и 90°) и различные режимы термической обработки (отжиг или закалка и отпуск).

Компьютерное моделирование процессов высадки проведено методом конечных элементов с использованием математических моделей программного комплекса QForm3D v.3.2, предназначенного для анализа пластического формоизменения заготовок.

Экспериментальные исследования и численное моделирование процессов высадки поволоков проведены с использованием метода многофакторного планирования для построения математических моделей и их анализа.

Научную новизну имеют следующие результаты:

- результаты численных и экспериментальных исследований процессов одно- и многопереходной высадки поволоков типа стержня с шаровой головкой, показывающие характер распределения волокнистого строения в поковке и возможности по изменению ориентировки волокон макроструктуры относительно верхней и боковой контактных поверхностей шаровой головки при высадке на ГКМ;
- результаты исследований, показывающие, что основное влияние на отчётливость заполнения полостей инструмента, характер и степень искажения волокнистого строения оказывают относительная высаживаемая

длина и скос торца заготовки, а также способ предварительной наборной высадки;

- результаты экспериментальных исследований стойкости на истирание, показывающие, что наибольшая износостойкость имеет место при продольной ориентировке волокон относительно контактной поверхности (угол выхода 0°), а наименьшая износостойкость – при поперечной ориентировке волокон (угол выхода 90°);
- методика автоматизированного проектирования технологических процессов высадки поковок типа стержня с шаровой головкой с направленным волокнистым строением на ГKM, позволяющая изготавливать поковки с распределением волокон макроструктуры преимущественно вдоль боковой рабочей контактной поверхности и с наименьшей зоной выхода волокон на верхнюю контактную поверхность шаровой головки, что повысит долговечность и эксплуатационную стойкость деталей в 2-4 раза.

Практическую значимость имеют следующие результаты:

- таблицы распределения волокон макроструктуры поковок типа стержня с шаровой головкой в зависимости от технологических параметров высадки, позволяющие оценить характер искажений волокнистого строения поковок при горячей высадке стали на ГKM;
- математические модели процесса высадки поковок с шаровой головкой на ГKM, позволяющие при проектировании технологического процесса определить степень искажения волокнистого строения в зависимости от технологических параметров высадки;
- установленные на основании проведенных исследований предельно допустимые значения показателей степени искаженности волокнистого строения поковок с шаровой головкой, при которых возможно получение благоприятного волокнистого строения поковки. Для однопереходной высадки при $\psi = 2.7$ и $\gamma > 2^\circ$: $K_{\max}^{\text{доп}} = 0.06$ и $\alpha_{\text{доп}} = 2.7^\circ$; для многопереходной высадки при $\psi = 5.0$ и $\gamma > 2^\circ$: $K_{\max}^{\text{доп}} = 0.122$, $K_{\text{ср}}^{\text{доп}} = 0.103$ и $\alpha_{\text{доп}} = 7.0^\circ$ (наборная высадка в пуансоне); $K_{\max}^{\text{доп}} = 0.087$, $K_{\text{ср}}^{\text{доп}} = 0.077$ и $\alpha_{\text{доп}} = 2.3^\circ$ (наборная высадка в матрице);
- разработанная методика автоматизированного проектирования технологических процессов высадки поковок с шаровой головкой с направленным волокнистым строением на ГKM, позволяющая изготавливать поковки с благоприятным волокнистым строением относительно рабочей контактной поверхности для повышения эксплуатационной стойкости деталей.

Апробация работы.

Основные положения работы доложены и обсуждены на:

- 3-й научно-технической конференции «Механика и новые технологии». Севастополь, Севастопольский государственный технический университет, 12-15 сентября 2000 г.

- Научно-технической конференции, посвященной 170-летию МГТУ им. Н.Э.Баумана. МГТУ им. Н.Э.Баумана, 21-23 ноября 2000 г.
- Всероссийской молодежной научно-технической конференции «Технология и оборудование современного машиностроения». Уфа, Уфимский государственный авиационно-технический университет, 2000.
- Научно-технической конференции «Механика деформируемого твердого тела и обработка металлов давлением». Тула, Тульский государственный университет, 2001 г.
- Научно-технических семинарах и конференциях кафедры «Технологии обработки давлением», МГТУ им. Н.Э.Баумана.

Публикации. Основное содержание диссертационной работы изложено в 7-ми работах, включая статьи, опубликованные тезисы докладов конференций и патент РФ на изобретение.

Структура и объем диссертации. Диссертация состоит из введения, четырех глав, основных выводов, списка литературы и приложения. Работа выполнена на 245 страницах машинописного текста, включая приложение, содержит 125 рисунков, 35 таблиц и список литературы из 138 наименований.

Автор защищает:

- результаты экспериментального и компьютерного моделирования процессов высадки поковок типа стержня с шаровой головкой, показывающие характер распределения волокнистого строения в поковке в зависимости от технологических параметров высадки на ГKM;
- математические модели процесса высадки поковок с шаровой головкой на ГKM, позволяющие при проектировании технологического процесса определить степень искажения волокнистого строения в зависимости от технологических параметров высадки;
- установленные на основании проведенных исследований предельно допустимые значения показателей степени искаженности волокнистого строения поковок с шаровой головкой, при которых возможно получение благоприятного волокнистого строения поковки;
- методику автоматизированного проектирования технологических процессов высадки поковок типа стержня с шаровой головкой с направленным волокнистым строением на ГKM, позволяющую изготавливать поковки с благоприятным распределением волокон макроструктуры относительно рабочей контактной поверхности шаровой головки для повышения долговечности деталей в 2-4 раза.

КРАТКОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении показана актуальность темы диссертационной работы и изложены основные положения, выносимые на защиту.

В первой главе проведен анализ литературных данных, посвященных изучению влияния макроструктуры на эксплуатационные свойства деталей,

рассмотрены требования, предъявляемые к волокнистому строению поковок типа стержня с утолщением.

В главе рассмотрены основные области применения деталей типа стержня с шаровой головкой, существующие способы штамповки и высадки поковок такого типа, проведено сопоставление требований, предъявляемых к волокнистому строению поковок с технологическими особенностями высадки.

Проведен обзор существующих методик автоматизированного проектирования технологических процессов горячей объемной штамповки поковок, рассмотрены теоретические и экспериментальные методы исследований процессов пластического формоизменения. Также представлен анализ исследований напряженно-деформированного состояния и энергосиловых параметров при высадке поковок типа стержня с шаровой головкой и основных методов исследования стойкости на истирание деталей машин.

При анализе исследований, проведенных И. Биллигманом, Ю.М. Лахтиным, А.С. Шейном, И.В. Колотенковым, Я.Р. Раузиным, Е.И. Семеновым, И.С. Зиновьевым и др. было установлено, что одним из факторов, определяющих качество поковок, а также эксплуатационные и технологические свойства изготавливаемых из них деталей, является волокнистое строение.

Многие работы отечественных ученых были посвящены раздельному изучению влияния составляющих макроструктуры на работоспособность деталей. Эти работы показали, что направление волокон имеет большое самостоятельное значение.

Так, исследования влияния волокнистого строения на прочность при изгибе, проведенные А.С. Шейном (ЭНИИПП) показали существенную зависимость предела прочности при изгибе (в 2...2.5 раза) от расположения волокон макроструктуры относительно контактной поверхности. Приведены также некоторые данные о влиянии волокнистого строения нитенамоточных роликов на их стойкость к истиранию. Отмечено, что при благоприятном расположении волокон макроструктуры возможно повышение износостойкости в несколько раз.

Вместе с тем, отмечена недостаточность систематических исследований стойкости на истирание в зависимости от ориентировки макроструктуры относительно контактной поверхности детали.

Поковки типа стержня с шаровой головкой широко применяют для изготовления высоконагруженных ответственных деталей различных шарниров: шаровых опор автомобиля, сферических подшипников и др. Установлена возможная модель разрушения шаровых пальцев шарниров автомобиля, заключающаяся в появлении высоких ударных нагрузок в месте перехода от шаровой головки к стержневой части вследствие появления зазора между корпусом шарнира и шаровой головкой из-за значительного изнашивания рабочих контактных поверхностей шаровой головки.

Отмечено, что повышение эксплуатационной стойкости деталей с шаровыми головками, подвергающихся при работе изнашиванию, в значительной степени связано с расположением волокнистого строения относительно рабочей контактной поверхности.

Вместе с тем, методы обработки давлением позволяют получить практически любое, заранее заданное волокнистое строение в определенных зонах поковок. В связи с этим, разработку и проектирование технологических процессов штамповки поковок целесообразно проводить с целью создания наиболее благоприятного распределения волокнистого строения поковки.

Обзор способов штамповки поковок типа стержня с шаровой головкой показал, что распределение волокон макроструктуры определяет способ и технологические параметры штамповки, а также материал и размерные характеристики заготовки.

Наиболее распространенной операцией штамповки поковок типа стержня с шаровой головкой является высадка (рис.1). Исследования, проведенные Е.И. Семеновым и И.С. Зиновьевым (МГТУ им. Н.Э. Баумана), показали, что особенности формоизменения при высадке обуславливают характер искажений линий макроструктуры. Также были сформулированы требования к волокнистому строению для поковок типа стержня с утолщением, штампуемых на ГKM: симметричность и плавность волокон макроструктуры, а также повторение волокнами макроструктуры рабочего контура детали.

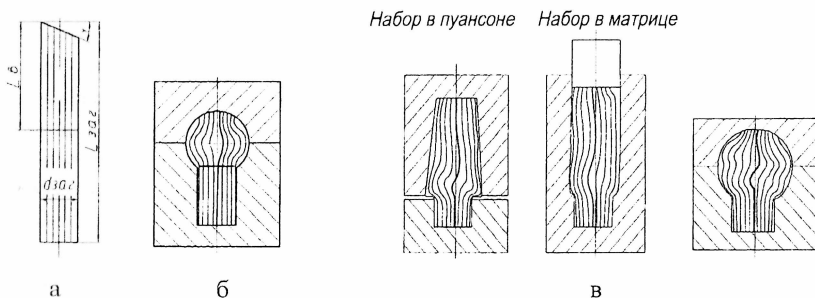


Рис.1. Формирование волокнистого строения при высадке поковок типа стержня с шаровой головкой:

а – заготовка; б – высадка за один переход; в – высадка с наборным переходом (в коническом пуансоне или в цилиндрической матрице)

Вместе с тем, установлена недостаточная изученность влияния основных технологических параметров высадки (относительной высаживаемой длины, угла скоса торца заготовки и способа высадки) на характер формоизменения и волокнистого строения, напряженно-деформированное состояние и энергосиловые параметры.

Выявлено, что наиболее эффективным направлением автоматизации проектирования технологических процессов (ТП) объектов заготовительного производства является автоматизированное двух- и трехмерное моделирование с использованием CAD / CAM – систем и расчетных программ на основе численных методов, позволяющие визуально оценить спроектированный объект и сокращающие время подготовки производства.

Отмечено, что в существующих методиках автоматизированного проектирования технологических процессов объемной штамповки, в частности, штамповки на ГKM, не учтено получаемое в процессе деформирования расположение волокнистого строения в поковке, что значительно снижает качество и срок службы детали из-за перерезания волокон при обработке резанием.

Одним из экспериментальных методов исследования волокнистого строения поволоков является метод выявления макроструктуры травлением, который по искажению линий волокон макроструктуры, присутствующих в исходной прокатанной заготовке, позволяет судить о пластическом течении металла при деформировании и исследовать распределение волокон в поковке.

Известным теоретическим методом исследования процессов пластического формоизменения при штамповке поволоков является метод моделирования процессов с помощью компьютерных программ (QForm, DEFORM и др.). Эти программы основаны на методе конечных элементов и позволяют проследить формоизменения и искажения волокнистого строения на различных этапах деформирования заготовки, а также описать напряженно-деформированное состояние в очаге деформации.

Также установлены основные направления комплексного исследования процессов трения и износа металла: исследование качественных изменений состояния, свойств поверхности и поверхностных слоев и исследование количественных изменений, происходящих при трении и изнашивании детали.

В соответствии с поставленной целью работы на основании проведенного анализа сформулированы следующие основные задачи исследования:

1. Разработать методику экспериментального исследования высадки поволоков типа стержня с шаровой головкой с направленным волокнистым строением, включающей методику проведения физического моделирования, методику изготовления и травления макрошлифов для исследования волокнистого строения при высадке, а также методику компьютерного моделирования высадки.

2. Выполнить экспериментальные исследования влияния различного расположения волокнистого строения относительно контактной поверхности детали на ее стойкость на истирание.

3. Выполнить экспериментальные исследования влияния технологических параметров высадки (относительная высаживаемая длина, угол скоса

торца заготовки, способ наборной высадки) поковок типа стержня с шаровой головкой на особенности формоизменения и характер распределения волокнистого строения поковки с шаровой головкой.

4. Составить таблицы распределения волокнистого строения поковок типа стержня с шаровой головкой в зависимости от технологических параметров высадки.

5. Выявить относительные величины, определяющие характер искажения волокнистого строения и построить математические модели процесса высадки поковок с шаровой головкой, позволяющие при проектировании технологического процесса определить степень искажения волокнистого строения в зависимости от технологических параметров высадки.

6. Выполнить компьютерное моделирование высадки для исследования влияния технологических параметров на особенности формоизменения и характер распределения волокнистого строения поковок с шаровой головкой, а также напряженно-деформированное состояние и энергосиловые параметры. Провести проверку адекватности математических моделей результатам физического и компьютерного моделирования.

7. Разработать на основе проведенных исследований методику автоматизированного проектирования технологических процессов высадки поковок типа стержня с шаровой головкой с направленным волокнистым строением на ГKM.

Во второй главе разработана методика экспериментальных исследований для изучения влияния технологических факторов высадки поковок типа стержня с шаровой головкой (относительной высаживаемой длины, угла скоса торца заготовки, способа наборной высадки) на характер формоизменения и распределение волокон макроструктуры относительно контактной рабочей поверхности шаровой головки для получения благоприятного волокнистого строения поковок.

Исследуемыми процессами являются однопереходная высадка при отсутствии изгиба оси заготовки и многопереходная наборная высадка в условиях ограниченного (плоского) изгиба оси заготовки. Предположительно, при таких условиях проведения высадки возможно получение благоприятного направленного волокнистого строения поковки типа стержня с шаровой головкой.

Эксперименты по физическому моделированию горячей высадки стали на ГKM холодной высадкой заготовок из пруткового алюминия $\varnothing 20_{0.3}$ мм марки 1050A (АД-0, ГОСТ 4784-97) проводили на гидравлическом прессе с номинальной силой 0,5 МН. Деформация выбранного алюминиевого сплава в холодном состоянии моделирует пластическое формоизменение стали в условиях горячего деформирования. Алюминиевая заготовка имеет четкое выраженное волокнистое строение.

Для проведения высадки с использованием метода многофакторного планирования была составлена матрица плана эксперимента. В качестве независимых факторов были приняты: величина относительной высаживаемой длины, угол скоса торца заготовки и способ наборной высадки – в пуансоне или в матрице. Заготовки различной длины имели скошенный торец с разными величинами угла скоса.

Разработана методика исследования волокнистого строения путем проведения комбинированного травления макрошлифов высаженных поковок.

Разработаны конструкции экспериментальных штампов для моделирования операций однопереходной и многопереходной высадки поковок типа стержня с шаровой головкой на ГKM. Штампы позволяют проводить как однопереходную высадку поковок с шаровыми головками, так и двухпереходный процесс высадки с предварительным наборным переходом в пуансоне или в матрице. При этом возможна регулировка относительной высаживаемой длины заготовки сменными подкладками для изменения объема высаживаемой головки. В результате проведения экспериментов получали поковки и макрошлифы с волокнистым строением.

Компьютерное моделирование проводили при помощи программного комплекса для моделирования и анализа пластического формоизменения QForm3D v.3.2 (фирма «КванторФорм»), который основан на конечно-элементном алгоритме (ядро системы). Исходным материалом заготовки при моделировании являлся алюминиевый сплав 1050A (АД-0).

После обработки полученных результатов экспериментов были составлены таблицы распределения волокнистого строения при однопереходной высадке (табл.1), многопереходной высадке с наборным переходом в пуансоне (табл.2) и наборным переходом в матрице (табл.3).

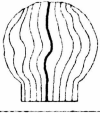
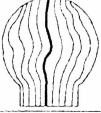
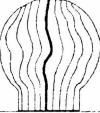
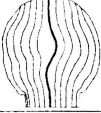
Таблица 1.

Угол скоса торца заготовки $\gamma, ^\circ$	$\leq 2^\circ$				$> 2^\circ$			
Относительная высаживаемая длина ψ	2.0	2.3	2.5	2.7	2.0	2.3	2.5	2.7
$\lambda = \frac{D_{ш}}{d_{зог}}$	1.44	1.51	1.55	1.60	1.44	1.51	1.55	1.60
$K_{\max}^{доп}$	0.06	0.06	0.05	0.03	0.21	0.17	0.12	0.06
$\alpha_{доп}, ^\circ$	2.0	1.6	1.4	2.1	5.4	3.1	2.5	2.7
Показатель плавности п	1							
Характер искажения волокнистого строения								

Таблица 2.

ψ		3.0	3.5	4.0	4.5	5.0
λ		1.65	1.74	1.8	1.9	1.95
n		2				
$\gamma \leq 2^\circ$	Волокнистое строение					
	$K_{\max}^{\text{дон}} / K_{\text{ср}}^{\text{дон}}$	0.051 / 0.049	0.085 / 0.081	0.105 / 0.099	0.114 / 0.102	0.110 / 0.090
	$\alpha_{\text{дон}}^\circ$	2.4	3.5	4.7	5.8	6.7
$\gamma > 2^\circ$	Волокнистое строение					
	$K_{\max}^{\text{дон}} / K_{\text{ср}}^{\text{дон}}$	0.095 / 0.089	0.120 / 0.115	0.133 / 0.125	0.130 / 0.120	0.122 / 0.103
	$\alpha_{\text{дон}}^\circ$	1.53	2.9	4.3	5.6	7.0

Таблица 3.

ψ		3.0	3.5	4.0	4.5	5.0
λ		1.65	1.74	1.8	1.9	1.95
n		2				
$\gamma \leq 2^\circ$	Волокнистое строение					
	$K_{\max}^{\text{дон}} / K_{\text{ср}}^{\text{дон}}$	0.091 / 0.090	0.120 / 0.116	0.137 / 0.127	0.141 / 0.121	0.134 / 0.106
	$\alpha_{\text{дон}}^\circ$	1.8	1.9	2.1	2.2	2.3
$\gamma > 2^\circ$	Волокнистое строение					
	$K_{\max}^{\text{дон}} / K_{\text{ср}}^{\text{дон}}$	0.075 / 0.087	0.097 / 0.107	0.106 / 0.111	0.103 / 0.101	0.087 / 0.077
	$\alpha_{\text{дон}}^\circ$	0.9	1.3	1.7	2.0	2.3

Также построены математические модели процесса высадки поковок с шаровой головкой на ГКМ, позволяющие определить характер и степень ис-

кажения волокнистого строения в зависимости от основных технологических параметров высадки.

Однопереходная высадка

Коэффициент максимального относительного смещения центрального волокна относительно центральной оси поковки:

$$K_{\max} = \frac{\Delta_{\max} \cdot D_{\text{ш}}}{d_{\text{заг}} \cdot H} = \frac{(-21.95 + 2.159\gamma + 17.838\psi - 3.564\psi^2 - 0.744\gamma\psi)}{d_{\text{заг}}} \cdot \frac{D_{\text{ш}}}{H}$$

Угол наклона центрального волокна относительно центральной оси поковки в верхней части шаровой головки:

$$\alpha = 58.872 + 2.028\gamma - 49.114\psi - 0.063\gamma^2 + 10.256\psi^2 - 0.508\gamma\psi$$

Многoperеходная высадка

Коэффициенты максимального и среднего относительного смещения центрального волокна относительно центральной оси поковки:

$$K_{\max} = \frac{\Delta_{\max} \cdot D_{\text{ш}}}{d_{\text{заг}} \cdot H} = \frac{(-8.242 + 0.409\gamma + 4.250\psi + 1.662C - 0.444\psi^2 - 0.071\gamma\psi - 0.265\gamma C - 0.140\psi C)}{d_{\text{заг}}} \cdot \frac{D_{\text{ш}}}{H}$$

$$K_{\text{ср}} = \frac{\Delta_{\text{ср}} \cdot D_{\text{ш}}}{d_{\text{заг}} \cdot H} = \frac{(-8.993 + 0.361\gamma + 4.762\psi + 1.759C - 0.531\psi^2 - 0.061\gamma\psi - 0.189\gamma C - 0.219\psi C)}{d_{\text{заг}}} \cdot \frac{D_{\text{ш}}}{H}$$

Угол наклона центрального волокна относительно центральной оси поковки в верхней части шаровой головки:

$$\alpha = -3.291 - 0.565\gamma + 2.047\psi + 5.675C + 0.115\gamma\psi - 2.069\psi C,$$

где $\Delta_{\max}$ - максимальное смещение центрального волокна относительно оси поковки; $\Delta_{\text{ср}}$ - среднее смещение центрального волокна относительно оси поковки; C - кодированное значение, соответствующее способу наборной высадки: 0 - наборная высадка в коническом пуансоне, 1 - наборная высадка в цилиндрической матрице; $H = D_{\text{ш}} - h_{\text{ш.с.}}$ - высота головки,

$h_{\text{ш.с.}} = \frac{1}{2}(D_{\text{ш}} - \sqrt{D_{\text{ш}}^2 - d_{\text{заг}}^2})$ - высота шарового сегмента.

Результаты сравнения волокнистого строения поволоков с шаровыми головками, полученного в результате компьютерного моделирования и макроструктуру поволоков, полученных при экспериментальной штамповке, показали большую сходимость и адекватность построенных математических моделей.

Разработана методика и проведены экспериментальные исследования влияния различного расположения волокнистого строения относительно контактной поверхности детали на ее стойкость на истирание. Из сталей 40X, 45 и 38ХГНМ были изготовлены три группы образцов - с выходом волокон на контактную поверхность 0°, 45° и 90° (рис.2.) и подвергнутые термической обработке по двум различным режимам - отжигу или закалке или отпуску. Испытания проводили на машине трения «Шкода-Савин». Износостойкость

определяли путем измерения размеров углубления, полученного в результате внедрения в контактную поверхность образца вращающегося твердосплавного ролика. Результаты испытаний приведены в табл.4.

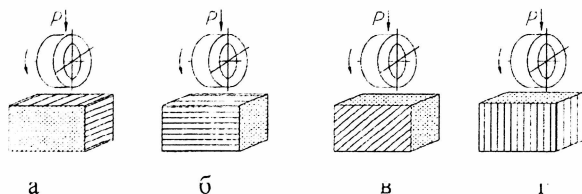


Рис.2. Расположение волокон относительно контактной поверхности в образцах: а) угол выхода волокон 0° , испытания параллельно волокнам; б) угол выхода волокон 0° , испытания перпендикулярно волокнам; в) угол выхода волокон 45° ; г) угол выхода волокон 90°

Таблица 4.

Угол выхода волокон на контактную поверхность	Материал		
	Сталь 40Х	Сталь 45	Сталь 38ХГНМ
0°			
испытания паралл.	1.291 / 1.723	1.224 / 1.641	1.147 / 1.307
испытания перпенд.	1.169 / 1.604	1.210 / 1.641	1.067 / 1.244
45°	1.122 / 1.543	0.964 / 1.469	0.941 / 1.280
90°	1.079 / 1.428	0.761 / 1.422	0.764 / 1.244
Примечание: в числителе приведены значения износостойкости для образцов после отжига; в знаменателе – после закалки и отпуска			

Наибольшая износостойкость имела место в случае продольной ориентировки волокон (угол выхода волокон 0°), а наименьшие значения – в случае поперечной ориентировки волокон (угол выхода волокон 90°). Разница наибольшего и наименьшего значений износостойкости составляет: для образцов после отжига - до 40%, для образцов после закалки и отпуска ~20%.

В третьей главе проведены теоретические исследования напряженно-деформированного состояния и энергосиловых параметров при высадке поковок с шаровой головкой с помощью программного комплекса QForm3D v.3.2.

При проведении однопереходной высадки поковок с величинами относительных высаживаемых длин от 2.2 до 2.7 сила деформирования составила примерно 0.22 МН, а работа деформирования – 1.25 кДж. При этом различный скос торца заготовки не оказывал влияния на силу деформирования, необходимым для заполнения сферических полостей инструмента.

При проведении многопереходной высадки поковок с величинами относительных высаживаемых длин от 3.1 до 5.0 значения сил деформирования лежали в интервале от 0.15 до 0.4 МН, а значения работ деформирования – от 1.6 до 2.8 кДж. При этом различный скос торца заготовки также не оказывал существенного влияния на силу деформирования, необходимую для заполнения полостей инструмента.

При сравнении графиков «сила деформирования – ход», полученных в результате физического и компьютерного моделирования одно- и многопереходного процессов, отмечена большая сходимость результатов.

Анализ напряженно-деформированного состояния при одно- и многопереходной высадке поковок показал, что угол $\gamma \leq 2^\circ$ практически не оказывает влияния на расположение очага деформации и величины деформации, сопротивления деформации и средних напряжений при одних и тех же значениях ψ . При увеличении γ до $4...6^\circ$ имеет место смещение полей растягивающих и сжимающих напряжений, появление растягивающих напряжений не только в верхней части, но и на боковой поверхности шаровой головки.

Помимо скоса торца заготовки, значительное влияние на расположение очага деформации в шаровой головке оказывает способ наборной предварительной высадки – в коническом пуансоне или цилиндрической матрице.

В четвертой главе на основе проведенных экспериментальных и теоретических исследований разработан методика автоматизированного проектирования технологических процессов высадки поковок типа стержня с шаровой головкой с направленным волокнистым строением на ГKM, обеспечивающих повышение эксплуатационной стойкости изготавливаемых из них деталей. Методика разработана на основе современных компьютерных технологий – системы многовариантного проектирования T-Flex и программного комплекса QForm и с помощью встроенных таблиц позволяет учитывать требования к волокнистому строению поковок для создания заранее заданного благоприятного расположения волокон макроструктуры (рис.3).

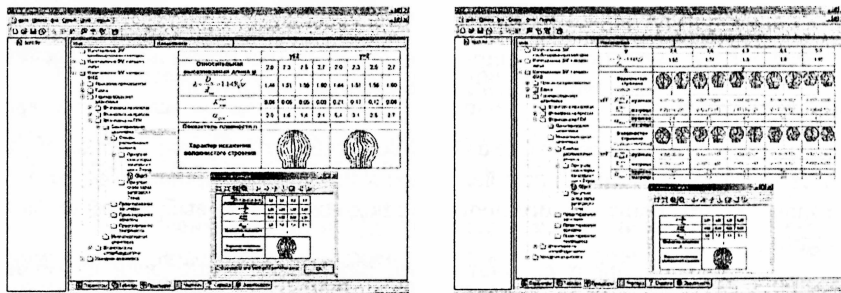


Рис.3. Интерфейс программы со встроенными таблицами волокнистого строения (среда T-Flex)

Процедуры проектирования технологического процесса штамповки состоят из таких блоков, как: анализ чистовой детали; выбор оборудования и определение технических условий; конструирование поковки в среде программы T-Flex, выбор схемы технологического процесса штамповки и выбор необходимой картины волокнистого строения поковки с помощью встроенных таблиц волокнистого строения с учетом условий нагружения и эксплуатации детали, предъявляемых конструктором.

Выбор схемы технологического процесса штамповки необходимо проводить с учетом таблиц с классификацией деталей и с указанием распределения волокнистого строения и необходимых переходов штамповки. Для этого должны быть созданы для типовых технологических процессов штамповки основные схемы распределения волокон макроструктуры по конфигурации поковки в зависимости от конструктивных особенностей поковки, и уже на основе схем анализировать волокнистое строение изготавливаемой детали.

После выбора схемы процесса проводят компьютерное моделирование высадки при помощи программы QForm для проверки правильности выбора схемы штамповки, расчета параметров заготовки, поковки и штамповой оснастки, формоизменения и волокнистого строения (рис.4). Если имеет место недостаток металла, его избыток или неудовлетворительное расположение волокна в поковке, то в автоматическом режиме проводят корректировку размеров поковки, выбранной схемы штамповки, и операцию моделирования в программе QForm повторяют.

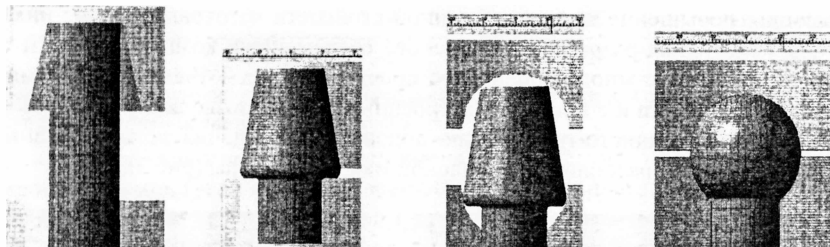


Рис.4. Компьютерное моделирование для проверки правильности расчета параметров высадки (программа QForm)

Если полученное расположение волокнистого строения поковки удовлетворяет требованиям, предъявляемым к нему проектировщиком, то проектирование технологического процесса продолжается по выбранной схеме высадки.

Затем выполняют окончательную разработку технологии штамповки; оформление технологической документации; проектирование оснастки; опытную проверку технологии и запуск в производство.

Выводы по работе.

1. Одним из основных факторов, определяющих качество поковок, а также эксплуатационную стойкость и срок службы изготавливаемых из них деталей, является распределение волокнистого строения по конфигурации поковки и относительно контактных поверхностей.

Установлена недостаточность систематических исследований стойкости на истирание в зависимости от расположения макроструктуры относительно контактной поверхности детали.

2. Установлено значительное влияние различного расположения волокнистого строения относительно контактной поверхности детали на ее стойкость на истирание. Наибольшая износостойкость имеет место в случае продольной ориентировки волокон (угол выхода волокон на контактную поверхность равен 0°), а наименьшие значения – в случае поперечной ориентировки волокон (угол выхода волокон - 90°). Разница наибольшего и наименьшего значений износостойкости составляет: для образцов после отжига ~40%, для образцов после закалки и отпуска ~20%.

3. Экспериментальные исследования особенностей формоизменения и волокнистого строения при одно- и многопереходной высадке поковок типа стержня с шаровой головкой из алюминиевого сплава 1050А (АД-0) позволили установить основные факторы, влияющие на распределение волокнистого строения поковок при высадке на ГKM. Наибольшее влияние на отчетливость заполнения полостей инструмента и степень искажения волокнистого строения оказывают размеры заготовки и несовершенство ее геометрической формы (относительная высаживаемая длина и скос торца заготовки), а также способ наборной высадки (в пуансоне или в матрице).

4. Выявлен характер искажений волокнистого строения поковок типа стержня с шаровой головкой в интервале предельных отношений параметров одно- и многопереходной высадки. Составлены таблицы распределения волокнистого строения поковок в зависимости от технологических параметров высадки, которые можно использовать для приближенной оценки характера искажений волокнистого строения поковок при горячей высадке стали на ГKM.

5. Определены относительные величины и построены математические модели процесса высадки поковок с шаровой головкой, позволяющие при проектировании технологического процесса определить степень искажения волокнистого строения в зависимости от технологических параметров высадки.

6. Определены предельно допустимые значения показателей степени искаженности волокнистого строения поковок с шаровой головкой, при которых возможно получение благоприятного волокнистого строения поковки. Для однопереходной высадки при $\psi = 2.7$ и $\gamma > 2^\circ$: $K_{\max}^{\text{доп}} = 0.06$ и $\alpha_{\text{доп}} = 2.7^\circ$; для многопереходной высадки при $\psi = 5.0$ и $\gamma > 2^\circ$: $K_{\max}^{\text{доп}} =$

0.122, $K_{\text{ср}}^{\text{доп}} = 0.103$ и $\alpha_{\text{доп}} = 7.0^\circ$ (наборная высадка в пуансоне); $K_{\text{max}}^{\text{доп}} = 0.087$, $K_{\text{ср}}^{\text{доп}} = 0.077$ и $\alpha_{\text{доп}} = 2.3^\circ$ (наборная высадка в матрице).

7. Разработанная методика автоматизированного проектирования технологических процессов высадки поковок с шаровой головкой с направленным волокнистым строением на ГKM рекомендуется для разработки процессов высадки поковок с шаровой головкой для получения благоприятного волокнистого строения в рабочей контактной зоне поковки с целью повышения эксплуатационной стойкости и увеличения срока службы детали в 2-4 раза.

Список опубликованных работ по теме диссертации

1. Лавриненко В.Ю. Определение влияния угла конического пуансона на равномерность распределения твердости по сечению болта при высадке // Студенческая весна-98: теория, процессы и оборудование обработки металлов давлением: Сб. научных трудов. - М., 1998. - С.31-36.
2. Семенов Е.И., Лавриненко В.Ю., Белокуров О.А. Штамповка поковок с контролируемым волокнистым строением // Оптимизация производственных процессов: Сб. науч. трудов. Севастопольский государственный технический университет (Севастополь). - 2001. - Вып. 4. - С. 198-203.
3. Штамповка поковок с направленным волокнистым строением / О.А. Банных, В.Ю. Лавриненко, Е.И. Семенов и др. // Вестник машиностроения. - 2000. - № 10. - С.33-37.
4. Семснов Е.И., Белокуров О.А., Лавриненко В.Ю. Штамповка осесимметричных поковок с направленным волокнистым строением // Машиностроительные технологии: Сб. тез. докл. Всероссийской научно-технической конференции. - М., 2000.- Ч. 1. - С.60.
5. Лавриненко В.Ю., Семенов Е.И. Штамповка поковок с направленным волокнистым строением // Технология и оборудование современного машиностроения: Сб. тез. докл. Всероссийской молодежной научно-технической конференции. - Уфа, 2000. - С.53.
6. Семенов Е.И., Белокуров О.А., Лавриненко В.Ю. Исследование влияния расположения волокон относительно контактной поверхности на ее стойкость на истирание // Механика деформируемого тела и обработки металлов давлением: Сб. науч. трудов Тульского государственного университета. - Тула, 2001. - Ч. 1. - С. 55-60.
7. Патент 2238167 (РФ). Способ изготовления шаровых пальцев/ Е.И. Семенов, Ю.А. Лавриненко., В.Ю. Лавриненко // Б.И. - 2004. - №29.