

Н
На правах рукописи

УДК 621.979.15

Белокуров Олег Александрович

**РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ
ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА ШТАМПОВКИ КОЛЬЦЕВЫХ
ПОКОВОК 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 - заслуженный деятель науки и техники РФ,
доктор технических наук,
профессор Семенов Е. И.

Официальные оппоненты: доктор технических наук,
профессор Субич В.Н.;
кандидат технических наук,
Гришин Д.В.

Ведущая организация - ОАО «Московский подшипник» (ИПТЗ)

Защита состоится « 06 » октября 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 « 01 » 09. 2004 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета
кандидат технических наук, доцент



Семенов

Подписано к печати 30.06.04 зак. 145 Объем 1.0 п.л. Тир. 100
Типография МГТУ им. Н.Э.Баумана

НТБ МГТУ им. Н.Э.Баумана



1680416

Белокуров О.А. Разработка

Актуальность работы. Развитие машиностроения в числе других факторов зависит от качества деталей, из которых состоят машины. В свою очередь качество деталей определяется качеством заготовок. Важнейшими заготовками являются кованные и штампованные поковки, которые используют для изготовления наиболее ответственных деталей машин. От качества кованных и штампованных поковок зависит во многом качество деталей и машин и их конкурентоспособность.

Получение необходимого качества поковок составляет одну из главных задач кузнечно-штамповочного производства. Вопросы качества поковок являются многоплановыми и решаются по многим конкретным направлениям.

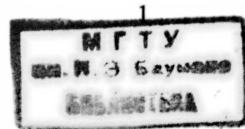
Традиционные методы получения необходимого качества в настоящее время не всегда удовлетворяют требованиям машиностроения. Особенно это касается деталей с высоконагруженными контактными поверхностями. К ним относятся детали типа подшипников, шаровых опор и направляющих. Ранее было установлено влияние макроструктуры на механические характеристики прочности и пластичности относительно направления волокон и действующих напряжений, возникающих в деталях при работе машин. Вместе с тем, в настоящее время, методами обработки металлов давлением можно получить практически любую необходимую макроструктуру в поковке а, следовательно, в детали. Таким образом, путем обработки металлов давлением можно получить специально направленное волокнистое строение в поковке. Направленное волокнистое строение на контактных поверхностях деталей типа направляющих можно получить при ковке (протяжке) или штамповке из проката, с учетом ориентации волокна в нем.

Более сложно решается вопрос получения направленного волокнистого строения в деталях типа колец подшипников и в деталях типа стержня с фланцем. Пользуясь обычными методиками проектирования в этих случаях невозможно получить требуемое направленное волокнистое строение в поковках и, соответственно в деталях. Здесь необходимо проведение экспериментальных исследований для определения изменения волокнистого строения по ходу деформирования на различных этапах штамповки.

В настоящее время отсутствуют систематические исследования по стойкости на контактную выносливость в зависимости от угла выхода волокон на контактную поверхность.

Отсутствие методики проектирования техпроцессов штамповки поковок с направленным волокнистым строением затрудняет внедрение процессов изготовления деталей с благоприятным распределением волокон макроструктуры по контактным рабочим поверхностям.

Целью работы является разработка методики проектирования технологических процессов штамповки кольцевых поковок с направленным волокнистым строением, на основе проведенных экспериментальных и теоре-



тических исследований для повышения контактной выносливости изготавливаемых из них деталей за счет создания благоприятного волокнистого строения по рабочей контактной поверхности.

Методы исследований. Экспериментальные исследования проводили методом масштабного моделирования (масштаб 5,57) на алюминиевом сплаве АМц на гидравлическом прессе с номинальной силой 1,6 МН и универсальной испытательной машине (УИМ-50), используя разработанную оснастку, позволяющую моделировать штамповку на горизонтально-ковочных машинах (ГКМ) в пуансоне и матрице с разным диаметром заготовок и с пуансонами, имеющие разные размеры наметки.

Численное моделирование процессов штамповки проведено методом конечных элементов с использованием соответствующих математических моделей в программном комплексе QForm, предназначенном для анализа пластического формоизменения заготовок.

Экспериментальные исследования и численное моделирование техпроцессов штамповки поковок разработаны с использованием методов факторного планирования для построения математических моделей и их анализа.

Научную новизну имеют следующие результаты:

- результаты численных и экспериментальных исследований процесса штамповки поковок колец, показывающие распределение волокон по переходам штамповки и возможности по смещению участка с выходом волокон макроструктуры под углом к контактной поверхности в не рабочую зону кольца при штамповке на ГКМ;
- на основе численных и экспериментальных исследований установлено, что основное влияние на выход волокон макроструктуры под углом к контактной поверхности поковки кольца при штамповке на ГКМ оказывает высота участка с выходом волокон на заготовку после просечки, уменьшить которую можно увеличив высоту цилиндрического участка наметки формовочного пуансона;
- методика проектирования технологических процессов штамповки кольцевых поковок с направленным волокнистым строением, позволяющая изготавливать поковки колец с распределением волокон макроструктуры преимущественно вдоль рабочих контактных поверхностей, что повысит контактную выносливость колец в 2-4 раза.

Практическую значимость имеют следующие результаты:

- математические модели процесса штамповки поковок колец на ГКМ, позволяющие на стадии проектирования техпроцесса определить высоту участка с выходом волокон макроструктуры под углом к контактной поверхности в зависимости от размеров наметки формовочного пуансона, диаметра прутка и способа штамповки в пуансоне или в матрице;
- предложенные, на основании численных и экспериментальных исследований, схемы штамповки поковок колец на ГКМ в пуансоне и в матрице с

распределением волокон макроструктуры вдоль рабочих контактных поверхностей, для увеличения контактной выносливости внутренних колец подшипников;

- установленные, на основании проведенных исследований, зависимости по влиянию параметров техпроцесса штамповки поковок колец на ГKM на волокнистое строение поковок колец;
- методика компьютерного моделирования штамповки поковок колец на ГKM в программном комплексе QForm, позволяющая получать распределение волокон макроструктуры по конфигурации поковки кольца.

Апробация работы.

Основные положения работы доложены и обсуждены на:

- 3-й научно-технической конференции «Механика и новые технологии», Севастополь, Севастопольский гос. техн. 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.
- Международной научно-технической конференции «Применение теории пластичности в современных технологиях обработки давлением». Украина, Винница, Винницкий гос. техн. университет, 30 мая – 2 июня 2001 г.
- Научно-технической конференции «Механика деформируемого твердого тела и обработка металлов давлением». Тула, Тульский государственный университет, 2001 г.
- Международной научно-технической конференции «Прогрессивные технологии и оборудование кузнечно-штамповочного производства». МГТУ «МАМИ», кафедра «КиОД», 2-3 декабря 2003 г.
- Научно-технических семинарах кафедры «Технологии обработки давлением», МГТУ им. Н.Э.Баумана.

Публикации. Основное содержание диссертационной работы изложено в 8-ми работах, включая статьи и опубликованные тезисы докладов конференций.

Структура и объем диссертации. Диссертация состоит из введения, четырех глав, основных выводов, списка литературы. Работа выполнена на 204 страницах машинописного текста, содержит 80 рисунков, 35 таблиц и список литературы из 64 наименований.

Автор защищает:

- математические модели штамповки поковок колец на ГKM показывающие зависимость высоты участка с выходом волокон под углом к контактной поверхности поковки кольца и прутка после просечки от размеров наметки формовочного пуансона, диаметра заготовки и способа штамповки в пуансоне и в матрице;

- методику компьютерного моделирования операции просечки поковки при моделировании штамповки поволоков колец на ГKM в программном комплексе QForm с целью получения распределения волокон макроструктуры по конфигурации поковки кольца;
- результаты экспериментальных исследований, полученных на алюминиевом сплаве АМц при масштабном моделировании показывающие, что основное влияние на исключение выхода волокон макроструктуры под углом к контактной рабочей поверхности оказывает высота цилиндрического участка формовочного пуансона, а также способ штамповки на ГKM;
- результаты компьютерного моделирования, полученные на стали ШХ15, имеющие хорошую сходимость с результатами экспериментальных исследований и реальным заводским технологиям, использование которых при проектировании позволяет разработать оптимальный техпроцесс штамповки поволоков колец с направленным волокнистым строением;
- методику проектирования технологического процесса штамповки кольцевых поволоков на ГKM с направленным волокнистым строением, преимущественно вдоль контактных рабочих поверхностей, что увеличит их контактную выносливость.

КРАТКОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

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

В первой главе проведен анализ литературных источников, посвященных вопросам влияния макроструктуры на эксплуатационные свойства детали, рассмотрены требования, предъявляемые к волокнистому строению поволоков (деталей), а также искажения волокнистого строения при деформировании заготовок с учетом особенностей формоизменения.

В главе рассмотрены существующие способы изготовления поволоков колец подшипников, и методы экспериментальных и численных исследований процессов пластического формоизменения заготовки.

При изучении литературных источников было установлено, что в числе показателей, определяющих качество поволоков, важным фактором является волокнистое строение. Исследование искажения волокон при высадке в коническую полость, проведенные Зиновьевым И.С. и Семеновым Е.И. (МГТУ им.Н.Э.Баумана), показали, что особенности формоизменения обуславливают особенности искажений линий макроструктуры при деформировании. Также были сформулированы требования к волокнистому строению для поволоков типа стержня с утолщением, штампуемых на ГKM.

Большой комплекс работ по исследованию влияния макроструктуры деталей на их работоспособность был выполнен в подшипниковой промышленности, многие из которых были посвящены разделному изучению влия-

ния составляющих макроструктуры. Эти работы показали, что направление волокон имеет большое самостоятельное значение.

Так исследования влияния волокнистого строения на контактную выносливость, проведенные Шейном А.С. (ЭНИИПП) и Раузиным Я.Р., показали существенную зависимость контактной выносливости (в 2-4 раза) от направления и угла выхода волокон макроструктуры к контактной поверхности. Полученная зависимость долговечности колец подшипников от угла между направлением выхода волокон и нормалью к контактной площадке в зоне максимального нагружения, показывает, что при угле менее 40-45° происходит резкое снижению долговечности.

Исследования на долговечность шарико- и роликоподшипников, проведенные Колотенковым И.В. (ВНИИПП), показали, что долговечность подшипника в значительной степени определяется плотностью и чистотой металла, а также ориентировкой волокон на дорожке качения колец. Выход волокон под углом к поверхности роликовой дорожки и, особенно, по ее краям значительно снижает долговечность роликовых подшипников.

С другой стороны, современные методы обработки давлением позволяют получить практически любое наперед заданное волокнистое строение в определенных поверхностях поковки. Благоприятный вариант расположения волокон в кольце зависит от типа подшипника и расположения рабочей поверхности, что предполагает разные требования к кольцам.

Отмечено, что в настоящее время отсутствуют систематизированные исследования по определению долговечности контактных поверхностей в зависимости от угла выхода волокон макроструктуры к поверхности.

Обзор способов штамповки поковок колец показал, что распределение волокон макроструктуры определяет способ штамповки и используемая заготовка. В дальнейшем изменить полученное волокнистое строение практически невозможно. В ТУ-37.006.048-73 к железнодорожным подшипникам указывают, что волокна не должны выходить на контактную поверхность более чем на 1/3 длины дорожки качения и под углом более 30°. Штамповку колец таких подшипников обычно выполняют на ГKM в пуансоне в двух ручьях (формовочный и просечной) от прутка с использованием переднего упора. При штамповке по типовой схеме благоприятного распределения волокон достичь не удастся, поковки имеют характерную форму S-образного распределения волокон, с выходом волокон, как на внутреннюю, так и на наружную поверхность (рис.1). Было установлено, что неблагоприятная картина волокнистого строения поковки внутреннего кольца формируется на основе распределения волокон макроструктуры в прутке после просечки.

Был проведен анализ экспериментальных и численных методов исследований. Одним из перспективных методов для исследования волокнистого строения поковок является метод травления на макроструктуру, который позволяет по искажению линий макроструктуры, присутствующих в

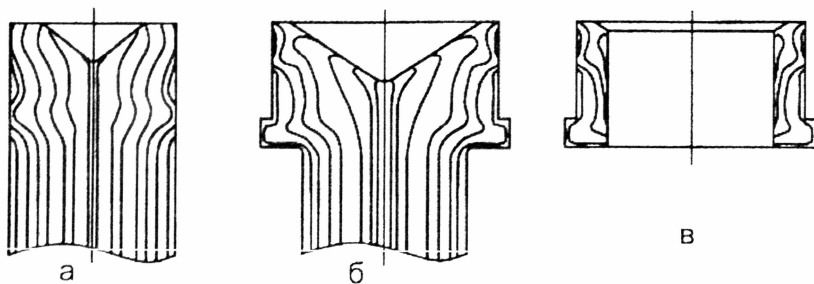


Рис. 1. Формирование волокнистого строения поковки кольца подшипника при штамповке на ГKM в пуансоне:
а - пруток после просечки; б - формовка 2-ой поковки; в - вторая поковка

заготовке, судить о процессе пластического течения металла, а также исследовать распределение волокон в поковке по переходам штамповки.

Существующие компьютерные программы (например, QForm, DEFORM и др.), основанные на методе конечных элементов, позволяют проследить формоизменение заготовки при пластической деформации, определить волокнистое строение по переходам штамповки, а также разработать новые техпроцессы, обеспечивающие благоприятное распределение волокон на контактных поверхностях поволоков (деталей).

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

1. Разработать методику экспериментальных исследований влияния технологии штамповки поволоков колец на ГKM на распределение волокон по конфигурации поковки, выбрать материал и масштаб моделирования, подобрать оборудование; разработать методику травления образцов из материала модели на макроструктуру, для получения волокнистого строения по переходам штамповки.

2. Выполнить экспериментальные исследования по определению влияния способа штамповки поволоков колец на ГKM в пуансоне или матрице, размеров и формы формовочного пуансона, диаметра заготовки на формирование волокнистого строения поковки кольца.

3. Создать математические модели и разработать методику компьютерного моделирования для исследования влияния технологических процессов штамповки поволоков колец на распределение волокон по конфигурации поковки.

4. Провести проверку на адекватность физическому эксперименту математической модели и компьютерного моделирования, выполнить компьютерное моделирование технологических процессов штамповки поволоков для

исследования влияния основных параметров штамповки поковок колец на распределение волокон по поверхности.

5. Разработать новые технологические процессы штамповки поковок колец на основе компьютерного моделирования, обеспечивающие повышение контактной прочности колец путем создания благоприятного волокнистого строения по контактной поверхности.

6. Разработать методику проектирования технологических процессов штамповки поковок с направленным волокнистым строением с целью создания благоприятного распределения волокон на контактной поверхности, исключив выход волокон под углом к поверхности.

Во второй главе разработаны методики экспериментальных исследований и компьютерного моделирования по изучению распределения волокон макроструктуры в зависимости от основных технологических факторов. Основными исследуемыми факторами являлись: способ штамповки на ГKM в пуансоне или матрице, высота цилиндрического и угол конического участков наметки формовочного пуансона, диаметр заготовки.

Объектом исследований выбрано внутреннее кольцо железнодорожного подшипника 30-42726Л4м. Это кольцо является тяжелонагруженной деталью подшипника ответственного назначения, к которому по ТУ 37.006.047-73 предъявляют повышенные требования качества и надежности. С другой стороны, поковка этого кольца является однобортовой, что дает возможность охватить большее число разнообразных вариантов штамповки поковок колец.

Эксперименты проводили методом масштабного моделирования (масштаб 5,57) на гидравлическом прессе с номинальной силой 1,6 МН. Использовали заготовки из алюминиевого сплава АМц, который в холодном состоянии адекватно моделирует пластическое формоизменение заготовки из стали в условиях горячего деформирования, а также, после макротравления, имеет четкое волокнистое строение. Разработана методика комбинированного макротравления на волокнистое строение алюминиевых поковок-моделей.

Созданы 2-а штампа с разными вставками для моделирования операций штамповки поковок колец на ГKM: первый штамп для моделирования формовочного перехода, второй – для операции просечки. Штампы позволяют моделировать штамповку в пуансоне и в матрице, со сменными формовочными пуансонами, имеющими разные наметки, и использовать заготовки разного диаметра. Относительную высаживаемую длину регулировали подкладками. В результате эксперимента получали образцы первого и второго формовочного перехода, поковки первого и второго кольца, заготовку после просечки. Снимали размеры с образцов и получали макрошлиф с волокнистым строением.

Методика проведения экспериментальных исследований заключается в построении, методами факторного планирования, математических моделей, которые описывают зависимость высоты участка с выходом волокон макро-

структуры под углом к контактной поверхности кольца и заготовки после просечки от таких факторов техпроцесса штамповки поковок колец на ГKM, как штамповка в пуансоне или в матрице, диаметра заготовки, формы и размеров наметки формовочного пуансона.

Компьютерное моделирование проводили в программном комплексе для моделирования и анализа пластического течения деформируемой заготовки QForm 2D (фирма «КванторФорм»), которая основана на конечно-элементом алгоритме (ядре системы). Моделировали на стали ШХ15 в условиях горячего деформирования с размерами поковки, соответствующими заводским технологиям.

Методика проведения компьютерного моделирования заключается в построении, методами факторного планирования, математических моделей, аналогичных полученным экспериментальными исследованиями.

Моделирование операции просечки, оказывающей определяющее влияние на волокнистое строение поковки кольца, проводили по следующей методике. Этапу разделения поковки от прутка при просечке на ГKM предшествует этап, при котором происходит течение металла под торец пуансона просечки с увеличением силы деформирования. В некоторый момент сопротивление срезу становится меньше сопротивления смятия металла и происходит разделение поковки от прутка. График «сила – рабочий ход» при просечке представляет собой кривую с максимумом, аналогично графику при обрезке облоя.

Исходя из этого, проводили моделирование внедрения пуансона просечки в поковку после первого формовочного перехода, по схеме операции просечки, на графике «сила – рабочий ход» брали момент времени с максимальной силой и поковку для данного момента передавали на второй формовочный переход с выполнением предварительной операции «обрезка облоя по радиусу».

Результаты сравнения формы и размеров заготовок после просечки, полученных компьютерным и физическим моделированием, показали хорошую сходимость и их адекватность.

Разработана методика компьютерного моделирования техпроцесса штамповки поковки кольца на прессе линии «Вагнер» для исследования распределения волокон макроструктуры по конфигурации поковки кольца. Рассмотрена поковка кольца с теми же размерами, что и для штамповки на ГKM.

В третьей главе приведены результаты физического и компьютерного моделирования по распределению волокон макроструктуры в поковке кольца в зависимости от технологических факторов штамповки на ГKM по переходам штамповки, а также результаты компьютерного моделирования штамповки поковки кольца на прессе типа линии «Вагнер».

Для экспериментального исследования распределения волокон макроструктуры по переходам штамповки поковки кольца на ГKM было проведе-

но: 6-ть серий опытов – для штамповки в пуансоне, и 4-е серии опытов – для штамповки в матрице, с варьированием факторов, приведенных в табл. 1.

Физические эксперименты по исследованию влияния параметров процесса штамповки поковок внутреннего кольца подшипника 30-42726л4м на ГKM, проведенные на моделях из сплава АМц (в масштабе 5,57), на распределение волокон макроструктуры по конфигурации поковки показали:

1. При штамповке в пуансоне длина участка с выходом волокон под углом к контактной рабочей поверхности изменяется от 3,2-3,5 мм (опыт №4, 6) до 6,8-7,0 мм (опыт №1, 3). Применение пуансонов №4, 6 позволяет исключить выход волокон на контактную рабочую поверхность, сместив участок с выходом волокон под углом к поверхности на фаску кольца, в не рабочую зону. Длина фаски кольца, учитывая припуск и допуск на поковку 12 (20) мм с учетом масштаба 5,57 высота участка с выходом волокон под углом к наружной поверхности поковки может составлять 3,5 мм, тогда после обработки резанием волокна макроструктуры будут направлены вдоль всей контактной рабочей поверхности;

2. При штамповке в матрице длина участка с выходом волокон под углом к контактной рабочей поверхности изменяется от 0 мм (опыт №2, 3) до 1,3 мм (опыт №1). Применение пуансонов №2, 3 позволяет исключить выход волокон на контактную рабочую поверхность, сместив участок с выходом волокон под углом к поверхности в зону борта.

Таблица 1.

№ опыта	Диаметр заготовки d, мм	Высота цилинд. уч-ка наметки формовочного пуансона h, мм	Угол конического уч-ка наметки формовочного пуансона α , мм
Штамповка в пуансоне			
1	20	0	45
2	18	4	45
3	18	0	55
4	20	8	55
5	20	4	65
6	18	8	65
Штамповка в матрице			
1	20	3	60
2	20	6	45
3	18	6	60
4	18	3	45

Для компьютерного моделирования распределения волокон макроструктуры по переходам штамповки поковки кольца на ГKM было проведе-

но: 6-ть серий опытов – для штамповки в пуансоне, и 4-е серии опытов – для штамповки в матрице. Компьютерное моделирование проводили на стали ШХ15 для реальных размеров поковки кольца, а для проверки адекватности, полученных результатов компьютерного моделирования, результатам экспериментальных исследований, также варьировали факторами, приведенными в табл. 1, но размеры высоты цилиндрического участка (h) наметки формовочного пуансона и диаметр заготовки (d) увеличивали 5,57 раз в соответствии с масштабом экспериментов.

Компьютерное моделирование по исследованию влияния параметров техпроцесса штамповки поковок внутреннего кольца подшипника 30-42726л4м на ГKM, проведенные на стали ШХ15, на распределение волокон макроструктуры по конфигурации поковки показало:

1. При штамповке в пуансоне длина участка с выходом волокон под углом к контактной рабочей поверхности изменяется от 13,0-15,8 мм (опыт №4, 6) до 32,5-34,1 мм (опыт №1, 3). Применение пуансонов №4, 6 позволяет исключить выход волокон на контактную рабочую поверхность, сместив участок с выходом волокон под углом к поверхности на фаску кольца, в не рабочую зону;

2. При штамповке в матрице длина участка с выходом волокон под углом к контактной рабочей поверхности изменяется от 0 мм (опыт №2, 3) до 7,9 мм (опыт №1). Применение пуансонов № 2,3 позволяет исключить выход волокон на контактную рабочую поверхность, сместив участок с выходом волокон под углом к поверхности в зону борта.

Проведенные исследования установили, что основное влияние на уменьшение участка с выходом волокон под углом к контактной поверхности поковки кольца, при штамповке на ГKM, оказывает увеличение высоты цилиндрического участка наметки формовочного пуансона. Следует отметить, что увеличение высоты цилиндрического участка на формовочном пуансоне ухудшает заполняемость гравюры штампа. Угол конуса наметки формовочного пуансона и диаметр заготовки оказывает слабое влияние на высоту участка с выходом волокон макроструктуры под углом к поверхности. Угол конуса наметки формовочного пуансона влияет на равномерность распределения волокон по конфигурации поковки. При уменьшении угла конуса распределение волокон по конфигурации поковки становится более равномерным и плавным.

Аналогичные данные, полученные для высоты участка с выходом волокон под углом к наружной поверхности для заготовки после просечки, показали, что основное влияние на уменьшение этой высоты оказывает увеличение высоты цилиндрического участка наметки формовочного пуансона.

Штамповка поволоков колец на ГKM в матрице, для получения благоприятного волокнистого строения поковки кольца (увеличение контактной выносливости кольца), является более предпочтительной по сравнению со

штамповкой на ГKM в пуансоне. Для односторонних поволоков внутренних колец, когда в зону борта можно сместить участок с выходом волокон под углом к наружной поверхности заготовки после просечки, волокна будут направлены вдоль контактной поверхности дорожки качения. Также необходимо учитывать, что штамповка на ГKM в матрице, по сравнению со штамповкой в пуансоне, имеет следующие недостатки: увеличение припусков на обработку резанием, увеличение силы деформирования, возможность образования заусенца, увеличение времени на наладку и т.д.

Компьютерное моделирование техпроцесса штамповки поволоки внутреннего кольца подшипника 30-42726л4м на прессе типа линии «Вагнер», проведенные на стали ШХ15, показало, что распределение волокон макроструктуры по конфигурации поволоки является благоприятным, волокна направлены вдоль контактной рабочей поверхности кольца. Следует отметить, что при штамповке поволоков наружных колец, волокна будут выходить под углом $\sim 45-90^\circ$ к контактной рабочей поверхности, что резко снизит контактную выносливость наружного кольца подшипника.

В четвертой главе проведен анализ результатов экспериментальных и численных исследований, проверена их адекватность заводской технологии. Построены математические модели, отражающие выход волокон макроструктуры под углом к контактной поверхности в зависимости от технологических параметров штамповки поволоков колец. Разработана методика проектирования техпроцесса штамповки кольцевых поволоков с направленным волокнистым строением, преимущественно вдоль контактной рабочей поверхности.

Проведенный сравнительный анализ волокнистого строения макрошлифа внутреннего кольца железнодорожного подшипника из стали ШХ4, изготовленного по заводской технологии, волокнистого строения поволоки кольца, полученного экспериментально на заготовках из алюминиевого сплава АМц, и волокнистого строения поволоки кольца, полученного компьютерным моделированием на стали ШХ15 в программном комплексе QForm, показал хорошую сходимость картины распределения волокнистого строения по конфигурации поволоки.

В результате исследования штамповки поволоков колец на ГKM методом многофакторного эксперимента было построено 8-мь математических моделей ($Y_1 - Y_8$), отражающих выход волокон макроструктуры в зависимости от технологических параметров штамповки. Были рассмотрены модели с выходом волокон в поволоках колец (Y_1, Y_3, Y_5, Y_7) и в прутках после просечки (Y_2, Y_4, Y_6, Y_8), которые отражают штамповку поволоков в пуансоне и матрице, а также физический эксперимент на заготовках из алюминиевого сплава АМц, и компьютерное моделирование на стали ШХ15.

Ниже приведены математические модели, отражающие выход волокон под углом к контактной поверхности для поволоков колец.

Физический эксперимент.

Штамповка в пуансоне:

$$Y_1 = 6,775 - 0,0875 \cdot h - 0,0461 \cdot h^2 + 0,0125 \cdot \alpha - 0,025 \cdot d.$$

Штамповка в матрице:

$$Y_3 = 0,975 - 0,325 \cdot h + 0,005 \cdot \alpha + 0,0375 \cdot d.$$

Компьютерное моделирование.

Штамповка в пуансоне:

$$Y_5 = 35,7591 - 0,0438 \cdot h - 0,0085 \cdot h^2 + 0,1333 \cdot \alpha - 0,0858 \cdot d.$$

Штамповка в матрице:

$$Y_7 = 0,7762 - 0,3448 \cdot h + 0,0533 \cdot \alpha + 0,0792 \cdot d.$$

Модели Y учитывают высоту участка с выходом волокон под углом к контактной поверхности поковки кольца в зависимости от таких параметров, как высота цилиндрического участка (h) и угол конического участка (α) наметки формовочного пуансона и диаметр заготовки (d).

Сравнивая модели Y_1 с Y_5 и Y_3 с Y_7 можно отметить, что знаки у соответствующих варьируемых факторов одинаковы, что указывает на одинаковое направление влияния данных параметров на модель. Также, при сравнении моделей Y_1 и Y_5 для штамповки повок колец в пуансоне с моделями Y_3 и Y_7 для штамповки повок колец в матрице, можно отметить разное направление влияния диаметра прутка на соответствующие модели. Для моделей соответствующих штамповки в пуансоне перед диаметром стоит знак минус, и при увеличении диаметра прутка модель уменьшается, а для моделей соответствующих штамповки в матрице, наоборот, диаметр стоит со знаком плюс, и при увеличении диаметра прутка модель увеличивается. Причем такое соотношение характерно как для физического эксперимента, так и для компьютерного моделирования.

Аналогичные математические модели получены также для прутка после просечки, которые хорошо соответствуют и согласуются с математическими моделями для повок колец.

Сопоставление математических моделей, полученных для физического эксперимента на заготовках из алюминиевого сплава АМц, с соответствующими математическими моделями, полученными для компьютерного моделирования на стали ШХ15 показывает хорошую сходимость полученных результатов.

Проведенный анализ по влиянию варьируемых факторов эксперимента на полученные математические модели показал следующие результаты.

Наименьшее влияние на математические модели оказывает диаметр прутка d (однако, надо учитывать, что интервал его варьирования так же является наименьшим и составляет 10%). Расхождение значений по влиянию диаметра на соответствующие модели составляет до 3%.

Более сильное влияние на математические модели оказывает угол конуса α формовочного пуансона. Расхождение значений по влиянию угла конуса на соответствующие модели составляет до 4%.

Наибольшее влияние на математические модели оказывает высота цилиндрического участка h формовочного пуансона, которая в основном и определяет высоту участка с выходом волокон на контактную поверхность поковки кольца. Расхождение значений по влиянию высоты цилиндрического участка на соответствующие модели составляет до 8%.

Адекватность полученных результатов с применением компьютерного моделирования в программном комплексе QForm, позволяет использовать компьютерное моделирование при проектировании техпроцессов штамповки поволоков колец на ГKM с направленным волокнистым строением, что сократить время и повысить качество проектируемых техпроцессов.

На основе проведенных экспериментальных и теоретических исследований разработана методика проектирования техпроцессов штамповки поволоков колец на ГKM с направленным волокнистым строением, обеспечивающих повышение контактной прочности изготавливаемых из них деталей.

Процедуры проектирования техпроцесса штамповки состоят из таких блоков, как: анализ чистовой детали; выбор оборудования и определение технических условий; выбор схемы технологического процесса штамповки; конструирование поковки; разработка технологии штамповки; оформление технологической документации; проектирование оснастки; опытная проверка технологии; запуск в производство.

При определении технических условий на деталь конструктор формирует требования к распределению волокон макроструктуры в детали с учетом ее дальнейшей эксплуатации, и учитывая это требование необходимо подбирать оборудование, а также варианты техпроцесса штамповки, позволяющие получать заданное волокнистое строение.

Выбор схемы техпроцесса штамповки необходимо выполнять с учетом таблицы с классификацией деталей и с указанием распределения волокнистого строения и переходов. Для этого должны быть созданы для типовых техпроцессов штамповки основные схемы распределения волокон макроструктуры по конфигурации поковки в зависимости от конструктивных особенностей поковки, и уже на основе таблицы схем анализировать волокнистое строение изготавливаемой детали.

Схемы и методы расчета параметров штамповки на молотах и КГШІ формально идентичны. Процесс проектирования технологии штамповки на ГKM выделяют в отдельную самостоятельную подсистему, т.к. она значительно отличается от упомянутых выше и имеет лишь некоторые общие с ними процедуры.

Ниже приведен алгоритм проектирования техпроцесса штамповки поволоков колец на ГKM с направленным волокнистым строением.

Алгоритм проектирования технологического процесса штамповки:

1. Кодирование чертежа поковки (геометрический образ).
2. Определение объема и массы поковки.
3. Разработка алгоритмов расчета технологических параметров штамповки поковок колец.

3.1. Определение размеров наметки.

Основные размеры наметки (рис. 2) для отверстия поволоков типа колец определяют в зависимости от геометрических соотношений.

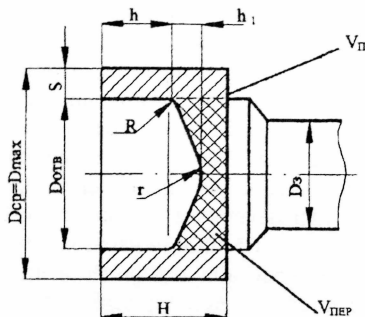


Рис. 2. Схема к определению размеров наметки кольца

При проектировании техпроцесса штамповки поволоков колец с направленным волокнистым строением, размеры наметки выбирают также из условия получения волокнистого строения направленного вдоль контактных поверхностей кольца.

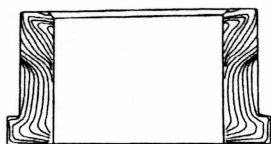
Для этого можно использовать таблицы с распределением волокон макроструктуры по конфигурации поковки или определять получаемое волокнистое строение путем компьютерного моделирования пластического течения деформируемой заготовки, например, в программном комплексе QForm по разработанной ранее методике.

Пример такой таблицы, со схемами распределением волокон макроструктуры по конфигурации поковки кольца в зависимости от выбранных размеров наметки и способа штамповки, приведен на рис. 3.

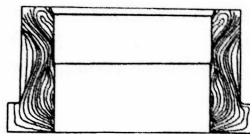
Для поволоков колец с геометрическими соотношениями равными исследованной в данной работе поковки кольца, рекомендуется использовать математические модели, полученные в работе.

- 3.2. Определение объема и массы заготовки.
- 3.3. Определение оптимального диаметра заготовки.
- 3.4. Определение размеров наборных переходов
- 3.5. Определение размеров пережимной части прутка.
- 3.6. Определение размеров подъемной части прутка.
4. Определение силы высадки и выбор ГKM.

Штамповка в пуансоне.

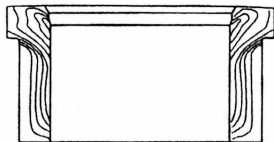


$h = 0 \text{ мм},$
 $h_1 = 53,4 \text{ мм}$

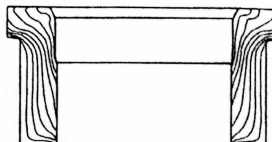


$h = 44,6 \text{ мм},$
 $h_1 = 36,8 \text{ мм}$

Штамповка в матрице.



$h = 16,7 \text{ мм},$
 $h_1 = 27,8 \text{ мм}$



$h = 33,4 \text{ мм},$
 $h_1 = 51,8 \text{ мм}$

Рис. 3. Таблица, с распределением волокон макроструктуры по конфигурации поковки кольца в зависимости от размеров наметки

Выводы по работе:

1. Установлено, что отсутствуют систематические исследования по определению стойкости контактных поверхностей (на контактную выносливость и на истирание) в зависимости от расположения волокон макроструктуры.

В числе факторов, влияющих на качество детали, важным фактором является расположение волокон макроструктуры в поковках (и в деталях) относительно контактных поверхностей.

2. Экспериментальные исследования штамповки поковок колец на ГКМ на моделях из алюминиевого сплава АМц при штамповке в пуансоне и в матрице позволили установить основные факторы, влияющие на волокнистое строение поковок колец. Наибольшее влияние на высоту участка с выходом волокон под углом к контактной поверхности оказывает высота цилиндрического участка формовочного пуансона. Анализ полученных результатов, высоты участка с выходом волокон под углом к контактной поверхности поковки кольца от формы формовочного пуансона, диаметра заготовки и штамповки в пуансоне или в матрице, позволил установить оптимальные параметры техпроцесса для штамповки поковок с благоприятным волокнистым строением.

3. Компьютерное моделирование штамповки поковки кольца на ГКМ на стали ШХ15 позволило получить исходные данные для разработки методики проектирования штамповки с направленным волокнистым строением кольца. Компьютерное моделирование было подтверждено экспериментальными исследованиями штамповки поковки кольца на ГКМ на моделях из сплава АМц на гидравлическом прессе.

4. Компьютерное моделирование штамповки поковки кольца на прессе типа линии «Вагнер» позволило получить исходные данные для проектирования штамповки с благоприятным волокнистым строением внутреннего кольца железнодорожного подшипника 30-42726л4м.

5. Разработанная методика проектирования технологических процессов штамповки поковок на ГKM с направленным волокнистым строением рекомендуется для проектирования процессов штамповки поковок внутренних колец железнодорожных подшипников, который обеспечивает благоприятное направление волокнистого строения на рабочей части кольца, что позволяет повысить контактную выносливость и увеличить срок службы кольца минимум в два раза.

Список опубликованных работ по теме диссертации

1. Штамповка поковок с направленным волокнистым строением / О.А.Банных, О.А.Белокуров, В.М.Блинов и др. // Вестник машиностроения. - 2000.- №10. - С. 33-37.

2. Семенов Е.И., Лавриненко В.Ю., Белокуров О.А. Штамповка поковок с контролируемым волокнистым строением // Оптимизация производственных процессов: Сб. научных трудов. (Севастополь). - 2001. - Вып. 4. - С. 198-203.

3. 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. научных трудов. (Тула). - 2001. - Ч. 1. - С. 55-60.

4. Семенов Е.И., Белокуров О.А., Гудов А.А. Разработка вариантов технологических процессов штамповки колец подшипников путем математического моделирования // Технология металлов. - 2002. - №7. - С. 5-11.

5. Белокуров О.А. Исследование штамповки поковок колец подшипников на ГKM с направленным волокнистым строением // Прогрессивные технологии и оборудование кузнечно-штамповочного производства: Сб. научных трудов. - М.: МГТУ МАМИ, 2003. - С. 106-114.

6. Семенов Е.И., Белокуров О.А., Лавриненко В.Ю. Штамповка осесимметричных поковок с направленным волокнистым строением // Машиностроительные технологии: Сб. тез. докл. ВНТК. - М., 2000. - Ч. 1. - С.60.

7. Семенов Е.И., Белокуров О.А., Гудов А.А.. Моделирование процесса штамповки колец подшипников // Застосування теорії пластичності в сучасних технологіях обробки тиском: Збірник тез доповідей міжнародної науково-технічної конференції. - Вінниця, 2001. - С. 28-29.

8. Белокуров О.А. Разработка многопереходного процесса набортной высадки поковок с симметричным волокнистым строением в условиях горячего деформирования // Студенческая весна - 98: теория, процессы и оборудования обработки металлов давлением: Сб. научных трудов. - М., 1998. - С. 19-30.