

На правах рукописи
УДК 621.735.043

Гудов Андрей Александрович

**РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ
ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА ВЫСАДКИ ПОКОВОК ТИПА
СТЕРЖНЯ С ФЛАНЦЕМ С НАПРАВЛЕННЫМ ВОЛОКНИСТЫМ
СТРОЕНИЕМ**

Специальность 05.03.05 – Технологии и машины обработки давлением

А В Т О Р Е Ф Е Р А Т
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Москва

2009

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность работы.

В числе факторов, определяющих конкурентоспособность в машиностроении, является качество деталей, которое, в свою очередь определяется качеством заготовок. Заготовки, получаемые горячей объемной штамповкой из проката, используют для изготовления наиболее ответственных высоконагруженных деталей. Такими деталями являются подшипники, направляющие, детали типа стержня с фланцем и другие. Детали типа стержня с фланцем представляют собой большую группу деталей, которые широко применяют в промышленности, особенно в автомобилестроении. Примером может служить полуось автомобиля. Её качество зависит от выносливости. От работоспособности полуосей зависит также безопасность движения, а следовательно, и безопасность жизни людей. Увеличить срок службы этой детали можно за счёт повышения её выносливости. В таких деталях, как полуось, имеются опасные сечения. Так, например, при переходе от стержня к фланцу во время работы возникают большие знакопеременные напряжения, из-за которых в дальнейшем происходит усталость металла и поломка детали. Увеличение в этом сечении предела выносливости позволит существенно повысить износостойкость детали. Детали типа стержня с фланцем могут испытывать также износ истиранием по торцу фланца.

Детали типа стержня с фланцем обычно получают высадкой на горизонтально-ковочных машинах (ГКМ). Высадка – это уменьшение высоты части исходной заготовки с одновременным увеличением площади поперечного сечения.

Различают однопереходную высадку и высадку с наборными переходами. Возможность осуществления однопереходной высадки и необходимость проведения наборных переходов связаны, прежде всего, с размерами высаживаемого конца заготовки, которые в свою очередь, определяются необходимым объёмом фланца. С увеличением значения относительной высаживаемой длины растёт опасность потери устойчивости при высадке, появления изгиба, при котором может возникнуть зажим, ведущий к браку поковки.

При высадке из проката, все поковки имеют волокнистую макроструктуру. Получение наиболее благоприятной контролируемой волокнистой макроструктуры поковки позволяет значительно повысить резервы работоспособности детали. Под контролируемой макроструктурой понимают характер искажений волокнистого строения поковки (макроструктуры), полученной на основе технологических расчётов, которая может устанавливаться с соответствующей степенью точности. Обработкой металлов давлением, варьируя разными операциями, можно получить требуемое благоприятное волокнистое строение в по-

ковке при условии обеспечения устойчивого процесса деформации. Однако учёт волокнистого строения был предложен только для штамповки в наборных переходах. Методики, учитывающей необходимость получения контролируемого расположения волокон в поковках типа стержня с фланцем, где имеет место упомянутая выше знакопеременная нагрузка или износ истиранием торца фланца, не имеется. Поэтому изучение этого вопроса на сегодняшний день является актуальным.

На сегодняшний день существует множество методик автоматизированного проектирования технологических процессов штамповки. Для повышения качества, надёжности, долговечности деталей необходима методика автоматизированного проектирования ТП высадки на горизонтально-ковочных машинах, учитывающая возможность получения контролируемого расположения волокон в поковке. Важно, чтобы технолог при автоматизированном проектировании мог спланировать технологический процесс таким образом, чтобы соблюдалось требование конструктора по расположению макроструктуры (волокон), вытекающее из назначения детали. Методика должна быть также относительно проста. Разработка и использование такой методики позволило бы значительно облегчить и ускорить проектирование технологических процессов штамповки.

В связи с этим проведение исследований по изучению волокнистого строения и основных закономерностей процессов высадки с целью разработки методики автоматизированного проектирования технологических процессов высадки поволоков типа стержня с фланцем с направленным волокнистым строением является актуальной задачей.

Целью работы является разработка научно обоснованной методики автоматизированного проектирования технологических процессов высадки поволоков типа стержня с фланцем с направленным волокнистым строением для повышения качества поволоков и эксплуатационной стойкости и срока службы изготавливаемых из них деталей на основе исследований особенностей формоизменения, волокнистого строения и деформированного состояния при высадке.

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). Была спроектирована и использована штамповая оснастка, позволяющая моделировать однопереходную высадку и высадку с предварительными наборными переходами на ГКМ заготовок с различными значениями размеров высаживаемого фланца и относительной высаживаемой длины.

Компьютерное моделирование процессов высадки проведено методом конечных элементов с использованием математических моделей программного

комплекса QForm3D v.3.2, предназначенного для анализа пластического формоизменения заготовки.

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

Научную новизну имеют следующие результаты:

- результаты численных и экспериментальных исследований процессов одно- и многопереходной высадки на ГКМ поковок типа стержня с фланцем, показывающие характер распределения волокнистого строения в поковке и возможности по изменению ориентировки волокон макроструктуры относительно контактных поверхностей фланца;
- результаты исследований, показывающие, что основное влияние на характер и степень искажения волокнистого строения оказывают относительная высаживаемая длина и размеры высаживаемого фланца;
- методика автоматизированного проектирования технологических процессов высадки на ГКМ поковок типа стержня с фланцем с направленным волокнистым строением, позволяющая изготавливать поковки с направленным распределением волокон макроструктуры.

Практическую значимость имеют следующие результаты:

- экспериментально полученная таблица распределения волокон макроструктуры поковок типа стержня с фланцем в зависимости от технологических параметров высадки, позволяющая оценить характер искажений волокнистого строения поковок при горячей высадке стали на ГКМ;
- математические модели процесса высадки на ГКМ поковок типа стержня с фланцем, позволяющие при проектировании технологического процесса определить степень искажения волокнистого строения в зависимости от технологических параметров высадки;
- методика автоматизированного проектирования технологического процесса высадки на ГКМ поковок типа стержня с фланцем с направленным волокнистым строением, позволяющая технологу на этапе проектирования наблюдать какое волокнистое строение возможно получить при различных соотношениях размеров высаживаемого фланца и относительной высаживаемой длины, и в зависимости от требований к макроструктуре, предъявляемых конструктором, изменять технологический процесс для получения поковки с благоприятным волокнистым строением.

Апробация работы.

Основные положения работы доложены и обсуждены на:

- Международной научно-технической конференции «Применение теории пластичности в современных технологиях обработки давлением». Украина, Винница, Винницкий гос. техн. университет, 30 мая – 2 июня 2001 г.
- 6-ой Всероссийской научно-технической конференции студентов, молодых учёных и специалистов. г.Рязань, Рязанская гос. радиотехнич. академия, 2001г.
- Научно-техническом семинаре кафедры «Механика технологических дисциплин» Рязанский институт (филиал) Московского государственного открытого университета.
- Научно-техническом семинаре кафедры «Технологии обработки давлением», МГТУ им. Н.Э.Баумана.

Публикации. Основное содержание диссертационной работы изложено в 5-ти работах, включая статьи, опубликованные тезисы докладов конференций.

Структура и объем диссертации. Диссертация состоит из введения, четырех глав, основных выводов, списка литературы. Работа выполнена на 146 страницах машинописного текста, содержит 43 рисунка, 20 таблиц и список литературы из 138 наименований.

Автор защищает:

- результаты экспериментального и компьютерного моделирования процессов высадки поковок типа стержня с фланцем, показывающие характер распределения волокнистого строения в поковке в зависимости от технологических параметров высадки на ГКМ;
- математические модели процесса высадки на ГКМ поковок типа стержня с фланцем, 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 типа стержня с фланцем, при которых возможно получение благоприятного волокнистого строения поковки;
- методику автоматизированного проектирования технологических процессов высадки на ГКМ поковок типа стержня с фланцем с направленным волокнистым строением, позволяющую изготавливать поковки с благоприятным распределением волокон макроструктуры относительно рабочей контактной поверхности фланца для повышения долговечности деталей.

Автор выражает благодарность к.т.н. Иванюку А.В. за научную консультацию по автоматизации технологических процессов высадки поковок на горизонтально-ковочных машинах.

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 фланцем.

В главе рассмотрены основные области применения деталей типа стержня с фланцем, существующие способы 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 фланцем.

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 отдельному изучению влияния составляющих макроструктуры на работоспособность деталей. Эти работы показали, что направление волокон имеет большое самостоятельное значение.

Отмечено, что при благоприятном расположении волокон макроструктуры возможно повышение износостойкости в несколько раз.

Поковки типа стержня с фланцем широко применяют для изготовления высоконагруженных ответственных деталей.

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

Наиболее распространенной операцией штамповки поковок типа стержня с фланцем является высадка. Отмечено влияние различных технологических параметров высадки на характер формоизменения и волокнистого строения. Исследования, проведенные И.С. Зиновьевым и Е.И. Семеновым, показали, что особенности формоизменения обуславливают характер искажений линий макроструктуры при деформировании. Также были сформулированы требования к волокнистому строению для поковок типа стержня с фланцем, штампуемых на

ГКМ: симметричность и плавность волокон макроструктуры, а также повторение волокнами макроструктуры рабочего контура детали.

Вместе с тем, установлена недостаточная изученность влияния основных технологических параметров высадки (относительной высаживаемой длины, размеры высаживаемого фланца) на характер формоизменения и волокнистого строения.

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 ГКМ, не учтено получаемое в процессе деформирования расположение волокнистого строения в поковке, что значительно снижает качество и срок службы детали из-за возможного перерезания волокон при обработке резанием.

Одним из экспериментальных методов исследования волокнистого строения поковок 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 поковок является метод моделирования процессов с помощью компьютерных программ (QForm, DEFORM и др.). Эти программы основаны на методе конечных элементов и позволяют проследить формоизменению и искажению волокнистого строения на различных этапах деформирования заготовки, а также описать напряженно-деформированное состояние в очаге деформации.

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

1. Разработка методики экспериментального исследования высадки поковок типа стержня с фланцем с направленным волокнистым строением, включающей методику проведения физического моделирования, методику изготовления и травления макрошлифов для исследования волокнистого строения при высадке, а также методики компьютерного моделирования высадки.

2. Экспериментальные исследования влияния технологических параметров высадки (относительная высаживаемая длина, диаметр и высота высаживаемой части фланца) поковок типа стержня с фланцем на особенности формоизменения и характер распределения волокнистого строения поковки с фланцем.

3. Составление таблиц распределения волокнистого строения поволоков типа стержня с фланцем в зависимости от технологических параметров высадки.

4. Выявление относительных величин, определяющих характер искажения волокнистого строения и построение математических моделей процесса высадки поволоков с фланцем, позволяющих при проектировании технологического процесса определить степень искажения волокнистого строения в зависимости от технологических параметров высадки.

5. Проверка адекватности математических моделей по результатам физического моделирования процесса высадки, компьютерное моделирование высадки для исследования влияния технологических параметров на особенности формоизменения и характер распределения волокнистого строения поволоков с фланцем, а также деформированное состояние.

6. Разработка на основе проведенных исследований методики автоматизированного проектирования технологических процессов высадки поволоков с фланцем с направленным волокнистым строением на горизонтально-ковочных машинах (ГКМ).

Во второй главе разработана методика экспериментальных исследований для изучения влияния технологических факторов высадки поволоков типа стержня с фланцем (относительной высаживаемой длины, относительных размеров фланца) на характер формоизменения и распределение волокон макроструктуры относительно контактной рабочей поверхности фланца для получения благоприятного волокнистого строения поволоков с целью увеличения стойкости на истирание деталей.

Исследуемыми процессами являются однопереходная высадка при отсутствии изгиба оси заготовки и многопереходная наборная высадка в условиях ограниченного (плоского) и спиралевидного изгиба оси заготовки.

Эксперименты по физическому моделированию горячей высадки стали на ГКМ холодной высадкой заготовок из пруткового алюминия $\varnothing 20_{-0,3}$ мм марки 1050А (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 и имеет четкое выраженное волокнистое строение. Выборочные эксперименты на стали в горячем состоянии показали идентичную макроструктуру с образцами из холодного алюминия.

Для проведения высадки с использованием метода многофакторного планирования была составлена матрица плана эксперимента. В качестве независимых факторов были приняты: величина относительной высаживаемой длины, относительные размеры высаживаемого фланца. Именно эти величины характеризуют все размеры получаемой заготовки.

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

Разработаны конструкции экспериментальных штампов для моделирования операций однопереходной и многопереходной высадки на ГКМ поволоков

типа стержня с фланцем. Штампы позволяют проводить как однопереходную высадку поковок, так и высадку с предварительными наборными переходами в пуансоне. При этом возможна регулировка относительной высаживаемой длины заготовки сменными подкладками для изменения объема высаживаемого фланца. 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 (ядре системы). Исходным материалом заготовки при моделировании являлся алюминиевый сплав 1050А (АД-0). Были промоделированы однопереходная и многопереходная высадка поковок с величинами относительных высаживаемых длин от 1,5 до 5,4 и относительными размерами фланца от 1 до 8. Компьютерное моделирование высадки стальных заготовок в горячем состоянии также показало идентичную макроструктуру с образцами из холодного алюминия.

В результате компьютерных исследований также получали поковки и макрошлифы с волокнистым строением

Во третьей главе были обработаны результаты, полученные при экспериментальных исследованиях, а также проведены сравнения волокнистого строения поковок с фланцем, полученных в результате компьютерного моделирования и макроструктуры поковок, полученных при физическом моделировании.

После обработки полученных результатов экспериментов были составлены таблицы распределения волокнистого строения при однопереходной и многопереходной высадке с наборными переходами при физическом (табл.1) и компьютерном моделировании (табл.2).

Таблица 1.

Физическое моделирование высадки поковок типа стержня с фланцем

$\psi = 1,5$	$\psi = 5,4$ с двумя наборными переходами
	
D/H=1	D/H=1



D/H=2



D/H=2



D/H=4



D/H=4



D/H=6



D/H=6

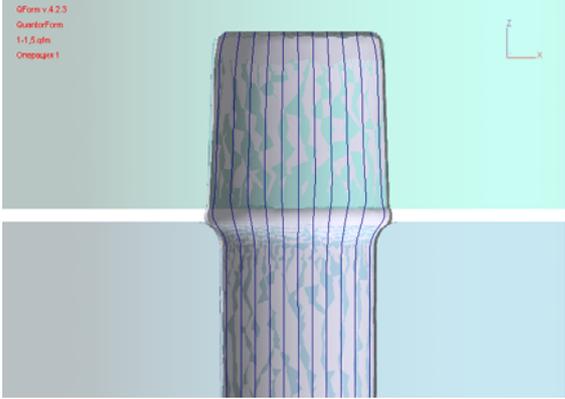
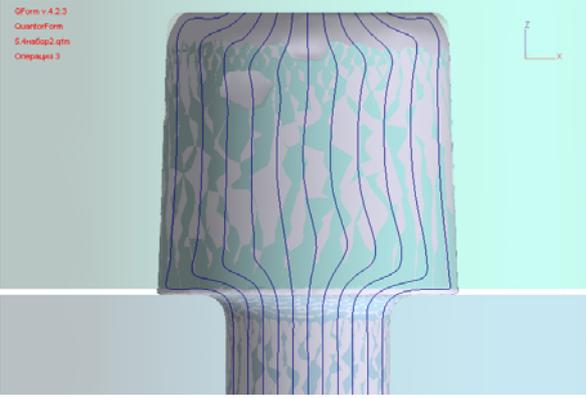
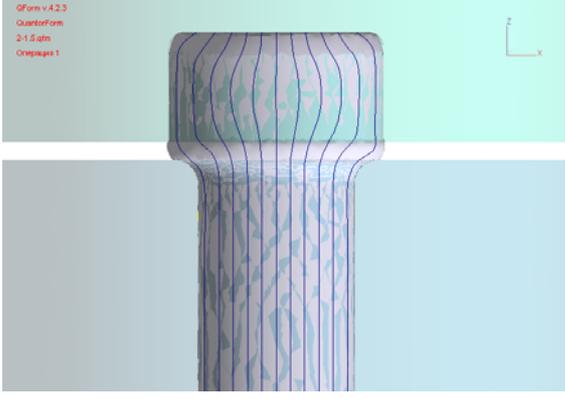
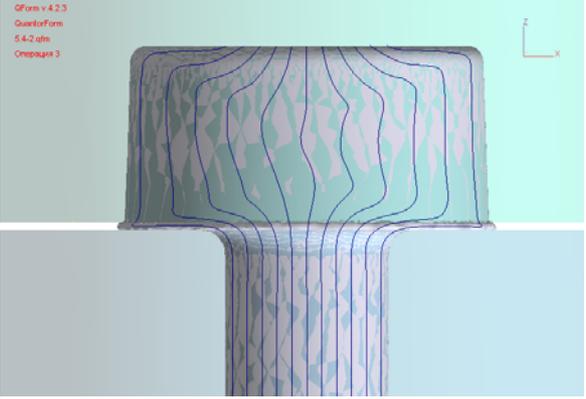
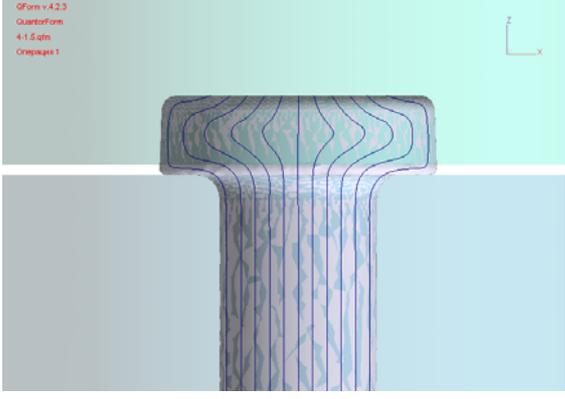
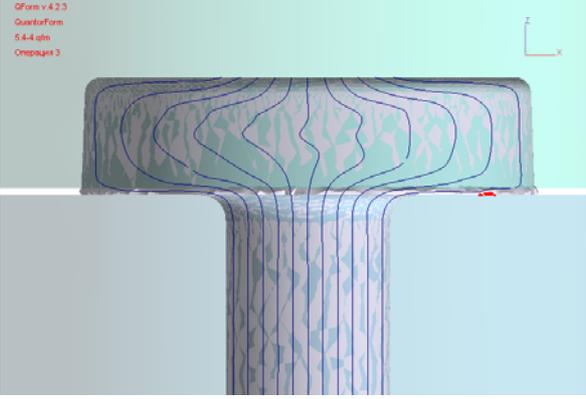


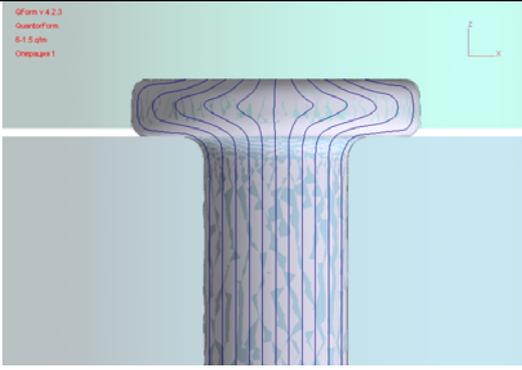
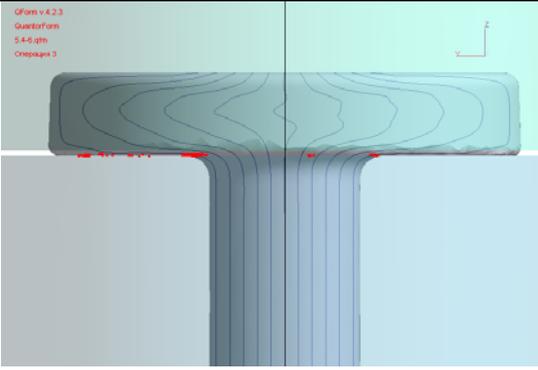
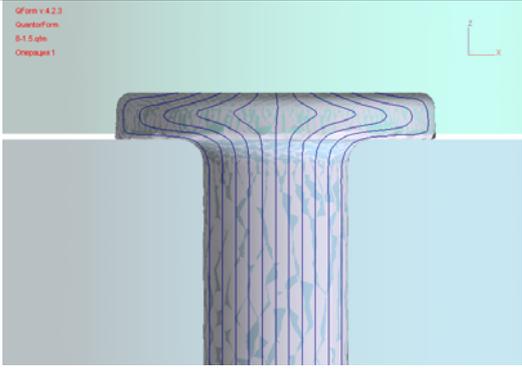
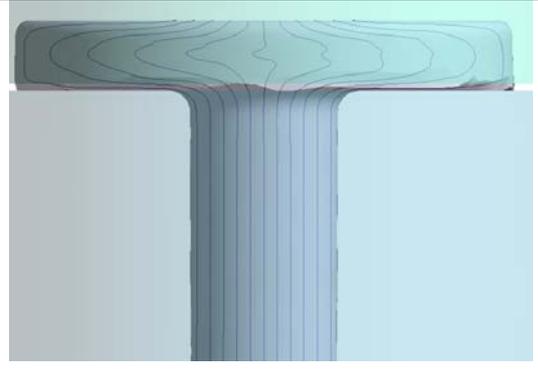
D/H=8



D/H=8

Компьютерное моделирование высадки поковок типа стержня с фланцем

<p>$\psi = 1,5$</p>	<p>$\psi = 5,4$ (с двумя наборными переходами)</p>
	
<p>D/H=1</p>	<p>D/H=1</p>
	
<p>D/H=2</p>	<p>D/H=2</p>
	
<p>D/H=4</p>	<p>D/H=4</p>

	
D/H=6	D/H=6
	
D/H=8	D/H=8

Также построены математические модели процесса высадки на ГКМ попокков типа стержня с фланцем, позволяющие определить характер и степень искажения волокнистого строения в зависимости от технологических параметров высадки: относительной высаживаемой длины.

Физическое моделирование.

Коэффициент максимального относительного смещения центрального волокна относительно центральной оси поковки:

$$K_{\max} = \frac{\Delta_{\max} \cdot D}{d_{\text{заг}} \cdot H} = \frac{(-0,466 + 0,036 \frac{D}{H} \psi - 0,037 \frac{D}{H} + 0,205 \psi) \cdot D}{d} \cdot \frac{D}{H}$$

Коэффициент среднего относительного смещения центрального волокна относительно центральной оси поковки:

$$K_{\text{cp}} = \frac{\Delta_{\text{cp}} \cdot D}{d_{\text{заг}} \cdot H} = \frac{(-0,801 + 0,035 \frac{D}{H} \psi - 0,134 \frac{D}{H} + 0,161 \psi) \cdot D}{d} \cdot \frac{D}{H}$$

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

$$\gamma_{cp} = 7,123 + 4,197 \frac{D}{H} + 11,249 \psi - 0,301 \frac{D}{H} \psi$$

Компьютерное моделирование.

Коэффициент максимального относительного смещения центрального волокна относительно центральной оси поковки:

$$K_{max} = \frac{\Delta_{max} \cdot D}{d_{заг} \cdot H} = \frac{(-0,437 + 0,0345 \frac{D}{H} \psi - 0,029 \frac{D}{H} + 0,201 \psi) \cdot D}{d} \cdot \frac{D}{H}$$

Коэффициент среднего относительного смещения центрального волокна относительно центральной оси поковки:

$$K_{cp} = \frac{\Delta_{cp} \cdot D}{d_{заг} \cdot H} = \frac{(-1,108 + 0,036 \frac{D}{H} \psi - 0,1 \frac{D}{H} + 0,15 \psi) \cdot D}{d} \cdot \frac{D}{H}$$

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

$$\gamma_{cp} = 9,625 + 5,514 \frac{D}{H} + 12,31 \psi - 0,36 \frac{D}{H} \psi$$

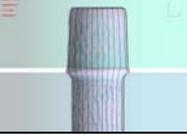
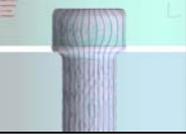
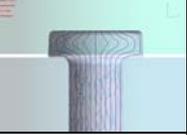
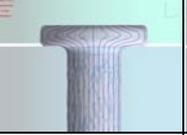
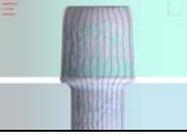
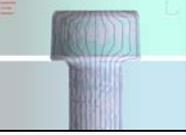
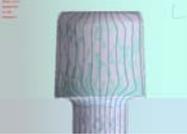
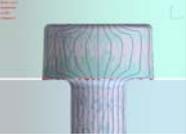
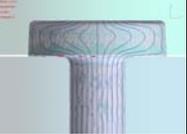
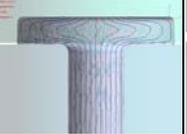
где Δ_{max} - максимальное смещение центрального волокна относительно оси поковки; Δ_{cp} - среднее смещение центрального волокна относительно оси поковки; D и H – величины размеров высаженного фланца, ψ - относительная высаживаемая длина, $d_{заг}$ – диаметр заготовки.

Результаты сравнения показали большую сходимость и адекватность построенных математических моделей.

В результате проведённых исследований была получена общая таблица, характеризующая искажение волокнистого строения (табл.3).

Таблица 3

Характер искажения волокнистого строения
при высадке поволоков типа стержня с фланцем

Ψ		$\frac{D}{H}$	1	2	4	6	8
Однопереходная высадка	1,5	Волокнистое строение					
		$K_{\max}^{\text{дон}} / K_{\text{cp}}^{\text{дон}}$	0,00564 / 0,0465	0,009 / 0,0975	0,0089 / 0,2134	0,0003 / 0,3477	0,0186 / 0,5004
		$\gamma_{\text{дон}}^{\circ}$	33,064	38,038	47,986	57,934	67,882
	2,5	Волокнистое строение					
		$K_{\max}^{\text{дон}} / K_{\text{cp}}^{\text{дон}}$	0,0061 / 0,0372	0,018 / 0,0753	0,0589 / 0,1546	0,1227 / 0,2379	0,2094 / 0,3252
		$\gamma_{\text{дон}}^{\circ}$	45,014	49,628	58,856	68,084	77,312
Высадка с одним на- борным переходом	4	Волокнистое строение					
		$K_{\max}^{\text{дон}} / K_{\text{cp}}^{\text{дон}}$	0,0238 / 0,0232	0,0585 / 0,042	0,1606 / 0,0664	0,3063 / 0,0732	0,4956 / 0,0624
		$\gamma_{\text{дон}}^{\circ}$	62,939	67,013	75,161	83,309	91,457
Высадка с двумя на- борными перехода- ми	5,4	Волокни- стое строение					
		$K_{\max}^{\text{дон}} / K_{\text{cp}}^{\text{дон}}$	0,0403 / 0,0102	0,0963 / 0,0109	0,2552 / 0,0159	0,4777 / 0,0805	0,7627 / 0,1829
		$\gamma_{\text{дон}}^{\circ}$	79,669	83,239	90,379	97,519	104,659

В четвертой главе на основе проведенных экспериментальных и теоретических исследований разработана методика автоматизированного проектирования технологических процессов высадки на ГКМ поволоков типа стержня с фланцем с направленным волокнистым строением, обеспечивающих повыше-

ние эксплуатационной стойкости изготавливаемых из них деталей. Методика разработана на основе современных компьютерных технологий – системы многовариантного проектирования T-Flex и программного комплекса QForm и позволяет учитывать требования к волокнистому строению поковок для создания заранее заданного благоприятного расположения волокон макроструктуры.

Процедуры проектирования технологического процесса штамповки на ГКМ состоят из таких блоков, как: анализ чистой 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 учетом условий нагружения и эксплуатации детали, предъявляемых конструктором с помощью встраиваемой таблицы волокнистого строения.

После этого проводят моделирование процесса при помощи программы QForm для проверки правильности выбора схемы штамповки, расчета параметров заготовки, поковки и штамповой оснастки, формоизменения и волокнистого строения; окончательную разработку технологии штамповки; оформление технологической документации; проектирование оснастки; опытную проверку технологии; запуск в производство.

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 технологических процессов штамповки основные схемы распределения волокон макроструктуры по конфигурации поковки в зависимости от конструктивных особенностей поковки, и уже на основе таблицы анализировать волокнистое строение изготавливаемой детали.

Выводы по работе:

1. Анализ литературы показал, что существующие исследования высадки на ГКМ поковок типа стержня с фланцем не учитывают расположение волокнистого строения относительно рабочих контактных поверхностей. Вместе с тем, в настоящее время можно получить любое требуемое направленное волокнистое строение на рабочих поверхностях детали, что позволит повысить стойкость и прочность поковки по знакопеременной нагрузке, работоспособность детали, изготавливаемых из этих поковок.

2. Разработанная методика проведения экспериментальных исследований путём физического и компьютерного моделирования высадки на ГКМ поковок типа стержня с фланцем позволила получить данные по волокнистому строению таких поковок, на основании которых была составлена таблица, показывающая расположение волокнистого строения в зависимости от соотношений размеров для большинства существующих поковок.

3. Предложена оценка степени искажения волокнистого строения с помощью коэффициентов максимального и среднего смещения K_{\max} и $K_{\text{ср}}$ и угла

наклона волокон γ относительно оси поковки в верхней части фланца при однопереходной и многопереходной высадке.

4. Проведённые на основе метода факторного планирования экспериментальные исследования высадки на ГКМ поволоков типа стержня с фланцем позволили оценить влияние каждого фактора на расположение волокон в поковках.

5. В результате исследований получены корреляционные зависимости $K_{\max}=f(\psi, \frac{D}{H})$, $K_{\text{ср}}=f(\psi, \frac{D}{H})$ и $\gamma=f(\psi, \frac{D}{H})$, адекватности которых показала хорошую сходимость результатов физического и компьютерного моделирования.

6. Разработана методика автоматизированного проектирования высадки на ГКМ поволоков типа стержня с фланцем с направленным расположением волокон, которая предложена для разработки технологических процессов высадки на ГКМ поволоков типа стержня с фланцем, в частности, поковки полуоси грузового автомобиля на ОАО «Рязанском заводе автоагрегатов».

Список работ по теме диссертации

1. Гудов А.А., Виноградов А.Н., Иванюк А.В. Исследование прочности по волокнистому строению металла на контактной поверхности детали типа стержня с фланцем // Новые технологии. 2000. №5. С.57-60
2. 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.
3. Гудов А.А., Виноградов А.Н., Иванюк А.В. САПР-технологии штамповки деталей типа стержня с утолщением с исследованием их волокнистого строения // Новые информационные технологии в научных исследованиях и в образовании: Тезисы докладов 6-ой Всероссийской научно-технической конференции студентов, молодых учёных и специалистов. Рязань. 2001. С.66
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. Определение волокнистого строения в поковках типа стержня с плоским фланцем / Е.И. Семёнов, А.А. Гудов, А.В. Иванюк, А.А. Сидоров // Заготовительные производства в машиностроении. 2008. №01. С. 22.
6. Способ изготовления поковок типа стержня с фланцем / Е.И. Семёнов, О.А. Белокуров, А.А. Гудов, А.В. Иванюк, В.Ю. Лавриненко, А.А. Сидоров // Заявка о выдаче патента Российской Федерации на полезную модель. 2009.