

Майстров Юрий Владимирович

**РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ШТАМПОВКИ
КОЛЕНЧАТЫХ ВАЛОВ С НАПРАВЛЕННЫМ ВОЛОКНИСТЫМ
СТРОЕНИЕМ**

Специальность 05.02.09 – Технологии и машины обработки давлением

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени

кандидата технических наук

Ma

Москва – 2011 г.

Работа выполнена в Московском государственном техническом университете им. Н.Э. Баумана

Научный руководитель- доктор технических наук, профессор
Семенов Евгений Иванович.

Официальные оппоненты: доктор технических наук, профессор
Субич Вадим Николаевич (МГИУ)

кандидат технических наук, доцент
Петров Павел Александрович (МГТУ «МАМИ»)

Ведущая организация- ФГУП ГНПП «ТЕМП»

Защита состоится «7» ноября 2011 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 8 (499) 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 «7» ноября 2011 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета
кандидат технических наук, доцент

НТБ МГТУ им. Н.Э. Баумана



1988050

Маистров Ю.В. Разработка ме

Семенов В.И.

051

2011

Актуальность работы

Получение качественных поковок главная задача кузнечно-штамповочного производства. Вопросы качества поковок являются многоплановыми и решаются в различных направлениях.

Однако в настоящее время горячая объемная штамповка не всегда обеспечивает требуемое качество поковок, которое удовлетворяло бы современным требованиям машиностроения. Особенно это можно отнести к поковкам из стали, из которых изготавливают высоконагруженные ответственные детали типа коленчатых валов, подшипников, шаровых пальцев и различных направляющих.

Ранее проведенными исследованиями было установлено, что повышение эксплуатационной стойкости и долговечности таких деталей в значительной степени связано с распределением волокнистого строения материала относительно рабочей контактной поверхности.

Таким образом, одним из факторов, определяющих качество поковок и эксплуатационную стойкость изготавливаемых из них деталей, является направленное распределение волокнистого строения в стальной поковке, т.е. ее макроструктура.

Вместе с тем, при горячей штамповке можно получить практически любое, заранее заданное направленное волокнистое строение поковки в определенном месте (поверхности) поковки, т.е. в том месте, где при работе детали возникает износ трением.

Вопрос получения направленного волокнистого строения при штамповке поковок коленчатых валов недостаточно изучен. При использовании обычных методик проектирования технологических процессов штамповки зачастую невозможно получить требуемое направленное волокнистое строение в отдельных, наиболее изнашиваемых поверхностях деталей (соответственно поковок).

Коленчатый вал является одной из основных деталей конструкции двигателя автомобиля, от надежности и долговечности работы которого зависит безаварийная и безотказная эксплуатация автомобиля. Эти детали выходят из строя в основном вследствие значительного изнашивания рабочих контактных поверхностей – шатунных и коренных шеек, которое приводит к появлению высоких ударных нагрузок в месте соединения с шатуном и центральных опорax крепления вала двигателя.

Поковки коленчатых валов изготавливают в частности горячей объемной штамповкой на молотах и кривошипных горячештамповочных прессах (КГШП). Возможность проведения эффективной штамповки заготовок зависит от различных факторов: исходное состояние и механические свойства деформируемого металла, способ перераспределения металла при штамповке, конфигурация инструмента, состояние рабочей поверхности инструмента (шероховатость, наличие смазочного материала и его вид).

При этом необходимо отметить недостаточную изученность и сложность

технологических процессов штамповки поковок коленчатых валов, а также ограниченность литературных данных об особенностях формоизменения, напряженно-деформированного состояния и определении энергосиловых параметров. Отсутствуют четко сформулированные требования к волокнистому строению поковок коленчатых валов, отсутствуют практические рекомендации по проведению штамповки с направленным волокнистым строением и равномерным распределением волокон в шейках коленчатого вала.

Поэтому тема разработки методики проектирования коленчатых валов с направленным волокнистым строением является актуальной.

Целью работы является разработка методики проектирования технологических процессов штамповки на КГШП поковок коленчатых валов с направленным волокнистым строением путем теоретических и экспериментальных исследований формоизменения и волокнистого строения с применением компьютерного моделирования.

Научную новизну имеют следующие результаты:

- разработана методика проведения исследования операции гибки коленчатых валов с заданным волокнистым строением;
- построена математическая модель позволяющая определить возможность проведения гибки в закрытом штампе в зависимости от технологических факторов;
- построены математические модели зависимости формоизменения в процессе гибки поковки типа «коленчатый вал» от технологических факторов.

Практическую значимость имеют следующие результаты:

- разработанная теоретически и экспериментально обоснованная методика проектирования технологического процесса штамповки коленчатых валов с заданным волокнистым строением;
- построенные математические модели апробированы для нахождения оптимальных технологических параметров гибки коленчатого вала Д21-1005015А3.

Достоверность результатов

Работа выполнена экспериментальными и теоретическими методами, включающими в себя вычислительные эксперименты с применением программного комплекса QForm 2D/3D v.5.1.1 («КванторФорм», Россия) и физические многофакторные эксперименты с последующим регрессионным анализом и построением математических моделей.

Для проведения физических экспериментов разработана и изготовлена штамповая оснастка. Физические эксперименты проведены на кафедре «Технологии обработки давлением» (МТ6) МГТУ им. Н.Э.Баумана на универсальной испытательной машине INSTRON DX600. Сопоставление результатов физических экспериментов и компьютерного моделирования показало хорошую сходимость на уровне 10-12%.

Апробация работы

Основные положения работы доложены и обсуждены на следующих конференциях и семинарах:

- Всероссийская научно-техническая конференция «Студенческая весна 2007: Машиностроительные технологии» / МГТУ им. Н.Э. Баумана.
- Всероссийской конференции молодых ученых и специалистов «Будущее машиностроения России». Москва, МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2008 г.
- Семинары кафедры «Технологии обработки давлением» МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2008, 2009, 2010 гг.

Публикации

Основное содержание диссертационной работы изложено в 4-х опубликованных научных работах, из них в журналах по перечню ВАК - 3.

Структура и объем диссертации

Диссертация состоит из введения, четырех глав, основных выводов, списка литературы. Текст диссертации содержит 162 машинописных страниц, включая 37 таблиц и 89 рисунков.

Автор защищает:

- Результаты экспериментальных исследований процесса заготовительной операции гибки при штамповке поковок типа коленчатый вал.
 - Установленные экспериментально и теоретически относительные величины определяющие искажение волокон макроструктуры в поковке, а также стабильность протекания процесса гибки и математические модели позволяющие определить оптимальные технологические параметры процесса штамповки.
 - Новую методику проектирования технологических процессов штамповки поковок коленчатых валов с направленным волокнистым строением.
- Автор выражает благодарность к.т.н., доценту кафедры «Технологии обработки давлением» МГТУ им. Н.Э.Баумана Белокурову О.А. за консультации при выполнении работы.

КРАТКОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность темы работы, поставлена цель и рассмотрены основные положения, выносимые на защиту.

В первой главе проведен анализ существующих способов изготовления коленчатых валов горячей объемной штамповкой. Обоснована целесообразность получения направленного строения волокон макроструктуры в поковке. Уточнена цель и сформулированы основные задачи исследования.

В настоящее время штамповку коленчатых валов выполняют на молотах с массой падающих частей до 10 т и более и на КГШП силой до 125 МН. Существуют также специальные методы штамповки коленчатых валов такие как : секционная штамповка, штамповка отдельных звеньев вала с последующим соединением на одной центральной оси, штамповка методом гибки с высадкой и штамповка в закрытых штампах.

В виду того, что для получения качественной поковки требуется значительное перераспределение металла в направлении перпендикулярном основной оси вала необходимо применять заготовительные переходы: либо подкатные закрытые ручьи для молотов, либо обработка на ковочных вальцах

или поперечно-клиноватая прокатка при штамповке на КГШП. Кроме того, для ряда коленчатых валов в качестве заготовительной операции применяют гибку.

Технологический процесс штамповки коленчатых валов на молотах достаточно трудоемок. Профиль гибочного ручья делают по контуру окончательного ручья чтобы заготовку можно было точно укладывать в окончательный ручей штампа при этом получают коэффициент использования металла порядка 65-68 %. Применение данной технологии ограничивается штамповкой не сложных по конфигурации коленчатых валов без противовесов. При штамповке поковок валов с противовесами при наличии трудноформируемых участков поковки имеет место значительный отход металла в облой, что приводит к снижению коэффициента использования металла.

Рассмотрен технологический процесс штамповки коленчатых валов на КГШП с предварительной операцией вальцовки (ОАО «КАМАЗ» автоматизированная линия на базе КГШП). Применение кривошипных прессов в совокупности с автоматизирующими устройствами позволяет резко увеличить производительность процесса штамповки. Недостаток указанного способа заключается также в отсутствии определенной управляемой ориентации поверхностных волокон материала шатунных шеек и выходе волокон под углом на поверхность вследствие обрезки облоя поковки коленчатого вала и неблагоприятному появлению концентраторов напряжений, раннему появлению износа на поверхности шатунных шеек, и как результат - меньшей долговечности коленчатого вала.

Известны также методы секционной и последовательной штамповки коленчатых валов, разработанные во Всесоюзном проектно-технологическом институте тяжелого машиностроения.

Методом секционной штамповки получают крупногабаритные коленчатые валы не сразу по всему профилю, а последовательно, отдельными участками (секциями). Метод применялся на Уралмашзаводе, где секционную штамповку коленчатого вала дизельного двигателя выполняли на прессе силой 100 МН, тогда как для штамповки такого вала целиком был необходим пресс силой 300 МН.

Последовательная штамповка дает возможность изготавливать поковку коленчатого вала за один нагрев (за исключениемковки предварительной заготовки под штамповку и правки), что имеет большое значение при производстве валов из легированной стали. Этим методом штамповали коленчатые валы дизелей на Уралмашзаводе и на Юргинском машиностроительном заводе.

При последовательной штамповке коленчатых валов следует также отметить возможно применение дешевых литых штампов. Однако и данный метод имеет недостатки - большую трудоемкость, и большие припуски на обработку резанием.

Рассмотрен технологический процесс штамповки коленчатых валов совмещающий гибку с высадкой, который заключается в последовательном

формировании характерных участков коленвала - фланца и щеки с шатунными и коренными шейками. Подлежащий деформации участок заготовки подвергают местному нагреву и деформируют силами, создающими одновременное сочетание двух видов деформации - высадки щеки коленчатого вала и гибки колена.

Из обзора существующих технологических процессов штамповки поковок коленвалов можно сделать вывод, что с целью повышения износостойкости коленчатых валов технологический процесс штамповки должен обеспечить отсутствие течения металла в облой в области шатунных и коренных шеек и благоприятное (выход на контактные поверхности под углом не более 10°) расположение волокон в заготовках, поступающих в окончательный ручей.

Этого возможно достичь различными способами, рассмотренными выше например, гибкой с высадкой. Однако в условиях крупносерийного производства целесообразней применение технологии штамповки поковок коленчатых валов с применением гибки в штампе с силовым замыканием шатунных шеек. Особенность данного метода заключается в наличии в штампе силовых зажимных элементов, расположенных в инструментальных вставках. Зажимы представляют собой замкнутые области, которые удерживают шатунные шейки вала при формообразовании, что позволит получить направленное строение волокон макроструктуры в поковке, а так же экономию металла за счет отсутствия течения металла в облой в районе шатунных шеек.

Основными задачами исследования являются:

1. Разработка методики экспериментального исследования предварительной операции штамповки – гибки поковок типа коленчатый вал, включающей методику проведения физического моделирования, методику изготовления и травления макрошлифов для исследования волокнистого строения при гибке, а также компьютерного моделирования процессов гибки и штамповки.

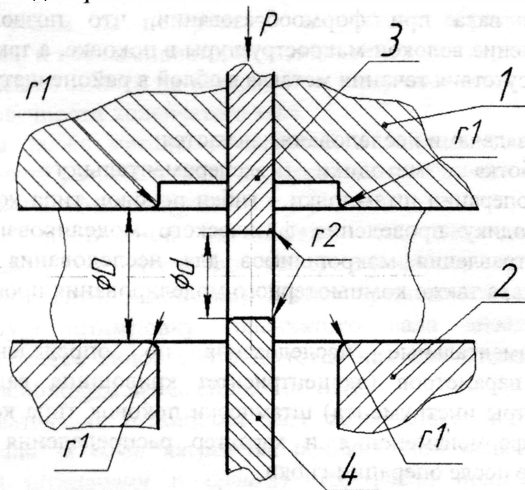
2. Экспериментальные исследования по определению влияния технологических параметров (эксцентриситет кривошипа вала, параметры заготовки, параметры инструмента) штамповки поковок типа коленчатый вал на особенности формоизменения и характер распределения волокнистого строения в поковке после операции гибки.

3. Установление относительных величин, определяющих искажение волокон макроструктуры в поковке, а также стабильность протекания процесса гибки и разработка математических моделей процесса гибки, позволяющих определить возможность использования данной технологии для проведения штамповки поковки коленчатого вала на этапе проектирования техпроцесса.

4. Проверка адекватности математических моделей результатам физического моделирования процесса гибки, компьютерное моделирование гибки для исследования влияния технологических параметров на особенности формоизменения и характер распределения и искажения волокнистого строения

5. Разработка на основе проведенных исследований методики проектирования технологических процессов штамповки поковок коленчатых валов с направленным волокнистым строением на КГШП.

Разработана методика экспериментального исследования формоизменения и волокнистого строения при гибке поковок типа коленчатый вал, включающая методику проведения физического моделирования и исследования гибки заготовок из стали 45 и заготовок из свинца и алюминия марки АД0, методику изготовления и травления макрошлифов для исследования волокнистого строения при гибке, а также методику компьютерного моделирования гибки поковок типа коленчатый вал с использованием программного комплекса QForm3D v.5.1 («КванторФорм»). Разработана конструкция экспериментального штампа, схема показана на рис.1, подготовлены исходные данные для проведения эксперимента и компьютерного моделирования поковок типа коленчатый вал.



Поскольку в процессе гибки происходит искривление заготовки в местах шатунных шеек необходимо точно знать количественное значение перераспределения металла в шейках для дальнейшей укладке заготовки в окончательный ручей и полного заполнения гравюры штампа при окончательной штамповке коленвала. Для количественного определения перераспределения металла в шейках коленвала в зависимости от технологических параметров гибки (факторов варьирования) была замерена

площадь поперечного сечения S шейки по оси симметрии. Для расчета площади сечение шейки было представлено в виде эллипса с главными осями: большей – a , меньшей – b , рис.2.

Предложены относительные величины r_2/D , r_1/D , d/D , h/D , определяющие возможность проведения процесса гибки в специальном штампе с использованием силовых зажимных элементов, по схеме на рис.1, а также характеризующие искажение волокон макроструктуры поковки в процессе гибки и позволяющие определить относительную площадь поперечного сечения шейки вала после гибки, рис.2.

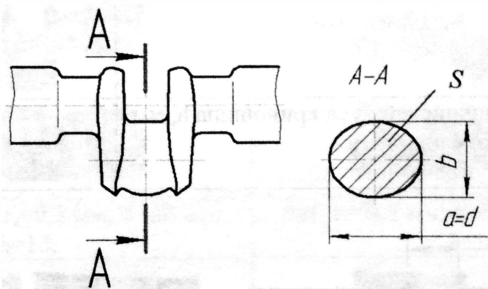


Рис. 2. Поперечное сечения шейки вала ($S = \frac{\pi(a \cdot b)}{4}$)

Составлены матрицы плана эксперимента для проведенных исследований и составления математических моделей вида:

$$y = b_0 + \sum_{i=1}^k b_i X_i + \sum_{i < j} b_{ij} X_i X_j + \sum_{i=1}^k b_{ii} X_i^2,$$

где X_i - факторы в натуральном масштабе, т.е. в МПа, м, кг и т.д.

Для физического эксперимента по исследованию влияния выбранных технологических параметров инструмента и формы заготовки на стабильность протекания процесса, искажение поперечного сечения шейки и искривление волокон макроструктуры в поковке составлена матрица вида $4 \cdot 3^{3//16}$. Варьирование факторов проводилось согласно табл. 1.

Разработана и изготовлена технологическая оснастка, приведена схема оборудования и принцип его работы, описаны основные и вспомогательные материалы для проведения экспериментов.

Проведены исследования процесса гибки одного колена коленчатого вала, а также рассмотрены результаты этих исследований и проведен их анализ.

Для проведения экспериментальных исследований гибки поволоков типа коленчатый вал с направленным волокнистым строением вначале было использовано физическое моделирование гибки стали в горячем состоянии гибкой заготовок из прокованного свинца, рис.3.

Таблица 1.

Варьируемые факторы		
i	Фактор	Значение
1	Радиус скругления на кромке матрицы r_1 , мм	0,5
		1
		2
2	Радиус скругления на кромке зажимных вставок r_2 , мм	0,5
		1
		2
3	Диаметр шейки кривошипа вала d , мм	14
		18
		23
		28
4	Величина радиуса кривошипа h , мм	5
		10
		15

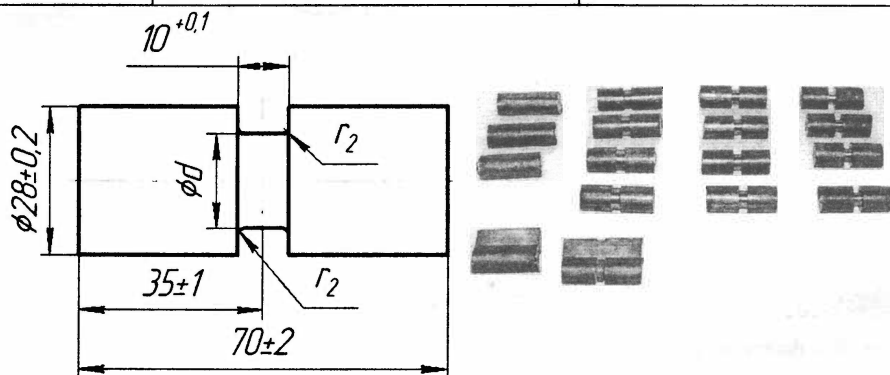


Рис.3. Эскиз (а) и общий вид (б) заготовок

Для проведения эксперимента по разработанному плану эксперимента были изготовлены сменные полуматрицы и зажимные вставки.

Фотографии образцов из свинца после гибки одного колена вала сведены в табл.2.

Экспериментально установлено, что с увеличением хода деформирования (радиуса кривошипа) возрастает вероятность появления дефекта – среза (смятия) в месте соединения шейки и щеки вала.

Увеличение диаметра предварительно накатанной шейки и увеличение радиусов гибки на матрице и зажимных вставках благоприятствуют получению качественной поковки и увеличивают стабильность протекания процесса гибки.

Возможно также появление скрытого смятия, определить который визуальнo не представляется возможным. Выявления скрытых дефектов возможно путем проведения компьютерного 3D моделирования процесса гибки.

Таблица 2.

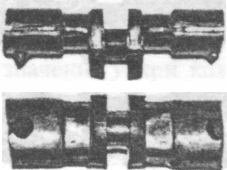
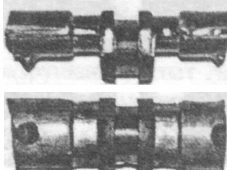
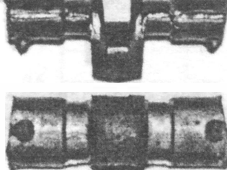
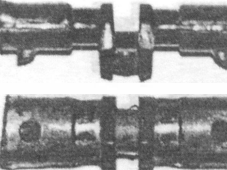
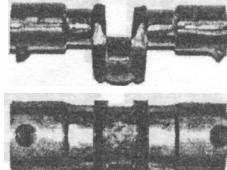
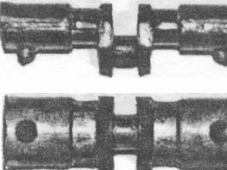
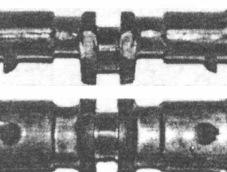
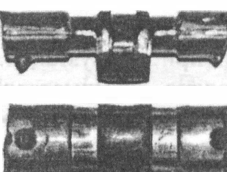
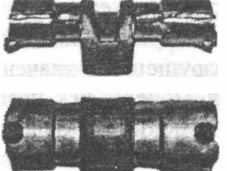
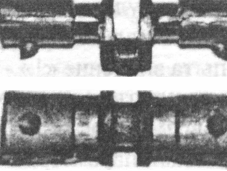
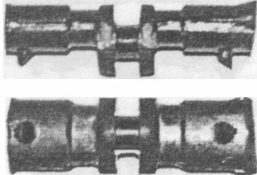
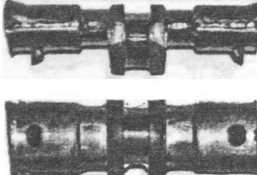
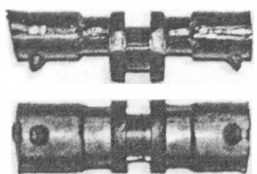
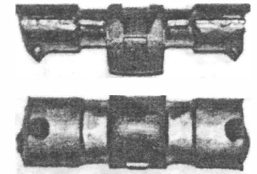
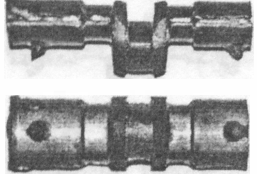
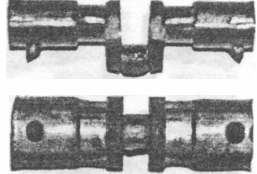
	
№1. $r_1=0,5$ мм; $r_2=0,5$ мм; $d=14$ мм; $h=5$.	№2. $r_1=1,0$ мм; $r_2=0,5$ мм; $d=23$ мм; $h=5$.
	
№3. $r_1=2,0$ мм; $r_2=0,5$ мм; $d=28$ мм; $h=15$.	№4. $r_1=0,5$ мм; $r_2=0,5$ мм; $d=18$ мм; $h=10$.
	
№5. $r_1=0,5$ мм; $r_2=1,0$ мм; $d=23$ мм; $h=15$.	№6. $r_1=1,0$ мм; $r_2=1,0$ мм; $d=14$ мм; $h=5$.
	
№7. $r_1=2,0$ мм; $r_2=1,0$ мм; $d=18$ мм; $h=5$.	№8. $r_1=0,5$ мм; $r_2=1,0$ мм; $d=28$ мм; $h=5$.
	
№9. $r_1=0,5$ мм; $r_2=2,0$ мм; $d=28$ мм; $h=10$.	№10. $r_1=1,0$ мм; $r_2=2,0$ мм; $d=18$ мм; $h=15$.

Таблица 2 продолжение.

	
№11. $r_1=2,0$ мм; $r_2=2,0$ мм; $d=14$ мм; $h=5$.	№12. $r_1=0,5$ мм; $r_2=2,0$ мм; $d=23$ мм; $h=5$.
	
№13. $r_1=0,5$ мм; $r_2=0,5$ мм; $d=18$ мм; $h=5$.	№14. $r_1=1,0$ мм; $r_2=0,5$ мм; $d=28$ мм; $h=5$.
	
№15. $r_1=2,0$ мм; $r_2=0,5$ мм; $d=23$ мм; $h=10$.	№16. $r_1=0,5$ мм; $r_2=0,5$ мм; $d=14$ мм; $h=15$.

Наличие описанных дефектов недопустимо, т.к. при окончательном этапе произойдет заштамповка дефекта в тело поковки и как следствие выход из строя детали при эксплуатации.

Проведено компьютерное моделирование одного колена поковки коленчатого вала с использованием комплекса QForm 3D v.5.1 с целью исследования формоизменения и выявления скрытых дефектов в поковке после гибки в зависимости от технологических параметров. Результаты компьютерного моделирования сопоставлены с физическим экспериментом.

Сравнивая физический эксперимент и моделирование можно судить об идентичности результатов, основываясь на формоизменении заготовки в процессе гибки и наличии разрушения (среза или смятия) поковки. Принимая за результат опыта значение «1» - в случае наличия разрушения и значения «0» - в случае его отсутствия построена математическая модель (1) позволяющая определить возможность проведения процесса гибки с определенными технологическими параметрами.

$$y = -1,254 \frac{d}{D} + 1,52 \frac{h}{D} - 4,666 \frac{r_1}{D} + 0,829. \quad (1)$$

Значения модели y должны лежать в интервале от 0 до 1, где значение $y=1$ будет определять разрушение в заготовке (срез шатунной шейки).

Задавая предельное значение отклика модели 0,6 (минимальное расчетное значение y при котором происходит разрушение, опыт №4) можно выделить области критических значений относительного диаметра шейки d/D и относительного радиуса кривошипа h/D , при которых будет выполняться гибка на различных относительных радиусах гибки r_1/D без наличия дефектов в поковке, рис.4. Область допустимых значений располагается под графиком зависимости h/D от d/D , выделена цветом.

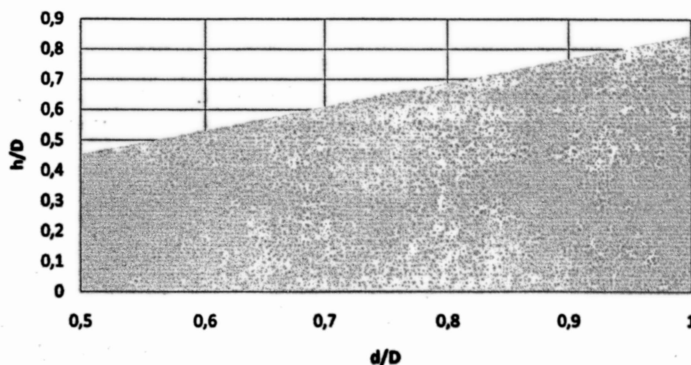


Рис.4. Область допустимых значений относительного диаметра шейки d/D и относительного радиуса кривошипа h/D , при относительном радиусе гибки $r_1/D=0.072$

Для определения относительной площади поперечного сечения шейки вала построена математическая модель:

$$\frac{S}{S_0} = 0,26 \left(\frac{d}{D} \right)^2 - 0,43 \frac{d}{D} + 0,77 \left(\frac{h}{D} \right)^2 - 0,82 \frac{h}{D} - 0,26 \frac{r_1}{D} - 0,61 \frac{r_2}{D} + 1,29, \quad 2)$$

где S_0 – площадь сечения шейки до деформирования.

По математической модели построены графики зависимости относительной площади сечения шейки вала, получаемой после гибки от относительного диаметра предварительно накатанной шейки рис. 5 при различных значениях относительного эксцентриситета вала h/D .

Проведено исследование влияния технологических параметров гибки на искривление волокон макроструктуры в области шейки вала.

Для выявления распределения волокон макроструктуры в поковках использовали образцы из алюминия марки АД0.

Макроструктура в исходных заготовках из алюминиевого сплава АД0 показана на рис.6.

Результаты эксперимента представлены на рис.7, 8, 9.

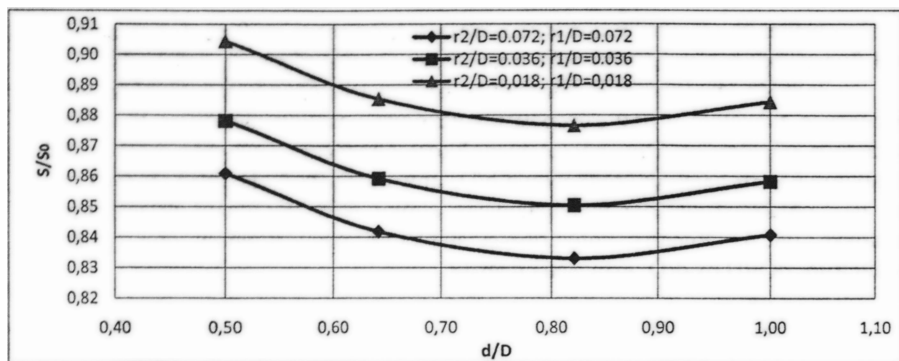


Рис. 5. Графики зависимости относительной площади поперечного сечения шейки вала от относительного диаметра заготовки при относительном эксцентриситете $h/D=0.536$

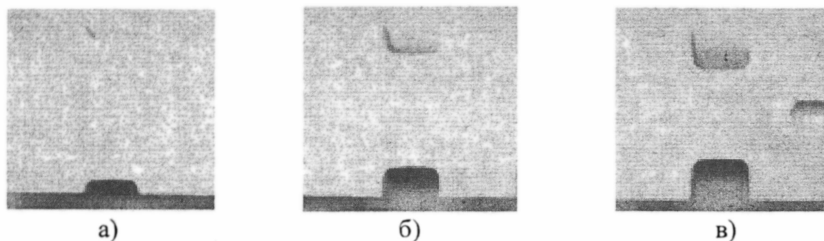


Рис.6. Макроструктура исходной заготовки: а) – при $d/D=0.821$; б) – при $d/D=0.643$; в) – при $d/D=0.5$

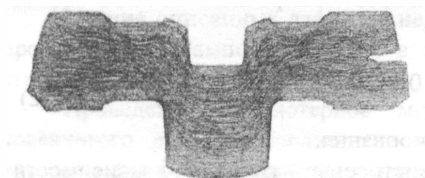


Рис.7. Макроструктура алюминиевого образца при $r_1/D=0,071$; $r_2/D=0,018$; $d/D=1$; $h/D=0,536$

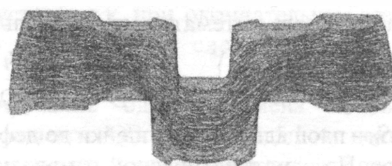


Рис.8. Макроструктура алюминиевого образца при $r_1/D=0,018$; $r_2/D=0,036$; $d/D=0,821$; $h/D=0,536$



Рис.9. Макроструктура алюминиевого образца при $r_1/D=0,036$; $r_2/D=0,071$; $d/D=0,643$; $h/D=0,536$

Определив адекватность компьютерного моделирования при сопоставлении с экспериментом, в дальнейшем в методике использовали результаты моделирования. Компьютерное моделирование в программном комплексе QForm v.5.1 позволяет определить расположение волокон макроструктуры в поковке. Положение волокон показывает распределением линий Лагранжа. На рис. 10, 11, 12 и 13 показаны результаты компьютерного моделирования (опыты №3, 5, 10, 16) с распределением линий Лагранжа.

QForm v.5.1
QFormForm
mesh 3_2_36_38_15 scale
Опыт№3

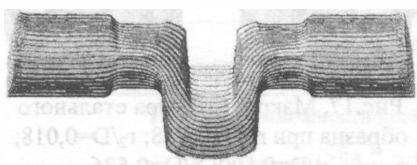


Рис.10. Распределение линий Лагранжа при $r_1/D=0,072$; $r_2/D=0,018$; $d/D=1$; $h/D=0,536$

QForm v.5.1
QFormForm
mesh 5_05_1_23_15 mm
Опыт№5

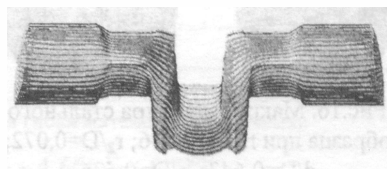


Рис.11. Распределение линий Лагранжа при $r_1/D=0,018$; $r_2/D=0,036$; $d/D=0,821$; $h/D=0,536$

QForm v.5.1
QFormForm
mesh 10_1_18_14 mm
Опыт№2

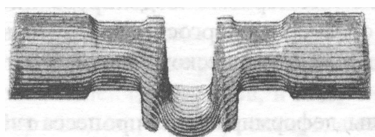


Рис.12. Распределение линий Лагранжа при $r_1/D=0,036$; $r_2/D=0,072$; $d/D=0,643$; $h/D=0,536$

QForm v.5.1
QFormForm
mesh 18_05_05_14_15 mm
Опыт№7

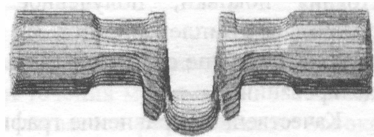


Рис.13. Распределение линий Лагранжа при $r_1/D=0,018$; $r_2/D=0,018$; $d/D=0,500$; $h/D=0,536$

Для подтверждения результатов формоизменения и распределения волокнистого строения в поковке был проведен эксперимент по гибке с использованием заготовок из стали 45 в горячем состоянии (опыты №3, 5, 10, 16). Температура нагрева заготовок – 1150 °С.

Результаты эксперимента представлены на рис.14, 15, 16 и 17.

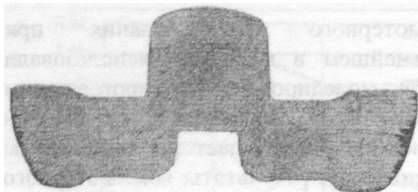


Рис.14. Макроструктура стального образца при $r_1/D=0,072$; $r_2/D=0,018$; $d/D=1$; $h/D=0,536$

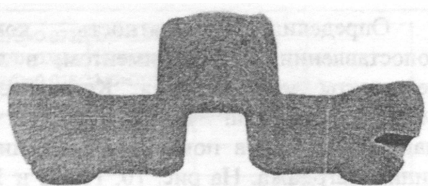


Рис.15. Макроструктура стального образца при $r_1/D=0,018$; $r_2/D=0,036$; $d/D=0,821$; $h/D=0,536$

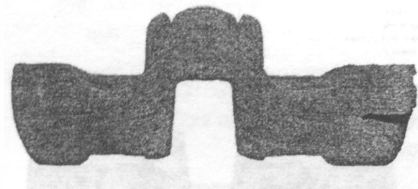


Рис.16. Макроструктура стального образца при $r_1/D=0,036$; $r_2/D=0,072$; $d/D=0,643$; $h/D=0,536$

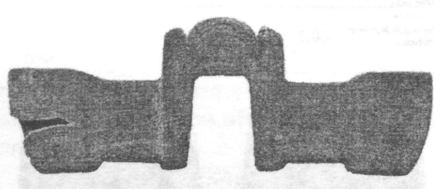


Рис.17. Макроструктура стального образца при $r_1/D=0,018$; $r_2/D=0,018$; $d/D=0,500$; $h/D=0,536$

Волокнистое строение полученное в поковках из алюминия марки АД0, стали 45, а также при компьютерном моделировании процесса гибки в программном комплексе Qform 3D имеет одинаковый вид, а анализ результатов показал, что значения угла наклона волокон макроструктуры в поковках, получаемых гибкой с предварительно определенными, допускаемыми технологическими параметрами процесса (относительный радиус гибки, относительный радиус кривошипа вала, относительный диаметр шейки вала) укладываются в интервале углов от 0 до 10 градусов.

В третьей главе проведено исследование напряжено-деформированного состояния поковки, полученное при компьютерном моделировании в программном комплексе Qform 3D v 5.1 и сравнение энергосиловых значений при гибки в штампе с зажимными элементами при физическом эксперименте и моделировании.

Качественное сравнение графиков силы деформирования процесса гибке при физическом и компьютерном моделировании на заготовках из свинца, алюминия марки АД0 показало расхождение значений не более 12% и совпадение общего вида графиков при гибке заготовок из свинца, алюминия и стали 45.

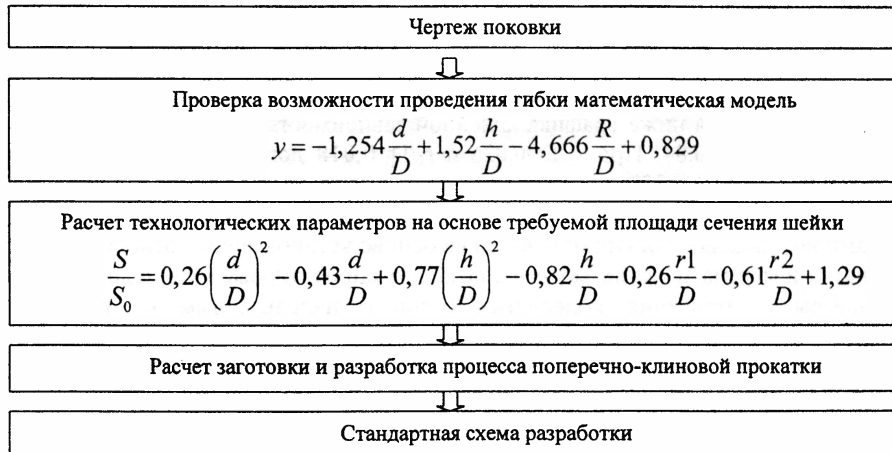
В результате компьютерного моделирования гибки заготовок из стали 45 получена картина распределений средних напряжений и накопленной деформации по сечению поковки.

В четвертой главе разработана методика проектирования процесса штамповки двухколенного коленчатого вала Д21-1005015А3. Проведено сравнение типовой и предлагаемой новой технологии, табл.3.

Таблица 3.

Типовой технологический процесс включает в себя следующие операции:	Предлагаемый технологический процесс включает в себя следующие операции:
1. Резка прутка на заготовки.	1. Резка прутка на заготовки.
2. Нагрев заготовок.	2. Нагрев заготовок.
3. Вальцовка.	3. Поперечно клиновая прокатка.
4. Предварительная штамповка.	4. Гибка в полузакрытом штампе.
5. Окончательная штамповка.	5. Штамповка в полузакрытом штампе.
6. Обрезка облоя.	6. Обрезка облоя.
7. Правка.	7. Правка.

Последовательность расчетов при проектировании иллюстрируется следующим алгоритмом:



Общие выводы

1. В наиболее распространенных технологических процессах штамповки поковок коленчатых валов, в виду сложности течения металла при заполнении гравюр штампа, при проектировании не учитывается расположение волокон макроструктуры в поковке, что может приводить к выходу волокон на рабочие контактные поверхности, и как следствие, к более раннему износу детали в местах шатунных шеек при эксплуатации вала.

2. Разработанная методика экспериментального исследования предварительной операции гибки с силовым замыканием шатунных шеек при штамповке поковок типа коленчатый вал, включающая методику проведения физического моделирования, методику изготовления и травления макрошлифов для исследования волокнистого строения при гибке, а также компьютерное моделирование процессов гибки и штамповки позволит исследовать распределение волокон макроструктуры в поковке на заготовительной операции.

2. Установлены относительные величины и интервалы их исследования, влияющие на стабильность протекания процесса гибки в штампе с силовым замыканием шатунных шеек и искажение волокон макроструктуры поковки, которыми являются: относительные радиусы гибки r_1/D и r_2/D в интервале от 0,018 до 0,071, относительный диаметр шейки вала d/D в интервале от 0,5 до 1, относительный радиус кривошипа вала (эксцентриситет вала) h/D в интервале от 0,178 до 0,536.

3. Разработанные математические модели процесса гибки, позволяют определить возможность использования данной технологии для проведения гибки при штамповке поволоков коленчатых валов на этапе проектирования техпроцесса.

4. Экспериментальными исследованиями подтверждена адекватность разработанных математических моделей определяющих оптимальные технологические параметры процесса гибки. Установлена область допустимых значений относительного диаметра шейки и относительного радиуса кривошипа, при которых будет выполняться гибка при различных относительных радиусах гибки без наличия дефектов в поковке. Для $r_1/D=0,072$ область находится ниже графика линейной зависимости от $d/D=0,5$ и $h/D=0,43$ до $d/D=1$ и $h/D=0,84$. При $r_1/D=0,036$ и $r_1/D=0,018$ допустимые значения h/D снижаются на 12% и 33% соответственно.

5. Разработанная методика проектирования технологического процесса штамповки поволоков коленчатых валов на основе установленных относительных величин и математических моделей, позволит спроектировать технологические процессы изготовления коленчатых валов с направленным волокнистым строением и получить экономию металла.

6. Спроектирован техпроцесс штамповки двухколенного коленчатого вала Д21-1005015А3. Получено ориентированное строение макроструктуры в поковке и выход волокон на контактную поверхность под углом не превысил 10° и достигнута экономия металла на 12,3% в следствие отсутствия течения металла в облой в местах шатунных шеек вала.

Список опубликованных работ по теме диссертации

1. Майстров Ю.В. Исследование операции гибки при штамповке коленчатых валов с помощью компьютерного моделирования//Известия вузов. Машиностроение. – 2011. – №9. – С. 37-43.

2. Семенов Е.И., Майстров Ю.В. Новая заготовительная операция гибки для штамповки коленчатых валов// Заготовительные производства в машиностроении. – 2011. – №9. – С. 15-18.

3. Майстров Ю.В., Белокуров О.А. Экспериментальные исследования и оптимизация операции гибки при штамповке коленчатых валов// Заготовительные производства в машиностроении. – 2011. – №10. – С. 17-21.

4. Майстров Ю.В. Сравнительный анализ технологических процессов горячей объемной штамповки коленчатых валов // Будущее машиностроения России: Сборник трудов Всероссийской конференции молодых ученых и специалистов. (М). - 2008. - С. 109- 111.