Сидоров Александр Александрович. Разработка технологического процесса высадки поковок типа стержня с полусферическим фланцем с направленным волокнистым строением: диссертация ... кандидата Технических наук: 05.02.09 / Сидоров Александр Александрович;[Место защиты: Московский государственный технический университет имени Н.Э Баумана], 2016.- 158 с.

**МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ Н. Э. БАУМАНА**

На правах рукописи

**УДК 621.979.15**

**СИДОРОВ АЛЕКСАНДР АЛЕКСАНДРОВИЧ**

**РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА ВЫСАДКИ**

**ПОКОВОК ТИПА СТЕРЖНЯ С ПОЛУСФЕРИЧЕСКИМ ФЛАНЦЕМ С**

**НАПРАВЛЕННЫМ ВОЛОКНИСТЫМ СТРОЕНИЕМ**

Специальность 05.02.09 – Технологии и машины обработки давлением

ДИССЕРТАЦИЯ на соискание ученой степени кандидата технических наук

Научный руководитель:

доктор технических наук, профессор Семенов Е. И.

Москва 2016

2

**Содержание**

Стр.  
[Введение](#bookmark0) [5](#bookmark0)

[Глава 1. Анализ состояния вопроса, уточнение целей и задач  
исследования](#bookmark1) [11](#bookmark1)

[1.1. Требования к качеству поковок](#bookmark2) [11](#bookmark2)

[1.2.](#bookmark4) [Влияние волокнистого строения поковок на качество  
получаемых деталей](#bookmark4) [12](#bookmark4)

[1.3.](#bookmark13) [Существующие методики проектирования поковок с  
направленным волокнистым строением](#bookmark13) [19](#bookmark13)

[1.4.](#bookmark22) [Анализ способов получения поковок с направленным  
волокнистым строением](#bookmark22) [28](#bookmark22)

[1.5. Существующие технологии производства поковок типа стержня](#bookmark27)

[с полусферическим фланцем](#bookmark27) [31](#bookmark27)

1. [Способы оценки волокнистого строения поковок](#bookmark33) [35](#bookmark33)
2. [Выводы по главе 1](#bookmark35) [38](#bookmark35) [Глава 2. Выбор схемы штамповки и основных технологических параметров, влияющих на волокнистую структуру поковок типа стержня с полусферическим фланцем на основе компьютерного моделирования](#bookmark36) [40](#bookmark36)

[2.1. Выбор CAD-CAE системы для вычислительного эксперимента](#bookmark37) [40](#bookmark37)

1. [Создание модели объекта исследования для вычислительного эксперимента](#bookmark38) [41](#bookmark38)
2. [Моделирование схем высадки и выбор рационального способа получения поковок типа стержня с полусферическим фланцем](#bookmark47) [49](#bookmark47)
3. [Определение корреляционной зависимости между показателями ориентации волокон поковок типа стержня с полусферическим фланцем из сплава алюминия АД0 и стали 45](#bookmark54) [53](#bookmark54)
4. [Отбор факторов, влияющих на ориентацию волокон в поковках](#bookmark63)

[типа стержня с полусферическим фланцем](#bookmark63) [59](#bookmark63)

3

Стр.

[2.6. Выводы по главе 2](#bookmark68) [63](#bookmark68)

[Глава 3. Исследование процесса высадки поковок типа стержня с](#bookmark70)

[полусферическим фланцем на основе численного и физического](#bookmark70)

[экспериментов. Сравнение результатов численного и физического](#bookmark70)

[экспериментов](#bookmark70) [65](#bookmark70)

[3.1.](#bookmark71) [Компьютерное моделирование процесса горячей высадки  
поковок типа стержня с полусферическим фланцем на основе  
факторного эксперимента](#bookmark71) [65](#bookmark70)

[3.2. Расчет энергосиловых параметров при высадке](#bookmark91) [78](#bookmark91)

1. [Определение энергосиловых параметров с помощью метода верхней оценки](#bookmark92) [79](#bookmark92)
2. [Определение энергосиловых параметров с помощью метода конечных элементов](#bookmark106) [87](#bookmark106)

[3.2.3.](#bookmark108) [Аналитическое определение энергосиловых параметров  
(вариант №1)](#bookmark108) [88](#bookmark108)[3.2.4](#bookmark111)   [Аналитическое определение энергосиловых параметров  
(вариант №2)](#bookmark111) [89](#bookmark111)[3.2.5.](#bookmark126)  [Сравнение результатов расчета силы деформирования по  
четырем рассмотренным методикам](#bookmark126) [92](#bookmark126)

[3.3. Физическое моделирование процесса высадки](#bookmark129) [95](#bookmark129)

1. [Высадка поковок из алюминиевых заготовок](#bookmark130) [95](#bookmark130)
2. [Высадка поковок из стальных заготовок](#bookmark143) [102](#bookmark143)

[3.4. Выводы по главе 3](#bookmark149) [104](#bookmark149)[Глава 4. Разработка методики проектирования технологического  
процесса высадки поковок типа стержня с полусферическим  
фланцем с направленным волокнистым строением и примеры ее  
применения](#bookmark150) [106](#bookmark150)

4

Стр.

[4.1.](#bookmark151) [Структура методики проектирования технологического  
процесса высадки поковок типа стержня с полусферическим  
фланцем с направленным волокнистым строением](#bookmark151) [106](#bookmark151)

[4.2.](#bookmark157) [Пример расчета при проектировании поковки шаровой опоры  
грузового автомобиля УРАЛ](#bookmark157) [118](#bookmark157)

[4.3. Выводы по главе 4](#bookmark166) [124](#bookmark166)[Общие выводы](#bookmark167) [125](#bookmark167)Список литературы 126  
[Приложение](#bookmark248) [136](#bookmark248)

5

**Введение**

Повышение качества, надежности и срока службы деталей машин является основной задачей при производстве деталей, в особенности подверженных трению.

Кузнечно-штамповочное производство – один из основных методов  
получения заготовок для изготовления ответственных деталей машин.  
Детали, полученные обработкой металлов давлением, определяют

надежность и качество машины.

Методами обработки металлов давлением изготавливают кованые и штампованные поковки различной конфигурации. Преимуществом такого производства, по сравнению с литьѐм и обработкой резаньем, являются низкие трудозатраты, более эффективный расход металла и более высокие механические свойства деталей. Наиболее эффективно применение обработки металлов давлением при массовом и крупносерийном производстве.

Высокие требования, предъявляемые к качеству поковок, приводят к тому, что на сегодняшний день этот вопрос является одним из главных, стоящих перед машиностроительной отраслью. Вопросы качества поковок являются многоплановыми и решаются в различных направлениях.

В настоящее время традиционные способы изготовления поковок методами обработки металлов давлением не всегда обеспечивают требуемое качество, удовлетворяющее современным требованиям машиностроения. Особенно это можно отнести к поковкам, из которых изготавливают высоконагруженные ответственные детали типа подшипников, шаровых пальцев, деталей типа стержня с фланцем и др.

Многочисленные исследования показали, что одним из основных факторов, определяющим повышение эксплуатационной стойкости и долговечности деталей, получаемых методами обработки металлов

6 давлением, является волокнистое строение этих деталей, а именно

расположение волокон деталей относительно рабочей контактной

поверхности [[1](#bookmark168)]. Таким образом, получение благоприятного, для данной

схемы нагружения детали, волокнистого строения поковки или штамповки,

из которой впоследствии получают деталь, является важной задачей при

проектировании технологических процессов изготовления этих деталей. При

этом, следует отметить, что в настоящее время, при проектировании

технологических процессов ковки и объемной штамповки, существует

возможность прогнозирования и оптимизации волокнистого строения

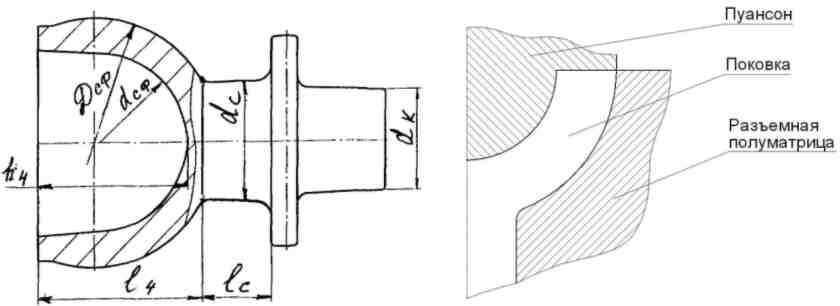
поковок методами математического моделирования [[2](#bookmark169)].

Поковки типа стержня с полусферическим фланцем (см. рисунок ниже)

получили широкое применение в машиностроении, особенно в

автомобилестроении, в частности в кулисно-рычажных механизмах

различных соединений с шаровой головкой.



а б

Поковка типа стержня с полусферическим фланцем а – схематичный чертеж поковки б – принципиальная схема штамповки на ГКМ В литературе [[3](#bookmark170)–[5](#bookmark172)] детали данного типа зачастую классифицируют как «детали типа стержня с утолщением». Подобные детали чаще всего получают путем высадки прутковой заготовки на горизонтально-ковочной машине (ГКМ). Высадка – это уменьшение части высоты исходной заготовки с одновременным увеличением площади ее поперечного сечения.

Технология высадки изучена и подробно рассмотрена в различной литературе [[4](#bookmark171)–[7](#bookmark174)]. Возможность осуществления высадки зависит от ряда

7 факторов, а в случае невозможности по какой-либо причине осуществления

высадки заготовки за один переход, обычно осуществляют высадку с

наборными, как правило, коническими переходами [[5](#bookmark172)].

Необходимо отметить, что в настоящее время технологический процесс  
получения поковок типа стержня с полусферической головкой недостаточно  
изучен и в литературе нет достаточного количества информации об  
особенностях формоизменения, напряженно-деформированного состояния и  
необходимых энергосиловых параметрах. Отсутствуют как четко

сформулированные требования к технологическому процессу в связи с необходимостью обеспечения оптимального волокнистого строения поковки, так и четко сформулированные требования к самому волокнистому строению.

В этой связи можно предположить, что вопросы исследования напряженно-деформируемого состояния и направленного волокнистого строения в поковках типа стержня с полусферическим фланцем являются актуальными и их изучение способствует повышению качества поковок данного типа.

Результатом подобного исследования может стать готовая методика изготовления поковок типа стержня с полусферическим фланцем с направленным (правильно ориентированным) волокнистым строением, что в свою очередь, позволит значительно увеличить ресурс работы деталей, изготавливаемых из данных поковок.

Значительный практический интерес этот вопрос представляет в отношении поковок, получаемых как горячей, так и холодной высадкой.

Анализ работ, направленных на оценку влияния макроструктуры деталей машин на их служебные свойства показывает, что стойкость на истирание, следовательно, и срок службы детали можно значительно повысить путем оптимизации волокнистого строения в рабочей зоне детали.

Результатом данной работы являются рекомендации по выбору параметров технологического процесса получения данного типа поковок,

8 направленные на оптимизацию волокнистого строения этих поковок, а,

следовательно, на повышение качества поковок, эксплуатационной

стойкости и срока службы деталей, изготавливаемых из них.

Цель работы: повышение качества поковок типа стержня с полусферическим фланцем за счет обеспечения в них направленного волокнистого строения.

Задачи работы:

**-** Провести анализ существующих способов получения направленного  
волокнистого строения в поковках, предложить схему штамповки поковок  
типа стержня с полусферическим фланцем, позволяющую управлять  
ориентацией волокон, и определить основные конструктивно-  
технологические факторы, влияющие на ориентацию волокон в поковке;

* Предложить показатели, характеризующие волокнистое строение поковок типа стержня с полусферическим фланцем, получить их математические модели и оценить их адекватность;
* Провести анализ современных методов расчета сил деформирования при штамповке поковок типа стержня с полусферическим фланцем;

На основе проведенных исследований разработать методику проектирования процесса высадки поковок типа стержня с полусферическим фланцем с направленным волокнистым строением. Научная новизна:

**-** Получены математические модели показателей ориентации волокон в  
поковках типа стержня с полусферическим фланцем (βъ β**2** и βср) после  
снятия припуска на механическую обработку в зависимости от  
конструктивно-технологических параметров процесса: относительная длина  
высадки ψ, относительная толщина стенки полусферы γ, угол наклона  
деформирующей поверхности пуансона на предварительном штамповочном  
переходе α;

Разработана научно обоснованная методика проектирования технологических процессов штамповки поковок типа стержня с

9 полусферическим фланцем с направленным волокнистым строением,

позволяющая изготовлять поковки с заданным распределением волокон

вдоль рабочих контактных поверхностей.

Практическая значимость: Предложена усовершенствованная

технология штамповки поковок типа стержня с полусферическим фланцем, включающая дополнительный наборный переход, который в значительной степени определяет направленное волокнистое строение поковки, и разработан технологический процесс получения направленного волокнистого строения в поковке «Опора шаровая» для автомобиля «Урал» (6361Х-2304015) из стали З0ХГСА.

Методы исследований и достоверность результатов: Экспериментальные исследования проводили на заготовках из алюминиевого сплава АД-0 и стали 45 в горячем состоянии на универсальной испытательной машине Instron 600 DX и на кривошипно-коленном прессе К0034 номинальной силой 2,5 МН, используя разработанную оснастку, моделирующую штамповку на горизонтально-ковочных машинах (ГКМ). Эксперименты выполняли в лаборатории кафедры «Технологии обработки давлением» (МТ6) МГТУ им. Н.Э.Баумана. Численное моделирование процессов высадки на ГКМ проведено методом конечных элементов с использованием соответствующих математических моделей в программном комплексе Deform. Моделирование техпроцессов высадки на ГКМ поковок выполнено с использованием методов факторного планирования для построения математических моделей расчета показателей ориентации волокон в поковке. Экспериментальные исследования макроструктуры в алюминиевых и стальных поковках выполнены на металлографических установках NEOPHOT 30 и Axiovert 200 M MAT. Для расчета энергосиловых параметров процесса высадки поковки типа стержня с полусферическим фланцем использованы метод верхней оценки и аналитические методы расчета на основе метода пластического течения в сферической системе координат.

10 Основные положения работы доложены и обсуждены на следующих

конференциях и семинарах: семинары кафедры «Технологии обработки

давлением» МГТУ им. Н.Э. Баумана. М., 2008, 2009, 2015.; IX Конгрессе

«Кузнец-2009». Рязань, 2009.; VI Международной конференции

«Деформация и разрушение материалов и наноматериалов». М., 2015.

Автор выражает благодарность к.т.н., доценту кафедры «Технологии

обработки давлением» МГТУ им. Н.Э.Баумана Белокурову О.А. за научные

консультации при выполнении работы, а также коллективу кафедры за

содействие в выполнении экспериментальных исследований.

**Общие выводы**

1. На основе проведенного анализа существующих способов получения направленного волокнистого строения предложен технологический процесс штамповки поковок типа стержня с полусферическим фланцем, позволяющий управлять ориентацией волокон при следующих конструктивно-технологических параметрах: относительная длина высадки ψ=2.5…5.4, относительная толщина стенки полусферы γ=0.337…0.475, угол наклона деформирующей поверхности пуансона на предварительном штамповочном переходе α = -7.50…+7.50.
2. Разработанные регрессионные модели, описывающие взаимосвязь между предложенными показателями ориентации волокон β1, β2, βср при различных значениях относительной величины припуска на механическую обработку δ и конструктивно-технологическими параметрами, позволяют оценивать характер волокнистого строения в детали с точностью ±10%, что подтверждено экспериментальными исследованиями.
3. Анализ современных методов расчета сил деформирования показал, что наиболее рациональными методами расчета сил деформирования при высадке поковок типа стержня с полусферическим фланцем являются метод конечных элементов и аналитический метод расчета, основанный на методе пластического течения, позволяющие рассчитывать силу высадки с точностью ±20%.
4. Разработанная методика проектирования позволяет определять конструктивно-технологические параметры высадки на ГКМ поковок типа стержня с полусферическим фланцем, применение которых позволяет улучшать показатели ориентации волокон β1, β2, βср в детали и повышать еѐ относительную стойкость к истиранию до 20%.

126

**Список литературы**

1. Семенов Е.И., Зиновьев И.С. Общие требования к волокнистому  
строению высаженных поковок // Вестник машиностроения. М. 1977. №11.

С. 69-71.

2. QForm–универсальная и эффективная программа для моделирования  
ковки и штамповки / Н.В. Биба [и др.] // Кузнечно-штамповочное производство.  
Обработка материалов давлением. 2011. № 1. С. 36-42.

3. Брюханов А. Н. Ковка и объемная штамповка. М.: Машиностроение,

1975. 408 с.

1. Биллигман И. В. Высадка и штамповка: (Пер. с нем.). М.: Машиздат, 1960. 467 с.
2. Ковка и штамповка. Справочник в четырех томах / Под ред. Е.И. Семенова М.: Машиностроение, 1986. Т. 2. 592 с.
3. Навроцкий Г. А. Холодная объемная штамповка: Справочник. М.: Машиностроение, 1973. 628 с.
4. Белокуров О. А. Разработка методики проектирования технологического процесса штамповки кольцевых поковок с направленным волокнистым строением: дис. … канд. техн. наук. М. 2004. 204 с.
5. Тюрин В. А. Теория и процессы ковки слитков на прессах. М.: Машиностроение, 1979. 240 с.
6. Штамповка поковок с направленным волокнистым строением / О.А. Банных [и др.] // Вестник машиностроения. 2000. № 10. С. 33-37.
7. Зиновьев И.С. Исследование формоизменения и волокнистого строения при наборной высадке: дис. … канд. техн. наук. М. 1973. 220 с.
8. Лахтин Ю.М. Металловедение и термическая обработка металлов. М.: Металлургия, 1976. 420 с.
9. Research on Effects of Uneven Macrostructure to Mechanical Properties in TC21 Forging / J. Li [et al.] // Materials Science Forum. 2013. V. 747. P. 823-827.
10. Hertzberg R. W. Deformation and fracture mechanics of engineering materials. New York: John Wiley & Sons, 1983. 697 p.

127

14. Hoagland R. G., Rosenfield A. R., Hahn G. T. Mechanisms of fast fracture and

arrest in steels //Metallurgical Transactions A. 1972. V. 3, №. 1. P. 123-136.

1. Hahn G.T. and Rosenfield A.R. Metallurgical factors affecting fracture toughness of aluminum alloys //Metallurgical Тransactions A. 1975. V.6, №4 P. 653-668.
2. Microstructural aspects of fracture by dimpled rupture / R. H. V. Stone [et al.] //International Metals Reviews. 1985. V. 30. №. 1. P. 157-180.
3. Яковлев С. П., Кухарь В. Д. Штамповка анизотропных заготовок. М.: Машиностроение, 1986. 136 c.
4. Раузин Я.Р. Влияние макроструктуры металла на контактную выносливость и долговечность подшипников качения // Контактная прочность машиностроительных материалов: Сб. научных трудов. М.: Наука, 1964. C. 51-55.
5. Тюрин В.А. Алгоритм построения технологии ковки // Известия вузов Черная металлургия. 1974. №11. С. 123-125.
6. Троп А.А., Козин В.З., Прокофьев Е.В. Управление технологическими процессами обогатительных фабрик. М.: Недра, 1986. 315 c.