

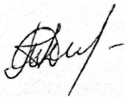
Денищев Тимофей Вячеславович

**СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ШТАМПОВКИ ПОКОВОК
ТИПА «СТАКАН» МЕТОДОМ КОМБИНИРОВАННОГО
ВЫДАВЛИВАНИЯ**

Специальность 05.02.09 – Технологии и машины обработки давлением

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук



Москва 2012

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

Научный руководитель- Коробова Наталья Васильевна, доктор технических наук, профессор, Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана.

Официальные оппоненты: Ступников Владимир Петрович, доктор технических наук, профессор, Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана;

Третьюхин Виталий Вячеславович, кандидат технических наук, старший научный сотрудник, Московский государственный технический университет «Станкин».

Ведущая организация- Московский государственный индустриальный университет.

Защита состоится «13» февраля 2013 г. в 14 ч. 30 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.

Ваш отзыв на автореферат в двух экземплярах, заверенных просим направлять по указанному адресу.

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

Телефон для справок 8 (499) 267-09-63.

Автореферат разослан «27» декабря 2012 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета
кандидат технических наук, доцент

ky

Семенов В.И.



2015677
Печидз Т. В. Совершенствов

2670

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность работы

Современное машиностроение развивается по следующим направлениям: ресурсосбережение, содержащее в себе экономию трудозатрат, металла, электроэнергии и т.д.; повышение качества получаемых изделий, зависящее от точности используемых заготовок, оптимальных технологических режимов и точности настройки оборудования; конкурентоспособность, заключающаяся в улучшении товарного вида изделий, экологичности технологий и снижение себестоимости деталей.

Непрерывно усложняющиеся конструкции машин и оборудования, а также применение новых материалов для изготовления деталей, требуют совершенствования технологий, в том числе и в обработке металлов давлением.

Значительную часть продукции отрасли машиностроения составляют корпусные поковки типа «стакан». Типовыми деталями, получаемыми из таких поковок, являются изделия нефтяной промышленности, пневмоцилиндры, корпуса снарядов, гидроцилиндры, баллоны, трубы, клапаны, втулки и другие детали.

В настоящее время корпусные поковки типа «стакан» с отношением наружного диаметра к внутреннему 1,3 - 1,5 и глубиной полости, превышающей её диаметр в 4 и более раз, изготавливают указанными ниже способами обработки давлением.

1. Листовая штамповка.
2. Объемная штамповка, включающая:
 - а) горячую объемную штамповку;
 - б) комбинированную объемную штамповку;
 - в) полугорячую объемную штамповку;
 - г) холодную объемную штамповку.

Наиболее распространенным при изготовлении корпусных поковок типа «стакан» является технологический процесс, основанный на операции обратного выдавливания. Причем один из основных параметров точности заготовок данного типа: разностенность – и, связанная с ней металлоемкость, закладывается на операции выдавливания.

Допуски на разностенность при горячей объемной штамповке, как правило, выбирают по ГОСТ 7505-89 с возможным увеличением их на 25...50% для глубоких полостей. При наружном диаметре стакана 85 мм, диаметре полости 50 мм и длине полости 300 мм разностенность достигает 2...3 мм, при наружном диаметре 275 мм, диаметре полости 195 и длине полости 1000 мм разностенность достигает уже 8...9 мм. Также известно, что разностенность при холодной объемной штамповке может достигать 10 мм при длине детали 1000 мм, диаметре внутренней полости 215 мм и наружном диаметре 275 мм. Разностенность, возникая на операции обратного выдавливания, не только не уменьшается на последующих операциях обработки давлением, но и может значительно увеличиваться.

В данной работе речь пойдет о крупногабаритных поковках типа «стакан» с геометрическими соотношениями $H \geq 4D$, $h \geq 5d$, $D \geq 1,5d$, получаемых новым способом, в котором используется схема комбинированного выдавливания.

Учитывая вышесказанное, следует отметить, что повышение точности заготовок под штамповку, разработка новых схем деформирования, рекомендаций штамповки, которые позволяют снизить разностенность, является актуальной.

Целью работы является разработка технологии штамповки поковок типа «стакан» с минимальной разностенностью способом выдавливания, рациональность которого подтверждена на основе аналитических и экспериментальных исследований, а также на основе моделирования. Доказательство наличия эффекта самоцентрирования пуансона относительно матрицы при выдавливании по предлагаемой схеме.

Для достижения указанной цели были поставлены и решены следующие задачи:

1. Исследовать способ изготовления крупногабаритных поковок типа «стакан» выдавливанием, при котором металл одновременно течет в стенку и дно; доказать наличие преимущества указанной схемы по сравнению с обратным выдавливанием благодаря эффекту самоцентрирования пуансона и уменьшению эксцентриситета в изделии.

2. Построить математическую модель для определения смещения пуансона относительно матрицы при штамповке по разрабатываемой схеме выдавливания. На основе построенной модели определить влияние геометрии инструмента на эффект самоцентрирования пуансона.

3. При помощи моделирования провести сравнительную оценку обратного и предложенного комбинированного выдавливания при наличии искусственно заданной несоосности инструмента.

4. Разработать принципиальную схему движения инструмента на центральной позиции специализированного пресса при использовании предложенной схемы комбинированного выдавливания.

5. Исследовать обеспечение заданного уровня механических свойств стали 60С2, получаемого после горячей штамповки.

Методы исследований

Работа выполнена экспериментальными методами, включающими в себя математические эксперименты с применением программного комплекса DEFORM-3D и физические многофакторные эксперименты с последующим регрессионным анализом и построением уравнений регрессий.

Достоверность результатов, выводов и рекомендаций, сформулированных в работе, обоснована корректностью постановки задач, обоснованным использованием допущений, применением известных

математических методов и подтверждается качественным и количественным согласованием результатов теоретических и экспериментальных исследований.

Научную новизну имеют следующие результаты:

- схема на основе комбинированного выдавливания для изготовления крупногабаритных поковок типа «стакан» с геометрическими соотношениями $H \geq 4D$; $h \geq 5d$; $D \geq 1,5d$ и обоснование её применения;
- определение рациональных размеров деталей штампового инструмента, при которых существует эффект самоцентрирования пуансона относительно матрицы;
- результаты исследований комбинированного выдавливания на основе моделирования в программном комплексе DEFORM-3D, позволяющие оценить разностенность изделия при заданной исходной несоосности пуансона относительно матрицы.

Практическая значимость

1. Разработан технологический процесс штамповки детали типа «стакан», изготавливаемой в опытном производстве ФГУП «НИМИ», который даёт возможность снизить разностенность и уменьшить силу деформирования, тем самым повысить стойкость инструмента.
2. Определены технические характеристики специализированного трехпозиционного гидравлического пресса и предложена схема движения инструмента на его центральной позиции.
3. Установлен рациональный режим охлаждения после штамповки, обеспечивающий требуемый уровень механических свойств без дополнительной термообработки.

Апробация работы

Основные положения и материалы работы доложены и обсуждены на:

- Всероссийской межвузовской конференции «Студенческая весна 2009». Москва, МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2009 г.;
- Международной научно-практической конференции «Инженерные системы 2010». Москва, Российский университет дружбы народов, 2010 г.;
- Всероссийской конференции молодых ученых и специалистов «Будущее машиностроения России». Москва, МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2010 г.
- научных семинарах кафедры Технологии обработки давлением МГТУ им. Н. Э. Баумана, в 2010, 2011 и 2012 гг.

Внедрение результатов

Результаты работы рассмотрены ФГУП «НИМИ» в опытном производстве при совершенствовании существующих и создании новых технологических процессов изготовления деталей типа «стакан», рассмотрение результатов подтверждено соответствующим актом.

Публикации

Основное содержание диссертационной работы изложено в 5-ти научных работах. Из них 2 – в журналах, входящих в Перечень ВАК.

Структура и объем работы

Диссертация состоит из введения, четырех глав, основных выводов по работе, списка литературы и приложения. Работа изложена на 133 страницах машинописного текста, содержит 59 рисунков, 36 таблиц и список литературы из 77 наименований.

Автор защищает:

- способ изготовления крупногабаритных поковок типа «стакан» с геометрическими соотношениями $H \geq 4D$, $h \geq 5d$, $D \geq 1,5d$, позволяющий реализовать эффект самоцентрирования выдавливающего полость пуансона и снизить разностенность поковок;
- экспериментально полученную зависимость смещения пуансона относительно матрицы при штамповке детали по схеме комбинированного выдавливания от геометрических параметров технологического процесса и заданной исходной несоосности инструмента;
- рациональную схему движения инструмента на центральной позиции специализированного трехпозиционного гидравлического пресса для изготовления крупногабаритных поковок типа «стакан»;
- способ термообработки охлаждением после штамповки для обеспечения требуемого уровня механических свойств крупногабаритных поковок типа «стакан»;
- преимущества разработанного технологического процесса выдавливания крупногабаритных деталей типа «стакан».

КРАТКОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении показана актуальность работы, определена научная новизна, практическая значимость, перечень положений, выносимых автором на защиту.

В первой главе проведен обзор научно-технической литературы по теме диссертации.

Изготовление крупногабаритных поковок типа «стакан» рассматривается в работах В.М. Гришина, Е.П. Добрякова, Д.А. Дмитренко, А.М. Дмитриева, А.Г. Овчинникова, Е.И. Семенова, В.Е. Снимщикова и др. Некоторые из них проанализированы в данной главе.

Проанализированы причины, влияющие на разностенность поковок при выдавливании. В результате анализа выделены основные из них.

Проведен обзор технических решений, направленных на снижение разностенности поковок типа «стакан». Замечено, что известные технические решения, в большинстве случаев, сводятся к применению схем, позволяющих уменьшить разностенность путем повышения точности ориентации подвижных

частей штампа относительно неподвижных. Для их реализации разработаны специальные устройства: центрирующие втулки, специализированные штампы, узлы и др. Рассмотрены некоторые конструкции из их числа. Также рассмотрены некоторые известные способы снижения разностенности за счет повышения устойчивости пуансона посредством организации течения металла, чтобы пуансон удерживался на оси матрицы без принудительного воздействия.

Представлен аналитический обзор оборудования, на котором возможно изготавливать крупногабаритные поковки типа «стакан». Проведен сравнительный теоретический анализ применения механических и гидравлических прессов для изготовления крупногабаритных поковок с повышенными геометрическими соотношениями. Сделан вывод, что крупногабаритные поковки типа «стакан» повышенной длины целесообразней изготавливать на специализированном гидравлическом оборудовании.

Проведенный обзор показал, что у существующих технических решений проблемы по снижению разностенности при изготовлении выдавливанием крупногабаритных поковок типа «стакан» есть недостатки. Это свидетельствует об актуальности данной проблемы.

Сформулирована цель и задачи исследований, решение которых позволяет достичь поставленной цели.

Во второй главе изложена методика проведения исследований.

Рассмотрены возможности программного комплекса для моделирования процессов обработки материалов давлением DEFORM-3D, теоретические основы проведения и анализа результатов многофакторного эксперимента.

Предложена схема выдавливания и качественное её обоснование.

В результате анализа практических способов уменьшения разностенности внимание обращено на прием самоцентрирования пуансона из работы Дмитренко Д.А. Данный способ нельзя использовать при производстве поковок типа «стакан» из-за наличия внутри полости центрального стержня, который требует удаления, что приводит к увеличению расхода металла.

Была предложена схема процесса пластического деформирования для поковок типа «стакан» (рис. 1), которая изначально содержит этап комбинированного выдавливания (одновременное течения металла, навстречу движению инструмента - обратное выдавливание и по направлению движения инструмента - прямое выдавливание). Такие условия деформирования осуществляются с наименьшими энергетическими затратами, поскольку металл сам выбирает направление течения, при этом реализуется технологический прием уменьшения разностенности из работы Дмитренко Д.А., за счет самоцентрирования пуансона. Затем в том же технологическом переходе производится выдавливание металла из дна заготовки в распространяющуюся полость для увеличения высоты стенки стакана.

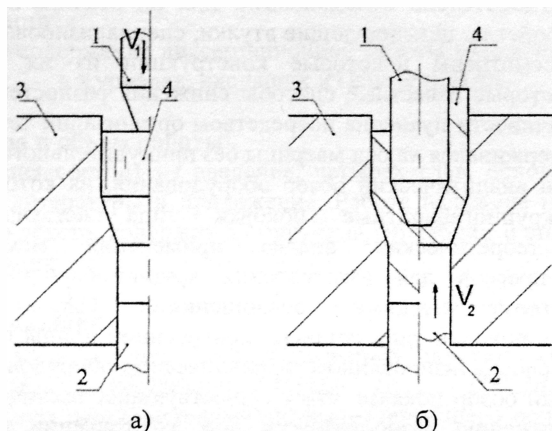


Рис. 1. Схема комбинированного выдавливания: а), б) – выдавливание с течением металла в дно; выдавливание металла из дна в расширяющуюся полость: 1– пуансон; 2– контрпуансон; 3 – матрица; 4 – заготовка

Как показывают экспериментальные исследования, при прочих равных условиях разностенность поковок, изготовленных по схеме обратного выдавливания больше, чем у аналогичных изделий, изготовленных по схеме комбинированного выдавливания. Такая ситуация обусловлена тем, что наличие несоосности инструмента во втором случае более невыгодно с точки зрения затрат энергии при протекании процесса. Для доказательства этой гипотезы достаточно построить и сравнить графики зависимостей энергии деформирования от эксцентриситета и хода деформирования $E=f(e,s)$ для обеих схем штамповки при наличии эксцентриситета приложения нагрузки.

Для решения поставленной задачи был использован программный комплекс моделирования процессов обработки металлов давлением DEFORM-3D. Проведено моделирование процесса обратного и комбинированного выдавливания при наличии эксцентриситета приложения нагрузки и прочих равных условиях.

Для каждой схемы промоделировано по 5 опытов с варьированием эксцентриситета e . Одним из результатов моделирования является график зависимости энергии деформирования от хода деформирования. Таким образом, для каждой схемы выдавливания получили 5 графиков зависимости $E=f(s)$ при пяти различных значениях эксцентриситета e . При помощи программного продукта Mathsoft Apps – Mathcad 14 определили зависимость $E=f(e,s)$. Для определения влияния эксцентриситета продифференцировали функции энергии $E=f(e,s)$ по эксцентриситету e – получили частные производные $\partial E/\partial e$. И для сравнения схем обратного и комбинированного выдавливания построили графики полученных зависимостей производных в виде поверхностей.

Анализ характера полученных графиков позволяет заключить, что $\partial E_{\text{обр}} / \partial e > \partial E_{\text{комб}} / \partial e$. Процесс обратного выдавливания протекает более неустойчиво и с увеличением хода деформирования затраты (амплитуда) энергии увеличиваются, а при процессе комбинированного выдавливания затраты энергии остаются на начальном уровне.

Рассматривая оба процесса с точки зрения равновесия сил, можно сделать вывод, что процесс обратного выдавливания сравним с шариком, находящимся на верхней точке сферического выступа (рис. 2), а процесс комбинированного выдавливания с шариком на дне сферического углубления (рис. 3). В механике это называют устойчивым и неустойчивым состоянием равновесия. Состояние равновесия называется устойчивым, если при малых отклонениях тела от этого состояния возникают силы или моменты сил, стремящиеся возвратить тело в равновесное состояние. При малом отклонении тела из состояния неустойчивого равновесия возникают силы или моменты сил, стремящиеся удалить тело от положения равновесия.

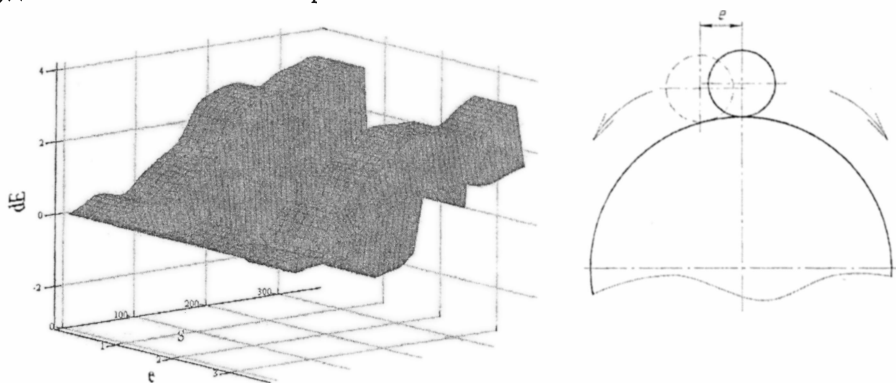


Рис. 2. Неустойчивое равновесие (обратное выдавливание)

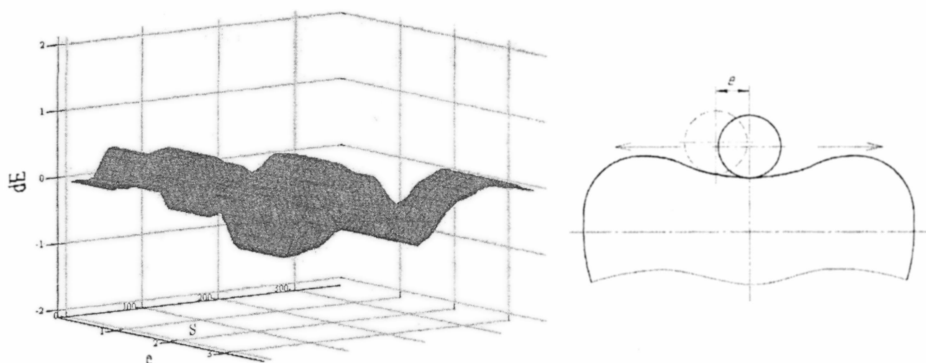


Рис. 3. Устойчивое равновесие (комбинированное выдавливание)

Разработана методика проведения физического и компьютерного эксперимента.

Для решения задачи количественной оценки работоспособности предложенной схемы была разработана оригинальная методика, базирующаяся на следующих основных положениях:

- в качестве показателя разностенности выбрано смещение пуансона к центру заготовки от заранее заданного эксцентриситета (эффект самоцентрирования пуансона) при различных геометрических соотношениях инструмента и заготовки. Выбор данного показателя позволяет спланировать и поставить эксперименты, и провести моделирование в программном комплексе DEFORM-3D;
- проведение минимального количества физических экспериментов с помощью методики планирования за счет варьирования основных параметров на двух уровнях;
- на базе результатов экспериментов построение линейного экспериментального уравнения регрессии, описывающего процесс на качественном уровне;
- проведение моделирования (виртуальных экспериментов) в программном комплексе DEFORM-3D с тем же количеством факторов и уровнями варьирования;
- построение аналогичного уравнения регрессии на базе виртуальных экспериментов;
- сравнение результатов расчетов по двум уравнениям на качественном уровне, с целью подтверждения возможности использования комплекса DEFORM-3D для решения поставленной задачи;
- проведение виртуальных экспериментов в программном комплексе DEFORM-3D с использованием большего количества факторов, некоторые из которых варьируются на 4 уровнях, и построение на базе результатов виртуальных экспериментов нелинейного уравнения регрессии, описывающего процесс самоцентрирования;
- определение геометрических параметров инструмента, при которых реализуется самоцентрирование пуансона, они соответствуют условиям формирования минимальной разностенности поковки.

Для определения влияния: диаметра матрицы, угла конусности матрицы, относительной высоты заготовки, относительного эксцентриситета, соотношения диаметров ступенчатой полости матрицы и отношения диаметра матрицы к диаметру пуансона, на самоцентрирование было проведено математическое планирование экспериментов. Пуансон искусственно смещали относительно оси матрицы на определенную величину для наглядности доказательства влияния наличия донного отростка на устойчивость протекания процесса выдавливания, стремления процесса к самоорганизации. Схема экспериментальной оснастки в сборе, по которой поставлены эксперименты, проведенные в данной работе, представлена на рис. 4.

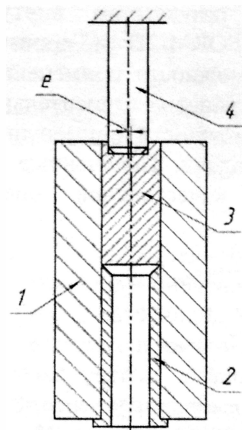


Рис. 4. Схема экспериментальной оснастки в сборе:
1 – матрица, 2 – ступенчатая втулка, 3 – заготовка, 4 – пуансон

Разработана технологическая оснастка, описаны основные и вспомогательные материалы для проведения экспериментов.

В третьей главе проведен ряд экспериментов процесса комбинированного выдавливания деталей типа «стакан» согласно методике представленной во второй главе, а также результаты этих исследований и их анализ.

Проведены физические эксперименты по схеме комбинированного выдавливания при наличии несоосности инструмента на свинцовых заготовках. Также проведены аналогичные виртуальные эксперименты.

В качестве исследуемой величины было выбрано Δ смещение пуансона к центру заготовки от заранее заданного эксцентриситета. В заготовках на верхнем торце было сделано специальное направляющее углубление, имеющее значительный эксцентриситет e относительно оси заготовки. В это углубление устанавливался пуансон, имеющий возможность самопроизвольного смещения в поперечном направлении. В качестве независимых переменных были выбраны: диаметр матрицы (X_1), угол конусности матрицы (X_2), относительная высота заготовки (X_3), эксцентриситет между осью направляющего углубления на верхнем торце заготовки и осью заготовки отнесенный к диаметру матрицы (X_4), соотношение диаметров ступенчатой полости матрицы $\check{R}_1 = D_M/d_{отр}(X_5)$, отношение диаметра матрицы к диаметру пуансона $\check{R}_2 = D_M/d_{пуан}(X_6)$.

По результатам опытов производились замеры толщины стенки для оценки наличия смещения пуансона либо к оси заготовки, либо от нее.

Результаты экспериментов свидетельствуют о наличии эффекта самоцентрирования пуансона относительно матрицы в процессе деформирования.

Построены два линейных уравнения регрессии, рассчитывающих смещение пуансона относительно матрицы, одно по результатам физических

экспериментов, другое по результатам виртуальных экспериментов в программном комплексе DEFORM-3D и произведено их сравнение. Это сделано для определения возможности применения DEFORM-3D для оценки эффекта самоцентрирования пуансона относительно матрицы. По результатам сравнения сделан вывод возможности применения программного комплекса для решения поставленной задачи. Полученные уравнения регрессии также можно использовать для качественной оценки смещения пуансона относительно матрицы.

После этого для количественной оценки смещения пуансона относительно матрицы проведено планирование новых виртуальных экспериментов с увеличением количества факторов и уровней варьирования. Как и в предыдущих экспериментах в качестве исследуемой величины было выбрано Δ смещение пуансона к центру заготовки от заранее заданного эксцентриситета. К ранее выбранным шести факторам добавили угол конусности пуансона (X_7). Четыре фактора № 1, 2, 5, 6 варьировались на четырех уровнях, а остальные три на двух.

Помимо моделирования формоизменения металла с определением силы деформирования, температур, величин деформаций и т.п., также была использована функция расчета инструмента на прочность – для оценки изгиба пуансона в процессе деформирования.

После реализации экспериментов по плану матрицы $4^4 \times 2^3 // 16$ и обработке полученных данных, построено уравнение регрессии:

$$\Delta = -104,739 + 0,24772D_m + 1,83874\alpha + 0,548H/D_m + 28,1e/D_m - 417,31D_m/d_{отр} + 510,728D_m/d_{пуан} + 0,0246\beta - 0,002535D_m^2 - 0,100264\alpha^2 + 297,3(D_m/d_{отр})^2 - 313,4(D_m/d_{пуан})^2 + 0,0000085556D_m^3 + 0,001727\alpha^3 - 70(D_m/d_{отр})^3 + 64(D_m/d_{пуан})^3.$$

По результатам эксперимента были построены графики (рис. 5. – рис. 8), иллюстрирующие поведение уравнения, при определенных соотношениях составляющих параметров.

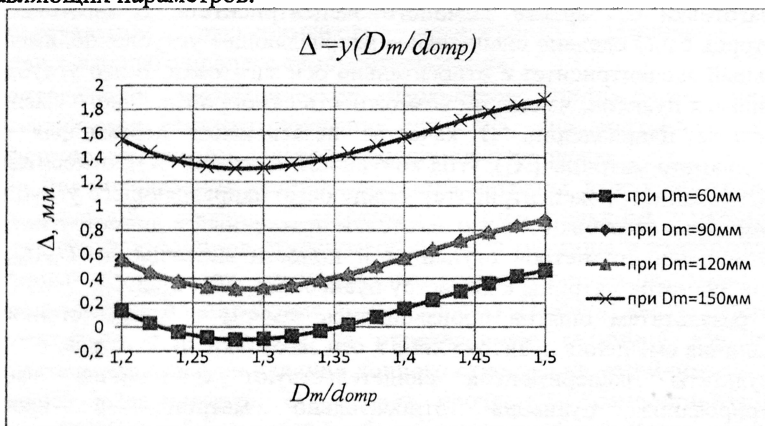


Рис. 5. График зависимости Δ от соотношения диаметров ступенчатой матрицы $D_m/d_{отр}$ при $\alpha=16^\circ$; $H/D_m=3$; $e/D_m=0,02$; $D_m/d_{пуан}=1,8$; $\beta=40^\circ$

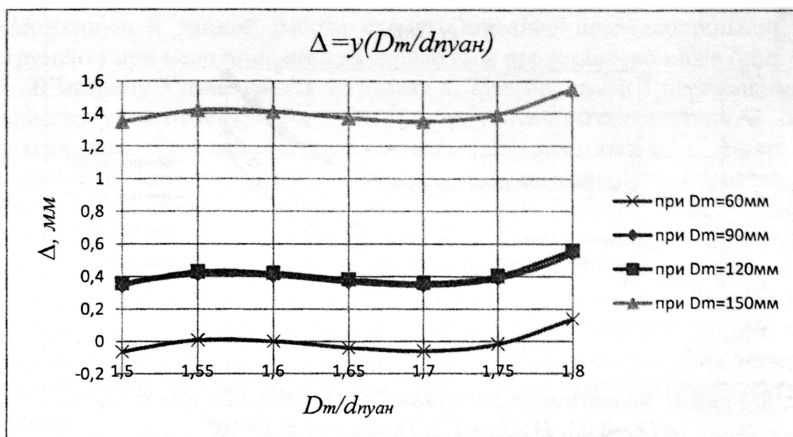


Рис. 6. График зависимости Δ от отношения диаметра матрицы к диаметру пуансона $D_m/d_{\text{пуан}}$ при $\alpha=16^\circ$; $H/D_m=3$; $e/D_m=0,02$; $D_m/d_{\text{отр}}=1,2$; $\beta=40^\circ$

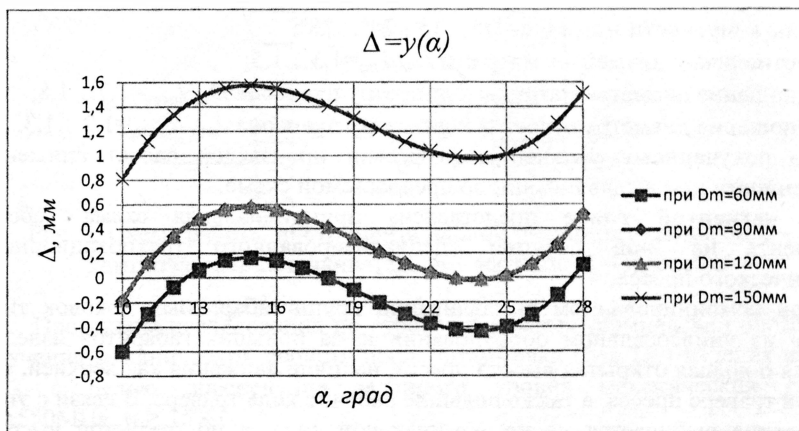


Рис. 7. График зависимости Δ от угла конусности матрицы α при $H/D_m=3$; $e/D_m=0,02$; $D_m/d_{\text{отр}}=1,2$; $D_m/d_{\text{пуан}}=1,8$; $\beta=40^\circ$

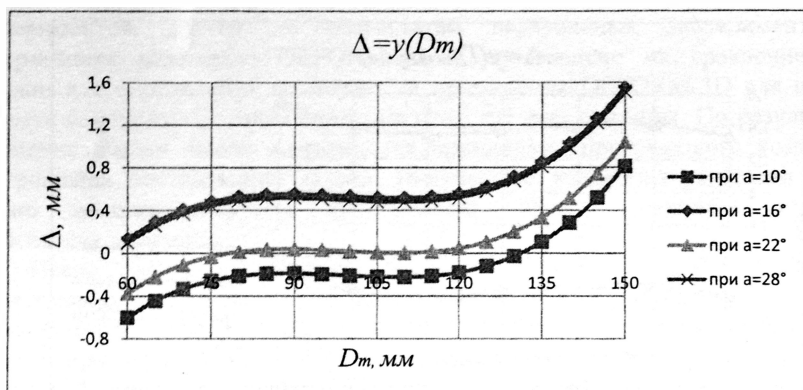


Рис. 8. График зависимости Δ от диаметра матрицы D_m при $H/D_m=3$; $e/D_m=0,02$; $D_m/d_{отр}=1,2$; $D_m/d_{пуан}=1,8$; $\beta=40^\circ$

Анализ построенного уравнения регрессии показал, что при изготовлении крупногабаритных поковок типа «стакан» методом комбинированного выдавливания оптимальные геометрические параметры инструмента, при которых существует эффект самоцентрирования и снижение разностенности следующие:

- диаметры матрицы $D_m=60\ldots 75\text{мм}$; $120\ldots 150\text{мм}$;
- углы конусности матриц $\alpha=10^\circ\ldots 15^\circ$; $24^\circ\ldots 28^\circ$;
- соотношение диаметров матрицы $D_m/d_{отр}=1,3\ldots 1,5$;
- отношение диаметра матрицы к диаметру пуансона $D_m/d_{пуан}=1,7\ldots 1,8$;
- отношение диаметра оторстка к диаметру пуансона $d_{отр}/d_{пуан}=1,2\ldots 1,3$.

По полученному уравнению регрессии произведен расчет снижения разностенности при выдавливании по предлагаемой схеме.

В четвертой главе представлена принципиальная схема работы инструмента на 2-ой позиции специализированного трехпозиционного гидравлического пресса.

При комбинированном выдавливании крупногабаритных поковок типа «стакан» на универсальном оборудовании из-за больших габаритов изделия требуется большая открытая высота пресса, наличие движения как верхней, так и нижней траверс пресса, а также большие рабочие ходы траверс. В связи с этим оборудование выбирается не по номинальной силе, а по открытой высоте, рабочим ходам и т.д. Таким образом, для производства определенной номенклатуры деталей актуально использование специализированного оборудования с возможной реализацией на нем как обратного, так и комбинированного выдавливания с большими рабочими ходами и различными движениями инструмента.

В нашем случае целесообразно исследуемые детали – крупногабаритные поковки типа «стакан», изготавливать комбинированным выдавливанием на специализированном трехпозиционном гидравлическом прессе. На центральной позиции (2-ой позиции), которого следует реализовать

предложенную в данной работе схему. Описание последовательной работы инструмента при использовании данной схемы представлено ниже (рис. 9).

В матрицу 3 помещается заготовка 4. Затем пуансон 1 перемещаясь вниз, деформирует заготовку, при этом контрпуансон/выталкиватель 2 остается неподвижным. Течение металла происходит как вверх: в зазор между пуансоном и матрицей, так и вниз: в полость нижнего отрустка. После остановки пуансона 1 начинается движение контрпуансона вверх до формирования окончательной поковки. Заготовка снимается с пуансона съемником (условно не показан) и выталкивается из пространства матрицы контрпуансоном/выталкивателем. Далее заготовка захватывается манипулятором, и после этого контрпуансон/выталкиватель уходит вниз на исходную позицию. Также съем заготовки с нижнего пуансона может быть обеспечен через кольцо съемником, который удаляет заготовку с главного пуансона.

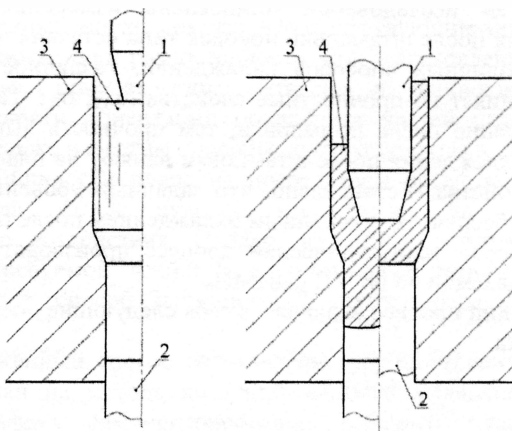


Рис. 9. Схема работы инструмента на 2-ой позиции: 1 – пуансон; 2 – контрпуансон/выталкиватель; 3 – матрица; 4 – заготовка

Проведены исследования по отработке режима термической обработки и получения механических свойств после штамповки (без ТО) изделия из стали 60С2 с целью обеспечения заданного уровня механических свойств: $\sigma_{0,2} \geq 550 \text{ МПа}$, $\psi \geq 15\%$.

Исследовано влияние температуры отпуска ($T_{\text{отп.}}$) на значения прочностных характеристик и характеристик пластичности. После термообработки из поволоков вырезались образцы для контроля механических свойств: 3 разрывных образца тип III ГОСТ 1497-84 и 3 образца Менаже КСУ ГОСТ 9454-78.

Анализ результатов показал, что увеличение температуры отпуска и длительная выдержка приводят к снижению прочностных свойств, относительное сужение при этом практически не изменяется. На основании полученных результатов был выбран режим термообработки: $T_{\text{зак.}} = 870^\circ \text{C}$,

охлаждающая среда – масло; $T_{\text{отп.}}=650\text{ }^{\circ}\text{C}$, охлаждение на воздухе, время выдержки 2,5 часа.

Наряду с поиском подходящего режима термической обработки было проведено исследование, направленное на определение уровня механических свойств после горячей штамповки и обеспечения требуемого уровня без дополнительной термообработки. Это дает преимущества в сокращении количества операции технологического процесса и исключает изменения геометрических размеров, которые могут возникнуть при операции термообработки.

Исследовалось три способа охлаждения: замедленное, ускоренное и обычное охлаждение. Затем из 3-х поковок с различными способами охлаждения были вырезаны образцы на контроль механических свойств: 3 разрывных образца тип III ГОСТ 1497-84 и 3 образца Менаже КСУ ГОСТ 9454-78.

По результатам исследований установлены изменения механических свойств, получаемых после штамповки поковок типа «стакан» из стали 60С2, в зависимости от различных способов охлаждения. Различное охлаждение в большей степени влияет на прочностные свойства ($\sigma_{0,2}$, σ_B). Так, чем быстрее происходит охлаждение после штамповки, тем прочность выше. В меньшей степени скорости охлаждения после штамповки влияют на пластические (δ , ψ) и ударные (КС) свойства. Установлено, что заданный уровень механических свойств возможно обеспечить ускоренным охлаждением после штамповки.

Также разработан технологический процесс производства детали типа «стакан», изготавливаемой во ФГУП «НИМИ».

Технологический процесс включает в себя следующие операции:

1. Резка прутка.
2. Нагрев.
3. Формовка.
4. Комбинированное выдавливание.
5. Протяжка.
6. Ускоренное охлаждение.
7. Контроль.

На основе проведенных экспериментальных исследований и компьютерного моделирования предложены рекомендации по проектированию технологического процесса изготовления крупногабаритных деталей типа «стакан» комбинированным выдавливанием. Данные рекомендации касаются операции выдавливания.

Исходя из размеров поковки определяется диаметр матрицы D_m и диаметр пуансона $d_{\text{пуан.}}$. По математической модели рассчитывается диаметр отростка $d_{\text{отр.}}$ и угол конусности матрицы α , при которых процесс стремится к самоорганизации и присутствует эффект самоцентрирования пуансона относительно матрицы. По полученным основным размерам инструмента и поковки проводится тестовое моделирование в программном продукте, например в DEFORM-3D. По моделированию оценивается формоизменение

металла, сила деформирования, распределение температур, деформаций. Эффект самоцентрирования пуансона присутствует тогда, когда металл при выдавливании одновременно течет в стенку и дно (отросток) стакана – комбинированное выдавливание. Если металл течет только в стенку или только в дно (отросток), то преобладает обратное или прямое выдавливание и эффект самоцентрирования отсутствует. Поэтому следует откорректировать геометрические размеры инструмента.

По результатам данной работы заводом ОАО «ТЯЖПРЕССМАШ» г. Рязань был спроектирован и изготовлен автоматизированный комплекс на базе трехпозиционного гидравлического пресса для горячей штамповки деталей типа «стакан» с тремя независимыми приводами на каждой позиции.

ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ ПО РАБОТЕ

1. Проведенный анализ показал, что существующие технические решения проблемы по снижению разностенности при изготовлении выдавливанием крупногабаритных поковок типа «стакан» в основном направлены на повышение точности ориентации подвижных частей штампа относительно неподвижных. Также известны способы другого подхода к решению проблемы: повышение устойчивости пуансона посредством организации рационального течения металла, чтобы пуансон удерживался на оси матрицы без принудительного воздействия. Однако, известные технические решения не обеспечивают требуемой точности и уменьшения разностенности. Поэтому предложен новый способ изготовления крупногабаритных поковок типа «стакан».

2. Предложенный способ изготовления крупногабаритных поковок типа «стакан», основан на методе комбинированного выдавливания и позволяет реализовать эффект самоцентрирования рабочего пуансона и снизить разностенность для заготовки диаметром 60мм и высотой 240 мм на 22%, для заготовки диаметром 150 мм и высотой 600 мм на 32%.

3. Показано, что операция обратного выдавливания требует больших затрат энергии с увеличением хода деформирования при наличии несоосности инструмента, чем предложенная операция комбинированного выдавливания. Установлено, что комбинированное выдавливание способствует самоцентрированию пуансона относительно матрицы, т.е. система обладает устойчивым равновесием.

4. Сравнение результатов решений уравнений регрессий, построенных на основе физических и виртуальных экспериментов комбинированного выдавливания при наличии заданной несоосности инструмента, показало, что предложенная математическая модель программного комплекса DEFORM-3D позволяет получать результаты близкие к результатам физического эксперимента при исследовании влияния технологических параметров и исходной несоосности инструмента на разностенность изделий, получаемых комбинированным выдавливанием. Это доказывает целесообразность его применения в расчетах процессов комбинированного выдавливания.

5. Полученное в результате обработки данных математического эксперимента (моделирования) уравнение регрессии позволяет рассчитывать смещение оси пуансона относительно оси матрицы при штамповке изделий из стали 60С2 по схеме комбинированного выдавливания при наличии эксцентриситета приложения нагрузки в зависимости от геометрических параметров инструмента.

6. Анализ построенного уравнения регрессии показал, что при изготовлении крупногабаритных поковок типа «стакан» методом комбинированного выдавливания рациональные параметры инструмента, при которых существует эффект самоцентрирования и снижение разностенности следующие: диаметры матрицы $D_m=60...75\text{мм}; 120...150\text{мм}$; углы конусности матриц $\alpha=10^\circ...15^\circ; 24^\circ...28^\circ$; соотношение диаметров матрицы $D_m/d_{отр}=1,3...1,5$; отношение диаметра матрицы к диаметру пуансона $D_m/d_{пуан}=1,7...1,8$; отношение диаметра отрезка к диаметру пуансона $d_{отр}/d_{пуан}=1,2...1,3$.

7. Проведенные исследования по обеспечению термообработки охлаждением показали, что обеспечение заданного уровня механических свойств крупногабаритных поковок типа «стакан» из стали 60С2 возможно при ускоренном охлаждении после горячей штамповки.

8. Разработанный технологический процесс изготовления деталей типа «стакан» на основе комбинированного выдавливания позволяет снизить расход металла, увеличить стойкость инструмента и уменьшить время изготовления детали.

Список опубликованных работ по теме диссертации

1. Денищев Т.В., Коробова Н.В. Обеспечение определенного уровня механических свойств крупногабаритных поковок типа «стакан» из стали 60С2 // Заготовительные производства в машиностроении. – 2011. – №12. – С. 22-25.

2. Исследование влияния технологических параметров на разностенность при комбинированном выдавливании крупногабаритных поковок типа «стакан» / Т.В. Денищев [и др.] // Заготовительные производства в машиностроении. – 2012. – №2. – С. 16-22.

3. Денищев Т.В. Штамповка крупногабаритных поковок типа «стакан» методом комбинированного выдавливания // Студенческая научная весна 2009: Машиностроительные технологии: Сборник тезисов второй всероссийской научно-технической конференции студентов. – М., 2009. – С. 90-91.

4. Денищев Т.В., Коробова Н.В. Исследование влияния схемы комбинированного выдавливания на разностенность // Инженерные системы – 2010: Сборник трудов международной научно-практической конференции. – М., 2010. – С. 118-122.

5. Денищев Т.В., Коробова Н.В. Влияние схемы комбинированного выдавливания на разностенность при штамповке крупногабаритных поковок типа «стакан» // Будущее машиностроения России: Сборник трудов всероссийской конференции молодых ученых и специалистов. – М., 2010. – С. 98-99.