

ДУНАЕВ КИРИЛЛ ЮРЬЕВИЧ

**СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ И ОБОРУДОВАНИЯ
ЗАКРЫТОЙ ШТАМПОВКИ СТЕРЖНЕВЫХ ИЗДЕЛИЙ С ЦЕЛЬЮ
ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРОЦЕССА**

Специальность 05.02.09 – Технологии и машины
обработки давлением

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание учёной степени
кандидата технических наук

Екатеринбург 2014

Работа выполнена на кафедре «Машиностроительные технологии и оборудование» в ФГБОУ ВПО «Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова»

Научный руководитель:

Поксеваткин Михаил Иванович
кандидат технических наук, профессор

Официальные оппоненты:

Каржавин Владимир Васильевич
доктор технических наук, профессор
ФГАОУ ВПО «Российский государственный
профессионально-педагогический
университет», профессор кафедры
автомобилей

Губашов Борис Николаевич
кандидат технических наук, доцент
ФГАОУ ВПО «Уральский федеральный
университет имени первого Президента
России Б.Н. Ельцина», доцент кафедры
«Металлургические и роторные машины»

Ведущая организация:

ОАО «Алтайский научно-исследовательский
институт технологии машиностроения
«АНИТИМ»

Защита состоится 24 июня 2014 года в 12.00 на заседании диссертационного совета Д 212.285.10 на базе ФГАОУ ВПО «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина» (620002, г. Екатеринбург, ул. Мира, 19, ауд. М-323).

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке и на сайте ФГАОУ ВПО «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина», <http://dissovet.science.urfu.ru/news2/>

Автореферат разослан 19 мая 2014 г.

Учёный секретарь
диссертационного совета,
доктор технических наук

Е.Ю. Раскатов

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы.

Горячая объемная штамповка (ГОШ) занимает важное место в технологических циклах машиностроительных предприятий, и от эффективности этого процесса во многом зависят технико-экономические показатели всего производства.

Получение качественной поковки является первостепенной задачей современного проектирования процессов ГОШ.

Этой задаче в большей степени отвечают закрытая штамповка, штамповка выдавливанием и другие малоотходные и безотходные технологии, среди которых важное место занимает высадка в закрытых штампах. Использование высадки ограничивается условием продольной устойчивости заготовки, которое вынуждает осуществлять предварительные наборные переходы металла, что ведет к ухудшению качества изделий и повышению трудоемкости процесса.

Поэтому разработка и внедрение в производство новых способов высадки, позволяющих получать высококачественные стержневые изделия в один переход при сверхдопустимой по условию продольной устойчивости длине высадки является актуальной задачей.

Цель работы.

Целью настоящей работы является повышение эффективности изготовления и качества стержневых изделий с утолщением, требующим относительной длины высадки, превышающей допустимую по условию продольной устойчивости заготовки, на основе разработки комплекса термомеханических и технологических решений, обеспечивающих рациональные условия деформирования при горячей объемной штамповке.

Автор защищает:

- математические модели рационализации термомеханических параметров процесса горячей штамповки стержневых поволоков из длинномерных заготовок;
- математическую модель реализации условий монотонного заполнения полости штампа;
- технологические процессы, реализующие результаты исследований и изобретений, защищенных патентами.

Научная новизна. Построена оптимизационная математическая модель однопереходной горячей штамповки стержневых изделий с утолщением из длинномерных заготовок при сверхдопустимой по условию продольной устойчивости относительной длине высадки; разработана комплексная методика реализации процесса штамповки, обеспечивающая приближение условий монотонности заполнения полости штампа, создание благоприятной волокнистой структуры металла поковки и минимизацию энергоресурсов.

Практическая ценность. Спроектированы технологии однопереходной штамповки типовых стержневых поволоков из длинномерных заготовок при относительной длине высадки, вдвое превышающей допустимую по условию продольной устойчивости; разработана математическая модель процесса высадки, представленная многомодульным алгоритмом оптимизации

термомеханических параметров штамповки, который реализован компьютерной программой; предложены практические рекомендации по выбору теплофизических и технологических параметров штамповки стержневых изделий с утолщением, обеспечивающие условия монотонности процесса заполнения полости штампа и снижение энергоемкости получения изделий. Разработаны новые конструкции штампов для закрытой штамповки высадкой, внедренные на промышленных предприятиях.

Реализация работы в промышленности. Результаты работы использованы при разработке технологических процессов и проектировании штамповой оснастки в ООО «АЗПИ» г. Барнаул и ОАО «Барнаульский кузнечно-прессовый завод», ОАО «Алтайвагон», а также в учебном процессе ФГБОУ «Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова». Экономический эффект от внедрения результатов исследований составляет 4,2 млн. рублей в год.

Апробация работы. Основные положения диссертационной работы докладывались и обсуждались на:

IV, V, VI, VII, VIII Всероссийских научно-технических конференциях Наука и Молодежь в 2007-2012 г. г. Барнаул.

XI Всероссийской научно-технической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых 23-24 апреля 2009 г., г. Рубцовск, 2009 г.

II Всероссийской научно-технической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых 20 ноября 2011 г., г. Рубцовск, 2011 г.

9-ой, 10-ой Всероссийских научно-практических конференциях «Проблемы повышения эффективности металлообработки в промышленности на современном этапе», г. Новосибирск 2011-2012.

Публикации. По теме диссертации опубликованы 34 печатные работы, в том числе 3 статьи в изданиях, рекомендованных ВАК, получено 4 патента на изобретения и 1 авторское свидетельство на программу для ЭВМ по оптимизации термомеханических параметров штамповки стержневых поковок из длинномерных заготовок.

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, пяти глав, заключения и выводов, списка литературы и семи приложений. Работа содержит 136 страниц машинописного текста, 46 рисунков и 8 таблиц.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении показана актуальность работы, ее теоретическая и практическая значимость, обозначена научная новизна, сформулирована цель исследований.

В первой главе описаны особенности формирования структуры металла при высадке утолщения стержневых изделий, проведен анализ существующих способов штамповки длинномерных стержневых изделий, выполнен обзор теоретических и экспериментальных исследований процессов получения названного типа изделий.

Результаты анализа патентной и научно-технической литературы в российских и зарубежных изданиях показали, что в настоящее время в

литературе отсутствуют сведения о действенной технологии штамповки стержневых изделий за один переход при сверхдопустимой по условию продольной устойчивости длине высадки, и практически нет рекомендаций по оптимизации технологических параметров штамповки, обеспечивающих монотонность заполнения полости штампа.

Значительный вклад в изучение рассматриваемых процессов внесли А.А. Ильюшин, Г.А. Смирнов-Аляев, В.Л. Колмогоров, Е.И. Семенов, А.Э. Артеc, Л.Эйлер, Ф. Энгессер, Т. Карман, В.А. Бэкофен. Известны также работы О.С. Железкова, Ф.С. Ясинского, В.С. Паршина, В.Н. Перетяtko, А.Г. Овчинникова, М.И. Поксеваткина, М.В. Бедарева и др. авторов.

Во второй главе приводятся результаты математического моделирования однопереходного процесса формообразования стержневых поковок с утолщением.

В основу аналитического исследования заложены условия монотонного протекания процесса деформации, сформулированные А.А.Ильюшиным, Г.А. Смирновым-Аляевым и развитые В.Л. Колмогоровым: 1) совпадение главных осей скоростей деформации с одними и теми же материальными частицами волокон металла в течение всего процесса; 2) неизменность за весь процесс вида малой деформации при переходе из предшествующей стадии в текущую.

Первое условие можно выразить уравнением:

$$\frac{2 \cdot \sigma_2 - \sigma_1 - \sigma_3}{\sigma_1 - \sigma_2} = \frac{2 \cdot \xi_2 - \xi_1 - \xi_3}{\xi_1 - \xi_3}, \text{ т.е. } \mu_\sigma = \mu_\varepsilon. \quad (1)$$

Здесь μ_σ и μ_ε – соответственно параметры вида напряженного и деформированного состояний металла;

σ_1, σ_2 и σ_3 – главные напряжения;

ξ_1, ξ_2 и ξ_3 – главные компоненты скоростей деформации.

Из второго условия монотонности процесса вытекает:

$$\frac{\varepsilon_1}{\xi_1} = \frac{\varepsilon_2}{\xi_2} = \frac{\varepsilon_3}{\xi_3}, \quad (2)$$

где $\varepsilon_1, \varepsilon_2$ и ε_3 – главные компоненты результативной деформации.

Особенности монотонного заполнения полости штампа и возможное волокнистое строение поковки, возникающее в процессе формирования утолщения стержневых изделий, показаны на рисунке 1. Условие продольной устойчивости в первой стадии осесимметричной высадки обеспечивает монотонность процесса деформации (рис. 1, а). Во второй стадии в очаг деформации 3 последовательно поступает металл стержневой заготовки 2. Если сопротивление деформации ($\sigma_{н.в.}$) поступающего в полость штампа металла равно таковому ($\sigma_{н.и.}$) в очаге деформации 3 (с учетом упрочнения последнего за счет степени (ε) и скорости деформации (ξ)), то в очаге деформации 3 создается однородная среда. В этом случае параметры напряженного (μ_σ) и деформированного (μ_ε) состояния металла не изменяются и направления

главных осей напряжений и деформаций в осесимметричном очаге сохраняются (рис. 1, б).

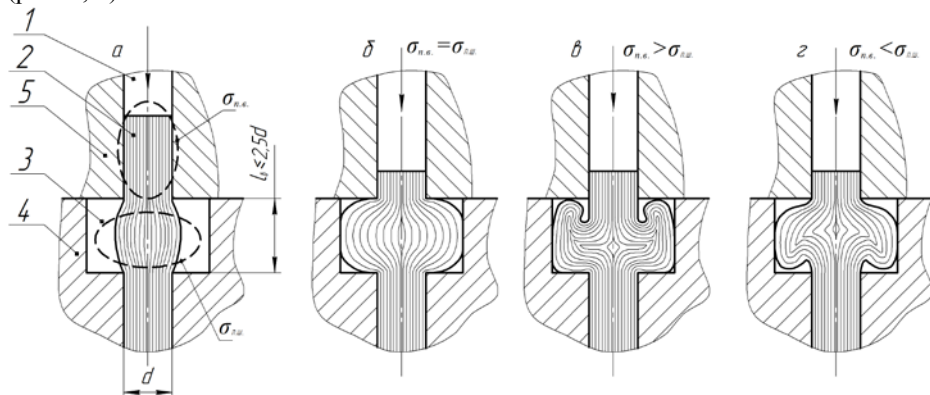


Рисунок 1 – Схемы волокнистого строения стержневой поковки в процессе формирования утолщения: 1 – пуансон; 2 – заготовка; 3 – очаг деформации; 4 – матрица; 5 – направляющая втулка

В противном случае происходит нарушение условий монотонности процесса деформации. В результате возникают дефекты в виде складок и зажимов (рис. 1, в, г).

Для удовлетворения условий монотонности процесса производства стержневых изделий с утолщением на конце целесообразно использовать управляемый градиентный нагрев с рационализацией технологических параметров, учитывающих теплофизические и механические свойства штампуемого металла. Проектирование модели управления градиентным нагревом осуществляем в следующем порядке.

1. Определяем величину смещения зоны нагрева (l_n) от торца концевой участка (l_x) с учетом времени нагрева (τ_n) и транспортировки заготовки (τ_m) к штампу, равного $\tau_u = \tau_n + \tau_m$.

2. На основании расчетов теплофизических параметров процесса с точностью до 10% в диапазоне $0,56 < \theta < 0,83$ величину l_x можно определять по простой аппроксимации

$$l_x = 1,5\sqrt{2a\tau_u} \cdot \frac{T_n - T_m}{T_n} = 1,5\sqrt{2a\tau_u} \cdot \theta_m, [3] \quad (3)$$

где $\theta = \frac{T_n - T_m}{T_n}$ – температурный параметр; T_n и T_m – соответственно

температура ($^{\circ}\text{C}$) зоны нагрева и зоны торцевого участка заготовки; a – температуропроводность, $\text{м}^2/\text{с}$.

3. С целью упрощения практического использования зависимость (3) представлена в виде номограммы (рис.2) [8]. По номограмме, используя

значение τ_n , a и θ , для углеродистой стали определяют величину смещения l_x при нагреве участка l_n до температуры T_n без учета охлаждения заготовки и передачи тепла к торцу за время нагрева τ_n (см.ключ на рис.2).

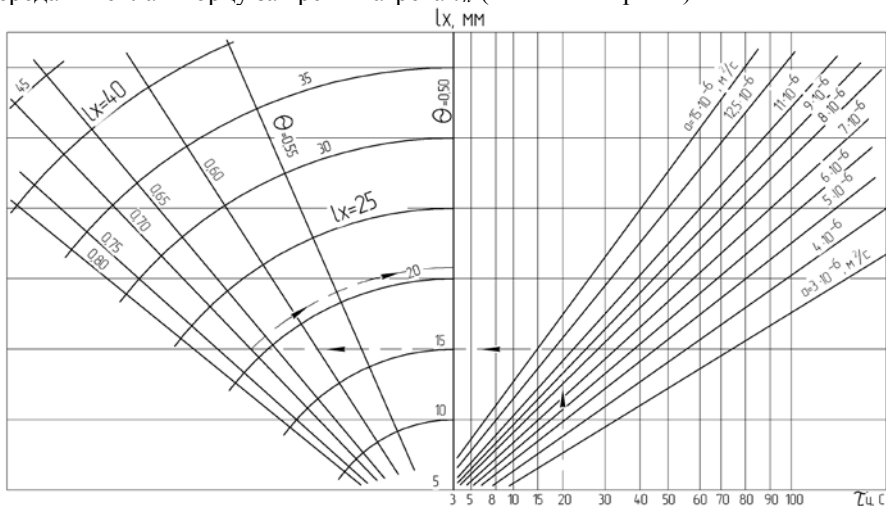


Рисунок 2 – Номограмма для определения параметров нагрева без учета охлаждения заготовки

Для повышения точности расчета в формулу (3) введены поправочные коэффициенты, учитывающие особенности теплообмена в заготовке в зависимости от параметров процесса:

$$l_x' = K_{\tau n} \cdot K_{l n} \cdot K_{охл} \cdot l_x, \quad (4)$$

где l_x' – величина смещения участка нагрева с учетом поправочных коэффициентов; $K_{\tau n}$, $K_{l n}$, $K_{охл}$ – аналитические поправочные коэффициенты, учитывающие соответственно время нагрева заготовки, длину нагреваемого участка и охлаждения заготовки с поверхности. Коэффициенты $K_{\tau n}$ и $K_{l n}$ представлены в виде номограммы (рис.3), коэффициент $K_{охл}$ рассчитывают по формуле:

$$K_{охл} = 1 - 2 \cdot \frac{\alpha \cdot \tau_n}{c \cdot \rho \cdot D}, \quad (5)$$

где α – коэффициент теплопередачи.

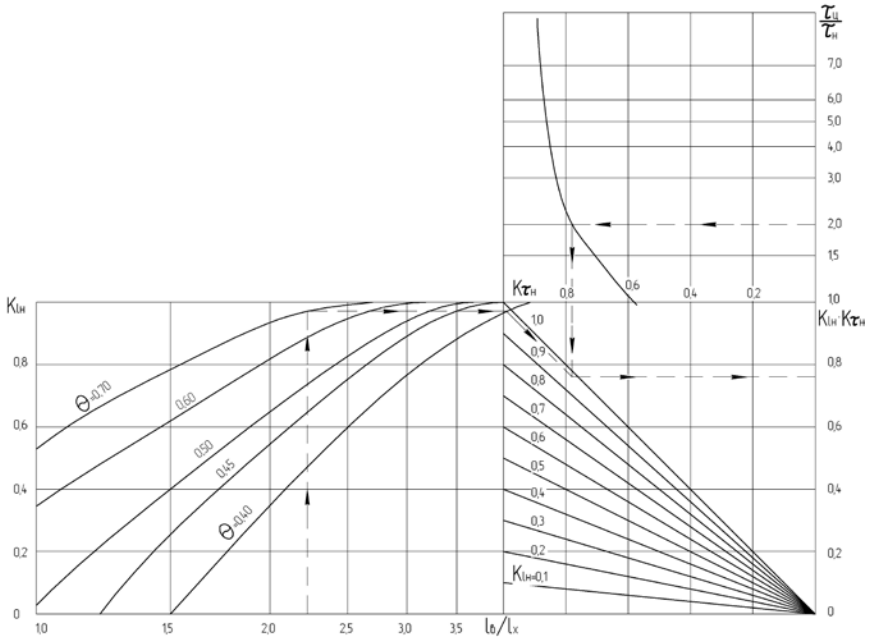


Рисунок 3 – Номограмма для определения параметров нагрева с учетом теплообмена в заготовке

Далее проведено аналитическое исследование условий монотонного заполнения полости штампа и определены ключевые параметры, дающие возможность в первом приближении управлять процессом заполнения полости штампа с использованием способа однопереходной высадки стержневых изделий, защищенного патентом [2] (рис. 4).

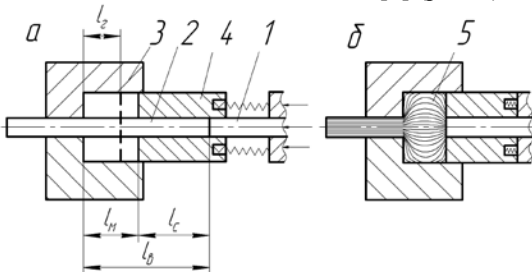


Рисунок 4 – Схема однопереходной штамповки стержневых поковок из длиномерных заготовок: исходное (а) и конечное (б) положения объектов штампа

Согласно предложенному способу штамповки стержневых поковок (рис. 4) [2] в первой стадии процесса заполнения полости штампа при свободной высадке пуансоном 1, размещенном в направляющей втулке 4, нагретой до ковочной температуры части заготовки 2 в матрице 3 при осесимметричной деформации наблюдается монотонное протекание процесса в очаге деформации 5 (рис. 5).

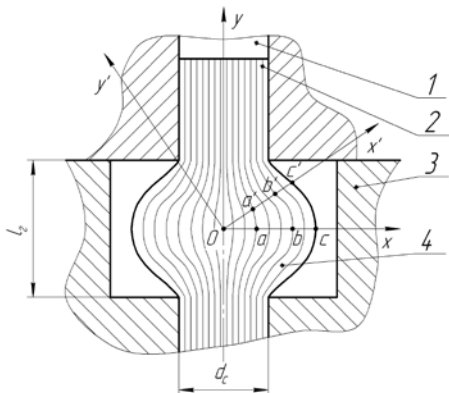


Рисунок 5 – Схема свободной высадки длинномерной заготовки при $l_z \leq 2,5d$: 1 – пуансон; 2 – заготовка; 3 – матрица; 4 – очаг деформации

Действительно, материальные точки a, b, c, \dots (элементарные объемы волокон металла), расположенные в данный момент деформации на прямой, перпендикулярной меридианальному сечению осесимметричного очага деформации, должны располагаться на этой прямой и в предшествующие и в последующие моменты времени, а материальные точки a', b', c', \dots , расположенные на произвольных нормалях к свободной поверхности очага деформации, также должны находиться на этих нормалях и в другие моменты времени (рис. 5), т.е:

$$\sigma_{n.a.}(T_0') = \sigma_{n.ш.}(T_0, \varepsilon, \xi). \quad (6)$$

Соотношение термомеханических параметров можно аппроксимировать параболической зависимостью:

$$\sigma_{st} = \sigma_{stn} \cdot (1 + m/3)^2. \quad (7)$$

где $m = \alpha (T_n - T)$; σ_{st} и σ_{stn} – сопротивления деформации (предел прочности) металла соответственно в текущий и начальный моменты времени, МПа; T и T_n – температура металла соответственно в текущий и начальный моменты времени, °С.

Математическая модель управления монотонным процессом заполнения полости штампа представлена в виде алгоритма (рис. 6).

Разработанный алгоритм позволяет рассчитывать термомеханические параметры штамповки стержневых изделий, которые могут обеспечивать монотонное заполнение полости штампа (условие 6).

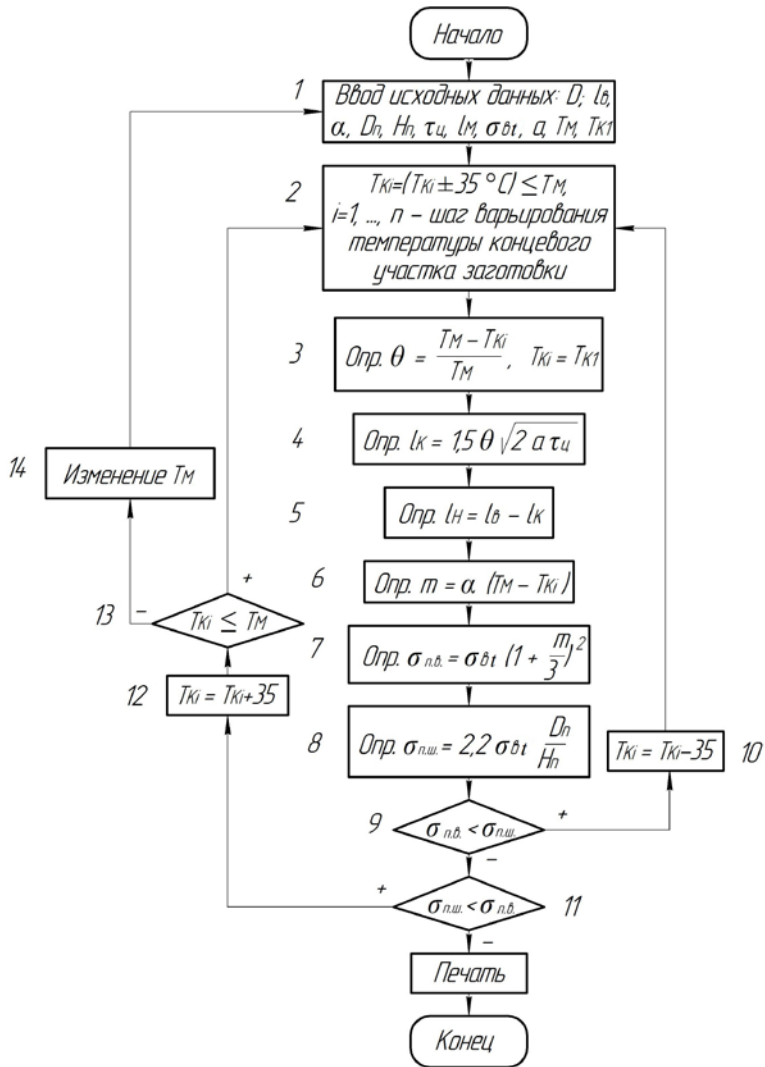


Рисунок 6 – Алгоритм обеспечения условия монотонности заполнения полости штампа

Далее для рационализации выбора термомеханических параметров градиентного нагрева длинномерных заготовок и схемы штамповки стержневых изделий разработаны математическая модель и многомодульный алгоритм (рис. 7).

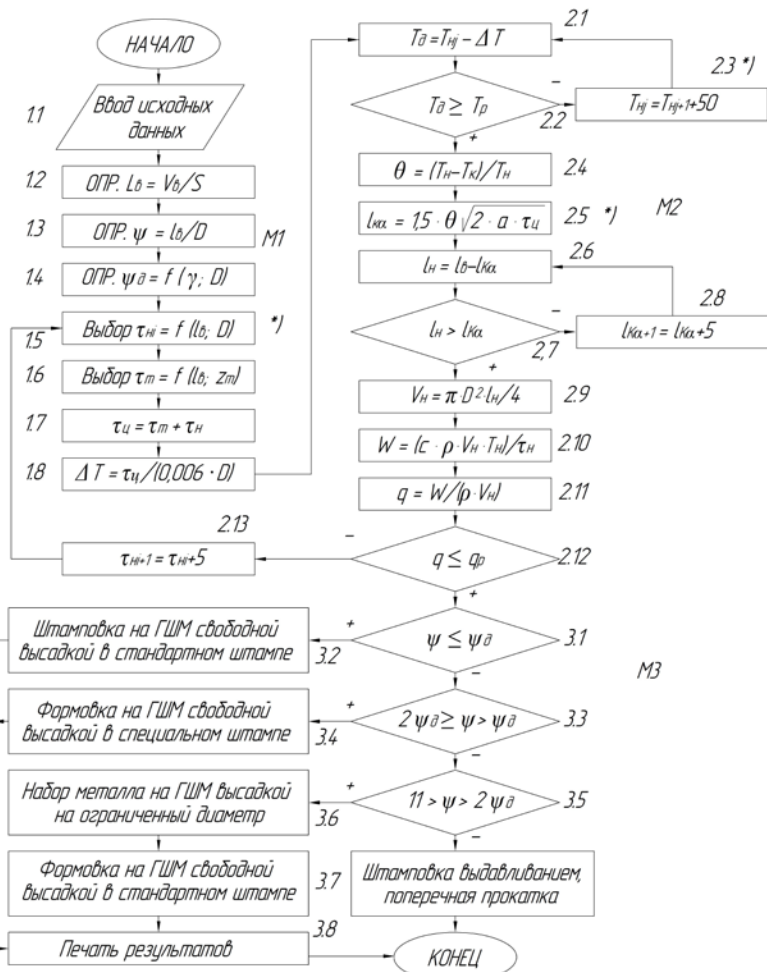


Рисунок 7 – Алгоритм оптимизации термомеханических параметров и схемы штамповки стержневых изделий из длинномерных заготовок

Процедура оптимизации содержит три основных модуля:

- первый модуль (М1) – параметрическая характеристика ковки и расчет ключевых параметров процесса;
- второй модуль (М2) – иерархическая гибридная подсистема технологических задач, реализующих минимизацию энергоемкости процесса штамповки;
- третий модуль (М3) – настройка системы на конкретную технологическую область и назначение оптимального способа формообразования ковки в этой области.

После всех расчетов выполняются печать результатов оптимизации и даются рекомендации по выбору рациональной схемы формирования утолщения стержневого изделия.

В третьей главе приведены результаты экспериментального исследования термомеханических параметров деформируемого металла с целью практической реализации монотонного заполнения полости штампа.

Опытные работы проводили на производственном штампе для закрытой высадки корпуса распылителя форсунки ДВС с использованием специальной насадки к штампу согласно изобретению [2] (рис. 4). Материал корпуса распылителя сталь 18Х2Н4МА.

Температурное поле участка l_c , вытесняемого последовательно в очаг деформации, определяют в следующем порядке.

На основе литературных источников построены кривые упрочнения стали 18Х2Н4МА, с помощью которых найдены параметры температурного поля стержневого участка (l_c) (рис. 8) и построена его графическая характеристика (рис. 9).

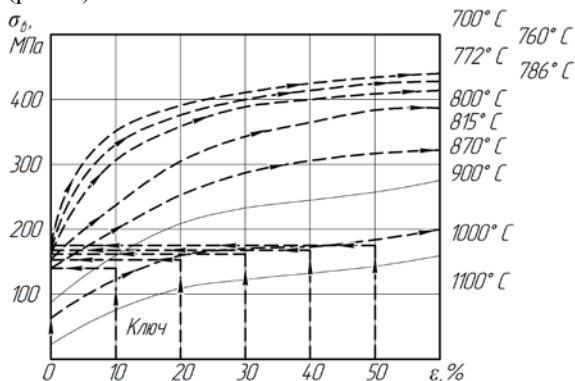


Рисунок 8 – Определение параметров температурного поля участка l_c стержневой заготовки по ее кривым упрочнения

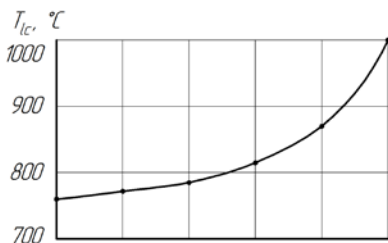


Рисунок 9 – Графическая характеристика температурного поля участка l_c стержневой заготовки



Из поковок, отштампованных при соблюдении условия (6) с использованием графической характеристики температурного поля (рис. 9), изготовлены макрошлифы (рис. 10).

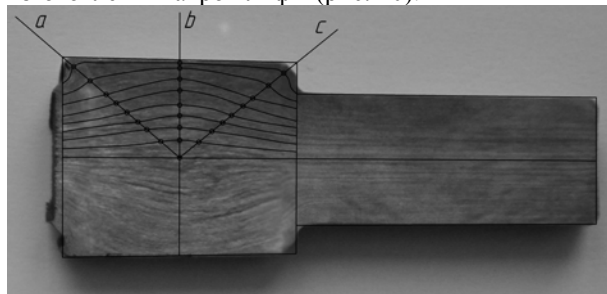


Рисунок 10 – Макрошлиф поковки корпуса распылителя с характерно очерченными волокнами металла в очаге деформации

Оценивание симметричности волокон в верхней и нижней частях очага деформации осуществляем по показателю S , равному:

$$S = \frac{1}{n} \cdot \sum_i^n \left(\frac{a_i}{b_i} \right) \rightarrow 1, \quad (8)$$

где a и b – величины расстояний между волокнами соответственно в верхней (I) и нижней (II) частях матрицы (очага деформации (рис.)); $i=1, n$ – номера отрезков между волокнами, n – количество отрезков.

Для сравнения результатов производственных опытов проведены экспериментальные исследования процесса однопереходной высадки корпуса распылителя с использованием математического планирования эксперимента.

Для лучшей идентификации волокнистого строения металла поковки в качестве материала изделия выбрана сталь Ст2 (таблица 1).

Таблица 1 – Варьируемые факторы

Фактор	Уровни факторов		
	Верхн.	Основн.	Нижн.
1. Температура ($T_m, ^\circ\text{C}$) нагрева стержневой части l_m заготовки	1000 $^\circ\text{C}$	900 $^\circ\text{C}$	800 $^\circ\text{C}$
2. Температура ($T_c, ^\circ\text{C}$) нагрева стержневой части l_c заготовки	1000 $^\circ\text{C}$	800 $^\circ\text{C}$	600 $^\circ\text{C}$
3. Отношение $\lambda=l_m/D$ (при $\psi=l_c/D=5,8$)	3,0	2,5	2,0
4. Радиус закругления углов матрицы, r , мм	4,0	2,5	1,0

Для верификации полученной структуры металла волокнистому строению, возникающему при монотонности заполнения полости штампа использовали соотношение:

$$z = 1/n \cdot \sum_i^n (l_i / l_2), \quad (9)$$

где z – показатель степени удлинения волокон при формировании утолщения в полости матрицы в продольной плоскости сечения;

l – длина наиболее вытянутых (в том числе, искаженных) волокон, $i=1 \dots n$ – номера волокон использованных при измерении длины; n – количество характерных волокон, взятых для замера.

Для случая монотонного заполнения полости штампа из формулы (9) получаем эталонный показатель (z_0):

$$z_0 = l_0 / l_2, \quad (10)$$

где l_0 – длина дуги крайнего волокна, контактирующего с боковой стенкой полости штампа.

Тогда математическая модель верификации монотонности заполнения полости матрицы (целевая функция) примет вид:

$$f(z) = 1/n \cdot \sum_{i=1}^n (l_i / l_0) \rightarrow z_0, \quad (11)$$

Для описания возможных связей факторов была принята простейшая математическая модель в виде полинома первой степени.

После обработки результатов эксперимента модель процесса верификации монотонности заполнения полости матрицы ориентировочно может быть описана выражением:

$$z = 1,1708 - 0,0125 \cdot x_1 - 0,0255 \cdot x_2 + 0,0053 \cdot x_3 + 0,0051 \cdot x_4, \quad (12)$$

В результате анализа результатов выбраны три макрошлифа с характерной волокнистостью.

Показатель волокнистости макроструктуры наиболее близок к эталонному в опыте №4, что соответствует результатам аналитических исследований, показанных на графиках.

Моделирование процесса деформации с помощью программного пакета QForm позволило исследовать структуру металла в процессе заполнения полости штампа с использованием метода конечных элементов и подтвердить характер течения металла в очаге деформации.

Таким образом, в результате реализации новых технологических решений удается получать благоприятную волокнистую структуру металла стержневых изделий однопереходной закрытой штамповки при сверхдопустимой по условию продольной устойчивости относительной длине высадки заготовки, что свидетельствует о монотонности характера заполнения полости штампа.

В четвертой главе приведены однопереходные процессы горячей штамповки типовых поковок с утолщением из стержневых заготовок, разработанные на основе результатов исследований, описанных в главе 3.

Схема изготовления изделий из длинномерных заготовок согласно способу [2] представлена на рисунке 4.

Получение изделий из длинномерных заготовок согласно способу обеспечивает высокое качества изделий и повышенную производительность процесса, так как изготовление изделий осуществляется за один переход.

При однопереходной штамповке стержневых изделий при сверхдопустимой по условию продольной устойчивости относительной длине

высадки необходимо высокое качество торцевых элементов заготовки. Для получения высококачественных мерных заготовок разработан способ (рис. 11) [34].

Согласно способу в процессе разделения прутка на мерные заготовки в плоскости разделения создается знакопеременные напряжения, вызывающие пластический сдвиг металла по плоскостям скольжения, в результате чего образуются гладкие торцевые поверхности заготовок.

Полученные при реализации способа мерные заготовки имели торцевые фаски и гладкие торцевые поверхности, перпендикулярные продольной оси.

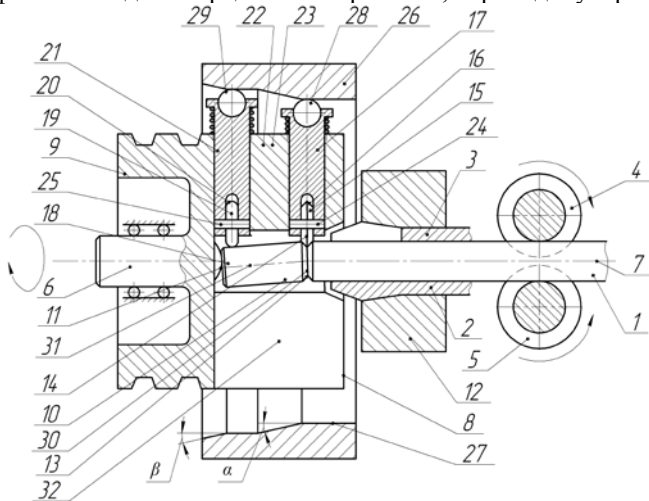


Рисунок 11 –
Схема способа
разделения прутка
на длиномерные
заготовки

В работе представлена конструкция штампа для изготовления поковки малогабаритного корпуса распылителя форсунки ДВС [2].

Разработана технология высадки фланца полуоси автомобиля на ГШМ в один переход. Конструкция оснастки позволяет штамповать заготовки с относительной длиной высадки, превышающей допустимую в 2-3 раза.

Проектирование ТП для закрытой штамповки стержневых изделий с высоким фланцем без штамповочных уклонов осаживанием (поковки типа шестерни) или высадкой (поковки типа валов с высоким фланцем) базируется на предлагаемом запатентованном изобретении [17], которое позволяет повысить качество и снизить трудоемкость получения изделий, обеспечив благоприятную волокнистую структуру металла поковки.

Для автоматизации расчета элементов штампа разработан алгоритм, имеющий линейную структуру из 13 последовательных блоков (рис. 12).

Алгоритм реализован компьютерной программой, которая успешно опробована.

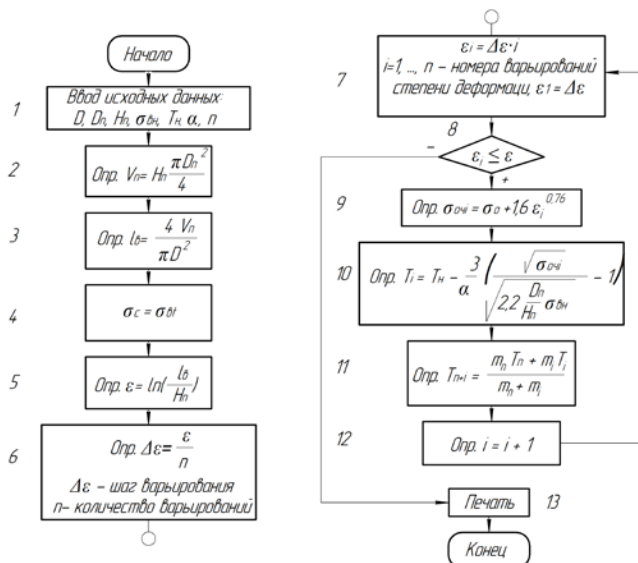


Рисунок 12 – Алгоритм расчета элементов штампа из условий допустимой по пределу упругости степени упругого сжатия стенок матрицы

В пятой главе приведена программная реализация выбора и рациональных термомеханических и технологических параметров штамповки стержневых изделий с утолщением из длинномерных заготовок

В результате исследований удалось сформировать четкие оптимизационные математические зависимости, на основе которых была разработана программа рационализации термомеханических параметров штамповки стержневых поковок из длинномерных заготовок. Разработки проводились с помощью программы Macromedia Flash MX 2007 со встроенным языком программирования C++ (ActionScript).

При использовании программы расчета термомеханических и технологических параметров штамповки стержневых поковок с утолщением из длинномерных заготовок, предлагается ввести исходные данные технологического процесса, а именно диаметр и высоту утолщения, теплопроводность, плотность той или иной стали, если параметры введены неверно или не в полном объеме, выдается ошибка с предложением исправить недочет. Далее происходит оптимизация термомеханических параметров с отображением конечных результатов и выдачей технологических рекомендаций по штамповке.

Испытания показали, что головки болта получены с четко оформленными гранями и закруглениями на торце. При этом расчетный объем металла на головку болта в связи с отсутствием заусенца снижается на 3÷5%.

Предложенные аналитические зависимости для расчета величины смещения участка нагрева от торца стержневой заготовки, учитывающие

технологические параметры процесса штамповки и теплофизические свойства металла, рекомендуются для практического использования при горячей высадке стержневых поковок с утолщением на конце.

Штамповка опытной партии с использованием уточненного расчета технологических параметров нагрева показала удовлетворительную сходимость результатов и хорошее качество поковок.

В главе 5 приведена также программная реализация условий монотонного течения металла в процессе формирования утолщения стержневой поковки, позволяющая подобрать технологические параметры, обеспечивающие условия монотонности протекания процесса формирования утолщения стержневой поковки. Разработка данной программы реализации условий монотонности течения металла в процессе формирования утолщения стержневой поковки проводилась с помощью программы Delphi 2007 CodeGear from Borland со встроеным языком программирования Object Pascal.

Проведена адаптация программ к конкретным условиям производства.

В основных результатах и выводах дается пояснение, что в ходе достижения основной цели диссертации – разработки эффективной однопереходной технологии изготовления стержневых изделий с утолщением при сверхдопустимой по условию продольной устойчивости относительной длине высадки были решены поставленные задачи исследования.

В приложении представлены: тексты компьютерных программ по оптимизации термомеханических параметров штамповки стержневых поковок из длинномерных заготовок и оптимизации термомеханических параметров градиентного нагрева длинномерных заготовок, фотографии макроструктуры поковок после опытной штамповки, чертежи оснастки, спроектированной и изготовленной для проведения опытных работ.

Основные результаты и выводы

В ходе достижения основной цели диссертации – разработки эффективной однопереходной технологии изготовления стержневых изделий с утолщением при сверхдопустимой по условию продольной устойчивости относительной длине высадки были решены следующие задачи.

1. Сформированы и обоснованы критерии оптимизации технологических параметров горячей штамповки поковок из длинномерных заготовок, позволяющие повысить качество стержневых изделий и эффективность их производства.

2. Разработанные оптимизационные математические модели, реализующие условия монотонного протекания процесса заполнения полости штампа при формировании утолщения при относительной длине высадки, вдвое превышающей допустимую, обеспечивают однородность структуры металла в очаге деформации, и, в связи с этим, повышенное качество изделий.

3. Экспериментально реализованные условия монотонного процесса заполнения полости штампа при $\psi > \psi_0$, подтверждают адекватность разработанных моделей.

4. Полученная экспериментальная модель процесса заполнения полости штампа хорошо согласуется с аналитической.

5. Разработанные оптимизационные модели выбора схемы штамповки и термомеханических параметров процесса позволяют существенно повысить эффективность производства стержневых изделий.

6. Разработанная компьютерная программа, реализующая рационализацию технологических параметров процесса штамповки стержневых поковок из длинномерных заготовок при $\psi > \psi_0$, может быть использована при внедрении эффективной технологии производства стержневых изделий.

7. Разработанные и промышленно реализованные технологии изготовления типовых стержневых изделий из длинномерных заготовок с использованием компьютерной программы подтверждают объективность и эффективность внедрения предложенных технических решений.

Разработан способ однопереходной штамповки стержневых поковок при $\psi > \psi_0$, разработана математическая модель процесса, представленная многомодульным алгоритмом оптимизации термомеханических параметров штамповки. Алгоритм реализован компьютерной программой, предложены рекомендации по выбору способа штамповки данного типа изделий с целью снижения энергоемкости процесса. Разработаны новые конструкции штампов для закрытой высадки, защищенные патентами, которые внедрены на промышленных предприятиях.

Анализ теоретических и экспериментальных данных позволил разработать научно-обоснованные практические рекомендации и методику проектирования технологических процессов горячей однопереходной штамповки стержневых поковок с утолщением из длинномерных заготовок с относительной длиной высадки, значительно превышающей допустимую по условию продольной устойчивости, которые были использованы при разработке технологий изготовления двух типов изделий. В результате внедрения технологий в производство получен экономический эффект в сумме 4,2 млн. рублей в год.

Основное содержание диссертации опубликовано в следующих работах:

Статьи, опубликованные в рецензируемых научных журналах и изданиях, определённых ВАК:

1. Определение параметров дифференцированного нагрева стержневых заготовок/Поксеваткин М.И., Осколков А.И., Мамонтов М.С., Дунаев К.Ю./ Журнал «КШП ОМД» №7, 2009, с. 30-33.

2. Оптимизация термомеханических параметров штамповки стержневых поковок из длинномерных заготовок/ Поксеваткин М.И., Дунаев К.Ю., Поксеваткин Д.М./ Журнал «КШП ОМД» №10, 2010, с. 24-27.

3. Однопереходная штамповка болтов с внутренней фасонной полостью в утолщении стержневой поковки/Дунаев К.Ю., Поксеваткин М.И., Савостина К.С., Казанцева Ю.Е./Ползуновский вестник, г. Барнаул, февраль 2012 г.

Другие публикации:

4. Алгоритм выборки компенсационных устройств штампов малоотходной горячей штамповки/Овчаров Г.А., Штильников А.А – аспиранты, Мамонтов М.С., Дунаев К.Ю. – студенты,

- Поксеваткин М.И./4-я Всероссийская научно-техническая конференция студентов, аспирантов и молодых учёных "Наука и молодёжь - 2007" (НиМ-2007) - г. Барнаул, АлтГТУ, апрель, 2007 г.
5. Установка длинномерных стержневых заготовок при закрытой штамповке/ Дунаев К.Ю., Поксеваткин М.И., Мамонтов М.С./ Проблемы и перспективы развития литейного, сварочного и кузнечно-штамповочного производств: Сборник научных трудов/ под ред. А.М. Гурьева и В.А. Маркова – Вып. 5 – Барнаул: Изд-во АлтГТУ, 2009.-262 с., с.87
6. Принципы оптимизации технологических параметров однопереходной штамповки изделий из длинномерных стержневых заготовок/ Поксеваткин М.И., Дунаев К.Ю., Мамонтов М.С./ Проблемы и перспективы развития литейного, сварочного и кузнечно-штамповочного производств: Сборник научных трудов/ под ред. А.М. Гурьева и В.А. Маркова – Вып. 5 – Барнаул: Изд-во АлтГТУ, 2009.-262 с., с.170-173
7. Обобщённый алгоритм минимизации технологической себестоимости детали/Штильников А.А., Поксеваткин М.И., Мамонтов М.С., Дунаев К.Ю.//Материалы научно-практической конференции Рубцовского индустриального института. Рубцовск. Изд. РубИИ, 2009, С. 26-28
8. Штампы для закрытой штамповки /Поксеваткин М.И., Штильников А.А., Овчаров Г.А., Мамонтов М.С., Дунаев К.Ю. //Материалы научно-практической конференции Рубцовского индустриального института. Рубцовск. Изд. РубИИ, 2009, С.39-42
9. Обобщённый алгоритм минимизации технологической себестоимости детали / Штильников А.А., Дунаев К.Ю., Поксеваткин М.И., Мамонтов М.С. //7-я всероссийская научно-техническая конференция студентов аспирантов и молодых учёных «Наука и молодёжь». Секция «Машиностроение». Алт. гос. техн. ун-т им. И.И. Ползунова. –Барнаул: изд-во АлтГТУ, 2009. С. 16-18
10. Штамп для закрытой штамповки /Поксеваткин М.И., Дунаев К.Ю., Штильников А.А.//7-я Всероссийская научно-техническая конференция студентов аспирантов и молодых учёных «Наука и молодёжь». Секция «Машиностроение». Алт. гос. техн. ун-т им. И.И. Ползунова. –Барнаул: изд-во АлтГТУ, 2009. С. 18-19
11. Методика экспериментального исследования процесса поперечного выдавливания/ Дунаев К.Ю., Мамонтов М.С., Копылов А.С., Обиход Г.И., Поксеваткин М.И. /7-я Всероссийская научно-техническая конференция студентов, аспирантов и молодых учёных "Наука и молодёжь - 2010" (НиМ-2010) - г. Барнаул, АлтГТУ, апрель - июнь, 2010 г.
12. К вопросу повышения качества штамповки стержневых деталей/ Дунаев К.Ю., Мамонтов М.С., Поксеваткин М.И. /7-я Всероссийская научно-техническая конференция студентов, аспирантов и молодых учёных "Наука и молодёжь - 2010" (НиМ-2010) - г. Барнаул, АлтГТУ, апрель - июнь, 2010 г.
13. Штамп для закрытой штамповки/ Дунаев К.Ю., Штильников А.А., Поксеваткин М.И./ 7-я Всероссийская научно-техническая конференция студентов, аспирантов и молодых учёных "Наука и молодёжь - 2010" (НиМ-2010) - г. Барнаул, АлтГТУ, апрель - июнь, 2010 г.
14. Минимизация энергоёмкости штамповки стержневых поковок из длинномерных заготовок/ Дунаев К.Ю., Поксеваткин Д.М., Поксеваткин М.И./7-я Всероссийская научно-техническая конференция студентов, аспирантов и молодых учёных "Наука и молодёжь - 2010" (НиМ-2010) - г. Барнаул, АлтГТУ, апрель - июнь, 2010 г.
15. Алгоритмизация штамповки стержневых заготовок с полостью в утолщении/ Дунаев К.Ю., Поксеваткин М.И., Бедарев М.В., Штильников А.А./ 9-ая Всероссийская научно-практическая конференция «Проблемы повышения эффективности металлообработки в промышленности на современном этапе» - г. Новосибирск, 2011, С. 8-9
16. Однопереходная штамповка болтов с полостью в головке/ Дунаев К.Ю., Поксеваткин М.И., Бедарев М.В., Штильников А.А./ 9-ая Всероссийская научно-практическая конференция «Проблемы повышения эффективности металлообработки в промышленности на современном этапе» - г. Новосибирск, 2011, С. 10-11
17. Проблемы монотонного заполнения полости штампа при деформации утолщения стержневой поковки/ Дунаев К.Ю., Штильников А.А./ 9-ая Всероссийская научно-практическая конференция «Проблемы повышения эффективности металлообработки в промышленности на современном этапе» - г. Новосибирск, 2011, С. 11-13
18. Компенсация избытка металла при штамповке стержневых поковок с фасонным хвостовиком/ Поксеваткин М.И., Штильников А.А., Дунаев К.Ю./ 9-ая Всероссийская научно-

практическая конференция «Проблемы повышения эффективности металлообработки в промышленности на современном этапе» - г. Новосибирск, 2011, С. 23-24

19. Заполняемость внутреннего компенсатора при штамповке стержневых поковок/ Поксеваткин М.И., Штильников А.А., Дунаев К.Ю./ 9-ая Всероссийская научно-практическая конференция «Проблемы повышения эффективности металлообработки в промышленности на современном этапе» - г. Новосибирск, 2011, С. 25-26

20. Компенсация избытка металла при горячей штамповке корпуса распылителя /Казанцева Ю.Е., Савостина К.С., Поксеваткин М.И., Дунаев К.Ю., Штильников А.А. // Материалы VIII Всероссийской научно-технической конференции студентов, аспирантов и молодых учёных «Наука и молодёжь – 2011», г. Барнаул, 2011

21. Принцип обеспечения монотонности процесса заполнения полости штампа /Дунаев К.Ю., Поксеваткин М.И., Штильников А.А. // Материалы VIII Всероссийской научно-технической конференции студентов, аспирантов и молодых учёных «Наука и молодёжь – 2011», г. Барнаул, 2011

22. Принципы параметрической классификации поковок по геометрическому образу /Овчаров Г.А., Поксеваткин М.И., Штильников А.А., Дунаев К.Ю., Логинов А.С. // Материалы VIII Всероссийской научно-технической конференции студентов, аспирантов и молодых учёных «Наука и молодёжь – 2011», г. Барнаул, 2011

23. Оптимизационная модель проектирования малоотходной горячей штамповки (МГШ) /Штильников А.А., Поксеваткин М.И., Дунаев К.Ю., Овчаров Г.А. //Материалы VIII Всероссийской научно-технической конференции студентов, аспирантов и молодых учёных «Наука и молодёжь – 2011», г. Барнаул, 2011

24. Оптимизация технологических параметров при закрытой штамповке стальных поршневых колец при волочении / Храмов А.Н., Асташин А.И., Поксеваткин М.И., Штильников А.А., Дунаев К.Ю. //Материалы VIII Всероссийской научно-технической конференции студентов, аспирантов и молодых учёных «Наука и молодёжь – 2011», г. Барнаул, 2011

25. Построение математической модели монотонного процесса заполнения полости матрицы при штамповке стержневых поковок из длинномерных заготовок/ Дунаев К.Ю., Поксеваткин М.И., Савостина К.С., Казанцева Ю.Е./ Всероссийская научно-техническая конференция студентов, аспирантов и молодых учёных, г. Рубцовск, 20 ноября 2011 г.

26. Алгоритмизация математической модели монотонного процесса штамповки стержневых поковок из длинномерных заготовок/ Всероссийская научно-техническая конференция студентов, аспирантов и молодых учёных, г. Рубцовск, 20 ноября 2011 г.

27. Алгоритмизация выбора температуры градиентного нагрева длинномерных заготовок при монотонном процессе закрытой штамповки стержневых поковок/ I Всероссийская научно-техническая конференция студентов, аспирантов и молодых учёных, г. Рубцовск, 20 ноября 2011 г.

28. Однопереходная штамповка винтов с фасонной полостью в головке/Дунаев К.Ю., Поксеваткин М.И., Савостина К.С., Казанцева Ю.Е./ 10-ая Всероссийская научно-практическая конференция «Проблемы повышения эффективности металлообработки в промышленности на современном этапе» - г. Новосибирск, 2012, С. 42-46.

Патенты:

29. Способ изготовления изделий из длинномерных заготовок/ Поксеваткин М.И., Овчаров Г.А., Поксеваткин Д.М., Дунаев К.Ю., Мамонтов М.С./ патент №2365459 от 10.12.2007

30. Способ штамповки поковок типа крестовин в штампе с горизонтальным разъемом матриц/ Поксеваткин М.И., Дунаев К.Ю., Мамонтов М.С., Поксеваткин Д.М./патент №2399456 от 09.06.2009

31. Способ однопереходной штамповки стержневых деталей с полостью в утолщении/ Поксеваткин М.И., Бедарев М.В., Мамонтов М.С., Дунаев К.Ю., Поксеваткин Д.М./патент №2391172 от 23.03.2009

32. Оптимизация термомеханических параметров штамповки стержневых поковок из длинномерных заготовок/ Дунаев К.Ю., Поксеваткин М.И./ Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ №2012611303 от 02.12.2011

33. Способ разделения прутка на длинномерные заготовки/ Поксеваткин М.И., Дунаев К.Ю. и др./Решение о выдаче патента на изобретение №2012150836/02(081204) от 27.11.12 г.