На правах рукописи

Михайлов Виктор Николаевич

ОБЪЕМНАЯ ШТАМПОВКА ПОКОВОК КОЛЕЦ СИНХРОНИЗАТОРА КОРОБКИ ПЕРЕДАЧ АВТОМОБИЛЯ «КАМАЗ»

Специальность: 05.02.09 – «**Технологии и машины обработки давлением»**

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Орел - 2016

Работа выполнена в Федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего профессионального образования «Липецкий государственный технический университет».

Научный руководитель: доктор технических наук, профессор,
Володин Игорь Михайлович

Официальные оппоненты: доктор технических наук, профессор,
ФГБОУ ВО «МГТУ «СТАНКИН»,
профессор кафедры «Системы пластического деформирования»
Сосенушкин Евгений Николаевич.
кандидат технических наук, доцент,
ФГБОУ ВО «Московский государственный машиностроительный университет (МАМИ)»,
зав. кафедрой «Машины и технологии обработки металлов давлением»
Петров Павел Александрович.

Ведущая организация: ФГАОУ ВПО «УрФУ имени первого Президента России Б.Н. Ельцина» (г. Екатеринбург).

Защита состоится «25» марта 2016 г. в 15.00 на заседании объединенного диссертационного совета при ФГБОУ ВО «Приокский государственный университет», ФГАОУ ВПО «Белгородский государственный национальный исследовательский университет», ФГБОУ ВПО «Липецкий государственный технический университет» Д 999.039.03 по адресу: г. Орел, Наугорское шоссе, 29, ауд. 212.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке и на сайте ФГБОУ ВО «Приокский государственный университет»: http://gu-unpk.ru/defence.

Автореферат разослан «5» февраля 2016 г.

Ученый секретарь
совета

Василенко
Юрий Валерьевич

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы исследования.

Одним из приоритетных направлений научных исследований в Российской Федерации является повышение энергоэффективности технологических процессов, снижение норм расхода материала, в частности, путем применения методов обработки металлов давлением, позволяющих снизить объем механической обработки.

В коробку передач автомобиля КАМАЗ в зависимости от модификации устанавливают пять различных по конфигурации колец синхронизаторов, изготавливаемых из латуни ЛМцСКА 58-2-2-1-1, обладающей высокими антифрикционными свойствами. Первоначально, с момента запуска первой очереди ОАО «КАМАЗ» в 1976 г., технология изготовления колец синхронизатора включала: отрезку кольцевой заготовки от толстостенной прессованной трубы и механическую обработку по всем поверхностям заготовки. При этом в зависимости от типа колец до 72 % дорогостоящей латуни уходило в стружку.

Требовалось повысить эффективность технологии изготовления деталей колец синхронизаторов, за счет применения методов горячей объемной штамповки (ГОШ).

Возможности применения методов пластической деформации для изготовления колец синхронизатора из антифрикционной латуни ЛМцСКА 58-2-2-1-1, на момент начала данной работы до конца не были исследованы. В частности, отсутствовали необходимые данные о влиянии температуры и степени деформации на механические свойства синхронизаторов получаемых штамповкой. Отсутствовали технологии штамповки колец, имеющих такие особенности геометрических размеров, как большой диаметр, многократно превышающий высоту и толщину сечения поковки, а также большая разница в площади поперечных сечений поковки.

Цель работы.

Повышение качества изготовления поковок колец синхронизатора автомобиля «КАМАЗ» на основе создания ресурсосберегающей технологии горячей объемной штамповки (ГОШ) путем совершенствования технологических параметров штамповки и конструктивных элементов оснастки.

Задачи исследования.

1. Определить термомеханические режимы горячей пластической деформации латуни ЛМцСКА 58-2-2-1-1, обеспечивающие получение изотропной мелкозернистой структуры.
2. Исследовать антифрикционную эффективность технологических смазок с учетом температуры подогрева инструмента в лабораторных и производственных условиях.
3. Определить технологические параметры процесса ГОШ, исключающие коробление поковок при извлечении из ручья штампа и позволяющие получить качественную поковку с меньшими материальными и энергетическими затратами.
4. Разработать методику проектирования ковочного штампа для изготовления поковок кольца синхронизатора автомобиля «КАМАЗ».

5. Получить уравнение регрессии для расчета силы ГОШ поковок колец синхронизаторов в зависимости от геометрических параметров облойного мостика.

Объект исследования. Операция открытой объемной штамповки колец синхронизаторов коробки передач большегрузного автомобиля «КАМАЗ».

Предмет исследования. Влияние технологических параметров ГОШ и геометрии инструмента на жесткость поковки для исключения ее коробления при извлечении из штампа и снижения металлоемкости.

Методы исследования. Для исследования структуры металла использовались методы металлографического анализа. Исследования процесса открытой горячей штамповки выполнены на основе положений теории пластического деформирования, конечно-элементного моделирования в программном модуле QFORM, методов физического моделирования и статистической обработки экспериментальных данных.

Результаты, выносимые на защиту:

- установленные температурные и деформационные режимы штамповки латуни ЛМцСКА 58-2-2-1-1;
- результаты экспериментальных показателей сил контактного трения для различных видов смазки и температур нагрева штампа;
- установленные геометрические параметры открытого штампа, обеспечивающие повышение жесткости поковки кольца синхронизатора автомобиля «КАМАЗ»;
- геометрические параметры открытого штампа, обеспечивающие снижение силы деформирования и металлоемкости поковок;
- разработанная методика проектирования ковочных штампов для колец синхронизатора автомобиля «КАМАЗ».

Научная новизна работы:

1. Установлены частота распределения размеров зерна после горячей осадки в пределах степени деформации 50÷60% и средние диаметры зерна в зависимости от температуры 720÷780°С.
2. Получены зависимости для определения параметров облойного мостика (длина прямой и выступающей части, с совпадающими центрами окружности проточки и выступа), исключающие коробление поковки при выталкивании.
3. Получены зависимости для определения параметров облойного мостика с центром окружности проточки, смещенным относительно центра окружности выступа в сторону от ручья, с образованием расширяющегося участка, что уменьшает толщину облоя и штамповочные уклоны.
4. Установлены величины коэффициента трения μ в зависимости от температуры инструмента 20÷300 ^{o}С и степени деформации ε на основании чего рекомендована смазка Градис ОФ для ГОШ поковок колец синхронизатора автомобиля «КАМАЗ» из латуни ЛМцСКА 58-2-2-1-1.

Практическая значимость работы состоит в использовании полученных результатов в инженерной практике при проектировании и внедрении в производство технологических процессов ГОШ поковок:

- результаты исследований температурных и деформационных режимов штамповки латуни ЛМцСКА 58-2-2-1-1 использованы при составлении технологических карт производственного процесса;
- установленная взаимосвязь геометрических параметров открытого штампа с жесткостью поковок использована при проектировании штамповой оснастки, внедренной в производство;
- установленная взаимосвязь геометрических параметров открытого штампа с силой штамповки и металлоемкостью поковок использована при проектировании новой штамповой оснастки;
- разработанная методика проектирования штампа для ГОШ поковок колец синхронизатора из латуни с расширяющимся фигурным облойным мостиком использована при проектировании новой штамповой оснастки;
- полученное уравнение регрессии для расчета силы ГОШ поковок колец синхронизатора в зависимости от геометрических параметров штампа использовано в инженерной методике расчета силы штамповки.

Соответствие диссертации паспорту научной специальности. Работа соответствует формуле специальности 05.02.09, так как в ней рассматривается технология штамповки колец синхронизатора автомобиля «КАМАЗ», в том числе нагрев заготовок, закономерности деформирования латуни ЛМцСКА 58-2-2-1-1 и технологические приемы повышения качества поковок из нее, что находится в области исследований (п.п. 1, 2, 4) специальности 05.02.09, в соответствии с ее паспортом.

Достоверность результатов в диссертации обеспечивается:

- использованием современных методов компьютерного и физического моделирования, а также сходимостью их результатов;
- доведением новой технологии ГОШ поковок колец синхронизатора до промышленного внедрения.

Реализация работы:

- внедрена в производство на кузнечном заводе ОАО «КАМАЗ» технология ГОШ поковок колец синхронизатора пяти наименований с экономическим эффектом более 9 млн. рублей в год;
- разработана и передана ОАО «КАМАЗ» методика проектирования штамповой оснастки, на основе которой разработана конструкторско-технологическая документация и изготовлена оснастка для проведения опытно-промышленной штамповки;
- результаты использованы в научно-исследовательской работе студентов при выполнении дипломных проектов.

Апробация работы. Материалы работы доложены и обсуждены на заседании секции «Научно-производственные и социально-экономические проблемы производства автомобиля КАМАЗ» в республиканской НТК, г. Набережные Челны, 1988; на областной научно-практической конференции «Актуальные проблемы

технических наук», ЛГТУ, Липецк 2009; на областном профильном семинаре школы молодых ученых по техническим наукам, ЛГТУ, Липецк 2009; на итоговой научной конференции «О научном потенциале региона и путях его развития», ЛИРО, г. Липецк 2009; на научной конференции студентов и аспирантов ЛГТУ, г. Липецк 2009; на VII международной научно-технической конференции «Автоматизация и энергосбережение машиностроительного и металлургического производств, технология и надежность машин, приборов и оборудования», ВоГТУ г. Вологда 2012 г.

Публикации.

По теме диссертации опубликовано 14 работ. Из них 10 научных статей, в том числе 4 в ведущих рецензируемых научных журналах, рекомендуемых ВАК, 2 патента на изобретение, 1 патент на полезную модель и 1 заявка на изобретение №.201314760/02 от 18.10.2013 опуб. 27.04.2015.

Структура и объем диссертации. Диссертационная работа состоит из введения, списка сокращений и условных обозначений, четырех глав, заключения, списка литературы, содержащего 111 наименований, списка приложений и 5 приложений. Диссертационная работа изложена на 136 страницах машинописного текста и содержит 24 таблицы и 72 рисунка.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении показана актуальность работы, степень разработанности, определены цели и задачи исследования, научная новизна, практическая значимость работы, соответствие диссертации паспорту научной специальности, методы исследования, достоверность результатов, реализация работы, апробация работы, публикации, структура и объем диссертации.

В первой главе дается информация об условиях эксплуатации колец синхронизаторов в коробках передач большегрузных автомобилей, свойствах и химическом составе специальной латуни ЛМцСКА 58-2-2-1-1, проектировании технологических процессов ГОШ, видах облойных мостиков, моделировании процессов ГОШ и построении математической модели по результатам экспериментов.

Исходя из анализа существующих проблем, сформулированы цели и задачи исследования, приведенные во введении.

Во второй главе изложено исследование, разработка и внедрение технологии объемной штамповки поковок колец синхронизатора с фигурным облоем повышенной жесткости.

Приведены результаты исследований термомеханических режимов объемной штамповки поковок колец синхронизатора.

Эффективные технологические процессы обработки металлов давлением позволяют повысить эксплуатационные свойства деталей, а именно - износостойкость, усталостную и контактную прочность латуни.

Свинец улучшает антифрикционные свойства латуней. Он практически не растворим в меди в твердом состоянии, и образует с ней легкоплавкую эвтектику, по составу почти совпадающую с чистым свинцом (99,96 % Pb) и выделяющуюся по границам зерен. Антифрикционные свойства свинцовистой латуни тем выше, чем больше площадь границ зерен на фрикционном контакте, т. е. чем мельче будет зерно латуни. Кроме того, мелкое зерно повышает усталостную и контактную

прочность, что, в совокупности с повышением смазочного эффекта свинца, обеспечивает повышенную износостойкость латуни. На износостойкость влияют также род и величина остаточных напряжений. Поэтому выбор рациональных термомеханических параметров штамповки был ориентирован на формирование в процессе формообразования мелкозернистой изотропной микроструктуры.

В качестве варьируемых термомеханических параметров принимали температуру нагрева латуни, относительную деформацию осаживаемых образцов и режим охлаждения после деформирования (на воздухе, закалка в воде) с последующим отпуском.

Для определения интервала штамповочных температур образцы осаживали с относительной деформацией до 70 % и исследовали микроструктуру.

В плоскости полученного шлифа с помощью оптического микроскопа оценивали балл зерна по ГОСТ 21073.1-75 и балл полосчатости структуры по ГОСТ 5640-68. Затем в том же слое методом секущих определяли размер зерна. Из построенных после этого графиков распределения частоты размеров зерна (рисунок 1 а,б,в,г) определяли среднюю величину хорды $\bar{d}$ зерна. Так же определяли температурную зависимость среднего размера зерна латуни ЛМцСКА 58-2-2-1-1 при относительной осадке 60 % с охлаждением на воздухе (рисунок 1 д).

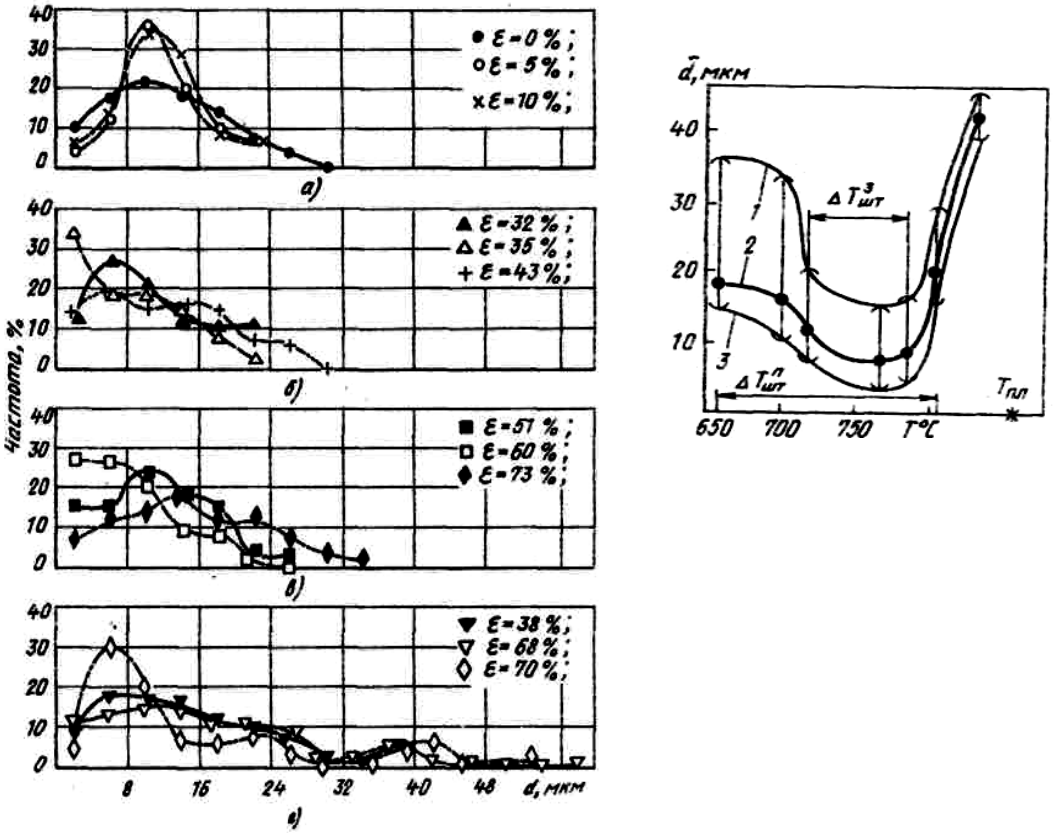


Рисунок 1- График частоты распределения размеров зерна после горячей осадки (*а,б,*в) - Т = 760 °С, (*г*) - Т = 700 °С и температурная зависимость размера зерна латуни (д): 1, *3* - огибающая максимальных и минимальных значений размера зерна соответственно; *2* - кривая среднего размера зерна; $T^{п}_{шт}$ - допускаемый пластичностью температурный интервал штамповки; $T^{з}_{шт}$ - рациональный, по формирующейся микроструктуре, температурный интервал штамповки

Исследованием микроструктуры установлено измельчение зерна с балла 5 до балла 8 при увеличении относительной деформации до 73 % и температуре деформирования 760 °С, при этом полосчатость структуры колеблется в пределах 1 ÷ 3 баллов. Данные о среднем размере зерна, полученные методом секущих, показывают, что при температуре 760 °С и степени деформации 5, 10, 35 и 60% характер зависимости $\bar{d} = f(\varepsilon)$ монотонно убывающий.

Уже при ε = 5% начинается первичная рекристаллизация, график распределения размеров зерна становится более узкий, а при увеличении ε до 60% график смещаются влево. Структура этих образцов более однородная и изотропная из-за прошедшей в них первичной рекристаллизации. При деформации образцов осадкой на 60% с нагрева до температур выше 780 ÷ 790 °С, в структуре латуни наблюдали грубые выделения интерметаллидов и интенсивно росло зерно. Понижение температуры деформации до 700 °С мало измельчает зерно, разнозернистость структуры велика.

Так как для латуней твердость коррелирует с износостойкостью, исследовали изменение твердости латуни в зависимости от термомеханических параметров обработки. Твердость латуни в исходном состоянии 128 ÷ 132 НВ. Режим охлаждения влияет на упрочнение и твердость материала через термические напряжения, изменение соотношения структурных составляющих, подавление и активизацию процессов разупрочнения (возврата, полигонизации, рекристаллизации).

По результатам исследований определен рациональный температурный интервал штамповки 720 ÷ 780 °С и относительная деформация 50÷ 60%.

Результаты стойкостных испытаний показали, что износостойкость колец синхронизаторов, изготовленных по разработанной технологии, на 40 ÷ 50% выше износостойкости колец, изготовленных резанием.

Далее приведены результаты опытно-промышленной штамповки поковок 15.1770176 на кузнечном заводе ОАО «КАМАЗ». Заготовки нагревались в печи KS400/10 при температуре от 625 °С до 825 °С с шагом 50 °С.

Штамповали 5 партий по 5 штук поковок в каждой в каждой партии с нагревом штампа до 250 °С.

В полузакрытом штампе брак при штамповке составил: 2шт. по наладке и 23 шт. по торцевому заусенцу, т. е. все поковки были забракованы. Поковки коробило при извлечении из штампа. Брак при штамповке в открытом штампе - 2шт. по наладке и 3 шт. по обрезке. По результатам механической обработки брак составил 30% («чернота» на торцевой поверхности детали).

При металлографических исследованиях отштампованных поковок был установлен температурный интервал штамповки от 725 °С до 775 °С.

Из-за наличия микротрещин и сколов по периметру обрезки, было принято решение обрезку осуществлять с отступлением от тела поковки на 1,5 мм.

Приведены результаты исследований влияния конфигурации облоя на жесткость горячей поковки**.** В технологии штамповки колец синхронизатора форма и параметры облоя имеют большое значение. В процессе штамповки он не только создает необходимый подпор для заполнения полости ручья штампа, но и увеличивает максимальный изгибающий момент минимального (критичного) сечения поковки, что препятствует её короблению при извлечении из штампа и последу-

ющей транспортировке к обрезному прессу. Облой имеет малую, относительно высоты поковки, толщину и интенсивно остывает в процессе штамповки и транспортировки к обрезному прессу, что обеспечивает дополнительную жесткость поковке.

Нормальные напряжения в произвольной точке поперечного сечения балки при прямом изгибе определяются по формуле:

$$\sigma = \frac{M}{I_x}\ y, \text{ (МПа)}, \qquad (1)$$

где M - изгибающий момент в рассматриваемом поперечном сечении, Нм; I_x - осевой момент инерции относительно оси y, мм^4; y - расстояние от рассматриваемой точки до главной центральной оси, перпендикулярной плоскости действия изгибающего момента, мм.

Для симметричных сечений относительно центральной оси из пластичных материалов, когда $\left[\sigma_p\right] = \sigma_c = \sigma$ (МПа), где $\left[\sigma_p\right]$, σ_c - допускаемые напряжения для материала в МПа, соответственно на растяжение и сжатие, условие прочности (3) примет вид

$$\sigma_{\max} = \frac{M_{\max}}{W_x} \le \sigma \quad \text{(МПа)}, \qquad (2)$$

где $W_x = I_x / y_{max}$ - момент сопротивления площади поперечного сечения относительно главной центральной оси, мм^3; $M_{\max}$ - наибольший по абсолютному значению изгибающий момент, Нм; σ - допускаемое напряжение материала на изгиб МПа.

Максимальный изгибающий момент $M_{изг}$ (Н·м) рассчитываем по формуле

$$M_{изг} = \sigma_{max} \cdot W_x, \qquad (3)$$

где σ_{max} - допускаемое напряжение металла на изгиб, МПа.

За σ_{max} принимаем сопротивление металла деформации (σ_S) с учетом температуры и степени накопленной деформации. Температура и степень накопленной деформации в теле поковки и в облое сильно различается, поэтому расчет максимального изгибающего момента для поковки и облоя будем производить отдельно. Температура в облое после извлечения поковки из штампа во всех вариантах ниже чем в поковке и равна ≈ 700 ºС. С учетом накопленной деформации при этой температуре σ_{max} ≈ 40 МПа (по результатам моделирования), в поковке σ_{max} ≈ 30 МПа.

Для нахождения центров масс и вычисления моментов инерции облоя использовали программу Компас - 3D V10.

На рисунке 2 показаны рассмотренные варианты сечений облоя.

а) б) в)

Рисунок 2 - Варианты сечений облоя: а - фигурный облой; б – прямой; в – изогнутый

Рассчитанные геометрические характеристики различных сечений облоя отраженны в таблице 1. Геометрические характеристики сечения прямого облоя значительно хуже, чем у других сечений. Наиболее рациональным является фигурный облой.

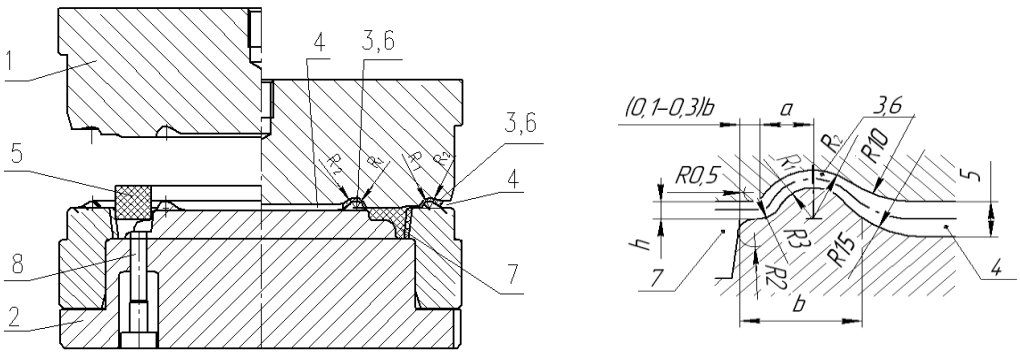
Аналогично рассчитывали геометрические характеристики поковки кольца синхронизатора делителя передач в наименьшем поперечном сечении. Получено следующее значение $M_{изг}$ = 23,1 Н·м.

Таблица 1- Геометрические характеристики сечений облоя

Параметр	Значение		
	Фигурный облой	Прямой облой	Изогнутый облой
I_x, мм^4	677, 9	2764,1	565.88
y_{max} , мм	4,9	1,25	4,71
W_x, мм^3	136,17	51,352	120,14
$M_{изг}$, Н·м	5,44	2,05	4,8

Таким образом, фигурный облой повышает допустимый максимальный изгибающий момент в рассматриваемом поперечном сечении поковки с облоем примерно на четверть (на 5,44 Н·м) и является дополнительным жестким элементом для поковки кольца синхронизатора делителя передач.

На основе результатов опытной штамповки изготовление поковок решено осуществлять в открытом штампе за один переход из кольцевой заготовки, отрезаемой от трубы. С целью увеличения жесткости поковок и уменьшения их коробления при извлечении из ручья и последующей транспортировке в штампе решено применить фигурный облойный мостик (рисунок 3). Определена схема штампа для ГОШ поковок колец синхронизатора.



а) б)

Рисунок 3 - Схема штампа для открытой объемной штамповки поковок (а) и фигурный облойным мостик (б): 1 - верхний штамп; 2 - нижний штамп; 3,6 – облойный мостик; 4 – магазин; 5 – заготовка; 7 поковка; 8 – выталкиватель

Штамп содержит верхнюю 1 и нижнюю 2 половины с гравюрами, образующими ручей 7, облойный мостик 3,6 и магазин 4.

Облойный мостик выполнен сопряжением горизонтального участка, примыкающего непосредственно к ручью штампа, длина которого составляет 0,1÷0,3 от расчетной ширины облойного мостика и определяется величиной отступления обрезки облоя от тела поковки, с участком, выходящим за торец поковки, образо-

ванный выступом на одной половине штампа, ограниченным частью окружности радиуса R_1, центр которого расположен не выше основания выступа, и проточкой на другой половине штампа радиусом R_2, величину которого рассчитываем по формуле

$$R_2 = R_1 + h, \text{ (мм)} \quad (4)$$

где h – толщина облоя на облойном мостике, мм.

Рассчитанные параметры облойного мостика приведены в таблице 3.

Таблица 2 - Параметры облойного мостика

Сила пресса, МН	Толщина облоя (h), мм	a, мм	R1, мм	R2, мм	b, мм
16	2,5	4,5	5,1	7,6	11,1

Для обеспечения необходимого интервала штамповки 720÷780°С, была спроектирована, изготовлена и доведена до промышленного внедрения установка для нагрева заготовок ИНК 300/1.1 640.55.000 с механизмом ориентации заготовок и автоматической загрузки их в индуктор с возможностью регулирования темпа выдачи заготовок в зависимости от типа заготовок для различных поковок колец синхронизатора.

Далее приведены результаты выбора технологической смазки и температуры нагрева штампа для штамповки поковок колец синхронизатора. Для этого была спроектирована и изготовлена установка. Схема и состав установки представлены на рисунке 4. Образцы изготавливались из латуни ЛМцСКА 58-2-2-1-1 в виде колец с относительными размерами $D_0 : d_0 : H_o = 6 : 3 : 2$. Кольца имели размеры: внешний и внутренний диаметры соответственно $D_0 =$ 36 мм и $d_0 = 18$ мм; высота $H_o = 12$ мм.

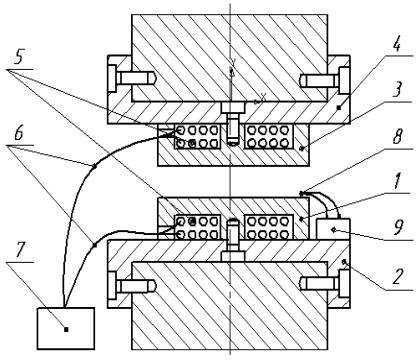


Рисунок 4 - Установка для выбора технологической смазки и определения температуры нагрева штампа: 1 – нижний боек; 2 – нижнее основание; 3 – верхний боек; 4 – верхнее основание; 5 – нагреватели; 6 – соединительные провода; 7 – трансформатор; 8 – термопара; 9 – потенциометр

По рассчитанным значениям степени деформации (ε) и уменьшения внутреннего диаметра (η) определяли наименьший коэффициент трения μ по методу осадки кольца Male A.T. и Cockrofta M.G. с различной температурой нагрева

штампа. Была выбрана отечественная технологическая смазка Градис ОФ. Температура штампа установлена 300 ^{o} С.

Открытый штамп с фигурным облойным мостиком внедрен в производство (рисунок 5), что значительно снизило норму расхода латуни и сократило объем механической обработки.

а)

б)

в)

Рисунок 5 - Процесс штамповки (а), процесс обрезки (б), поковка и обрезанный облой (в)

Экономия латуни в результате внедрения ГОШ колец синхронизатора за период с начала 1994 г. по 2009 г. включительно, составило 1529,5 тонн, а экономический эффект, с учетом стоимости латуни по данным кузнечного завода за 2012 г. (97000 руб./т), составил 148368581 руб., в среднем 9273036 руб. в год. Высвобождено 14 механообрабатывающих станков.

В работе приведены результаты компьютерного моделирования процесса ГОШ поковок колец синхронизатора с разными вариантами конфигурации облоя (таблица 3).

Наименьшая сила деформирования требуется для варианта с фигурным облоем. Полученный результат объясним тем, что в конструкции облойного мостика на верхнем штампе радиус скругления в месте сопряжения выемки и магазина увеличили до 10 мм (рисунок 3. б).

Таблица 3 - Результаты компьютерного моделирования процесса штамповки из латуни ЛМцСКА 58-2-2-1-1

Сила деформирования (МН)		
Варианты облойных мостиков		
Прямой	Фигурный (с частичным расширением)	Изогнутый
4,2	3,9	6,35

Таким образом, частичное уширение облойного мостика дало результат в снижении силы деформирования. На основании изложенного следует, что дальнейшее уширение облойного мостика, приведет к еще большему снижению силы деформирования.

В третьей главе приведены результаты исследований по совершенствованию технологии объемной штамповки поковок колец синхронизатора с облоем повышенной жесткости.

На основе литературного обзора, опыта эксплуатации штампа и анализа результатов компьютерного моделирования во второй главе, был сделан вывод о возможности дальнейшего совершенствования конструкции ковочного штампа.

Предложена новая конструкция штампа с уменьшенными (с 7 до 1,5 град. для наружных и до 2,5 град. для внутренних) штамповочными уклонами и расширяющимся фигурным облойным мостиком с меньшей толщиной облоя h (1,5 мм вместо 2,5 мм) (рисунок 6).

Конструктивно расширяющийся облойный мостик образуется за счет смещения центра радиуса проточки R_2 (мм) верхней части штампа относительно центра радиуса выступа R_1 (мм) нижней части штампа в сторону от ручья. Радиус проточки R_2 рассчитываем по формуле

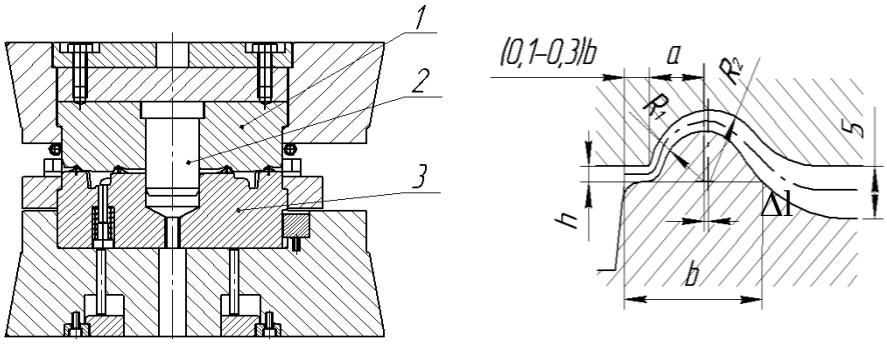
$$R_2 = R_1 + h + \Delta l \text{ (мм)}, \qquad (5)$$

где Δl - величина смещения центра радиуса проточки R_2 относительно центра радиуса выступа R_1 в сторону от ручья штампа, мм.

Увеличение радиуса проточки R_2 на величину Δl обосновано сохранением одинаковой толщины облоя в сопрягаемой зоне с прямым участком.

Важно, что внедрение в практику новой конструкции штампа возможно без увеличения трудоемкости изготовления последнего.

Величину смещения Δl определяли компьютерным моделированием ГОШ поковок. Провели ряд компьютерных моделирований с помощью прикладной программы «QForm»-3D.



а) б)

Рисунок 6 - Схема ковочного штампа (а) и фигурный облойный мостик с расширением (б): 1- верхняя вставка; 2 – фиксатор; 3 - нижняя вставка

Смещение Δl на величину более h/2 приводит к не заполнению радиусов поковки в углах ручья штампа.

Точность смещения центра радиуса проточки R_2 относительно центра радиуса выступа R_1 в полукруглой части облойного мостика обеспечивается в блоке штампа или по центру верхней и нижней вставки фиксатором.

Рассчитанные параметры облойного мостика приведены в таблице 4.

Таблица 4 - Параметры облойного мостика

Сила пресса, МН	Толщина облоя (h), мм	a, мм	R1, мм	R2, мм	b, мм	Δl мм
10	1,5	4,5	3,2	5,3	9,2	0,6

Далее рассмотрены наиболее значимые варианты компьютерного моделирования. Заготовку, как и во внедренном (базовом) варианте, брали кольцевую, отрезанную от трубы. Первый вариант – моделирование базовой технологии штамповки поковки кольца синхронизатора делителя передач с толщиной облоя 2,5 мм. Исходная заготовка: наружный диаметр $d_{нар}$ = 170 мм; толщина S = 22 мм; высота H = 19 мм; штамповочные уклоны 7 град., масса $m_з$ = 1,65 кг. Получены следующие результаты: зажимов и складок на поковке нет; ручей штампа заполнен полностью; наблюдается полный контакт инструмента с поковкой в области облойного мостика, сила деформирования равна 5,4 МН.

Следующий вариант - со смещением центра радиуса проточки R_2 в сторону от ручья, относительно центра радиуса выступа R_1, на величину 0,6 мм, с уменьшенными наружными штамповочными уклонами 1.5 град., толщиной облоя 1,5 мм и откорректированными размерами заготовки по наружному диаметру и высоте. Исходная заготовка: $d_{нар}$ = 165 мм; S = 18,5 мм; H = 20 мм; $m_з$ = 1,448 кг. Результаты моделирования: складок на поковке нет; ручей штампа заполнен полностью; наблюдается отрыв металла от выступа на нижней части штампа со стороны магазина до 2/3 длины окружности выступа (площадь контакта инструмента с поковкой в области облойного мостика уменьшена); сила деформирования снизилось до 3,87 МН.

Последний вариант такой же, как и предыдущий, но со смещением центра радиуса проточки R_2 в сторону от ручья, относительно центра радиуса выступа R_1, на величину 0,7 мм. Результат моделирования: ручей штампа заполнен не полностью (не оформлены радиусы поковки в углах ручья штампа); сила деформирования снизилось до 3,77 МН.

Предложен вариант ГОШ поковки кольца синхронизатора делителя передач с уменьшенной толщиной облоя 1,5 мм, уменьшенными штамповочными уклонами 1,5 град. и смещением 0,6 мм. Снижение расхода латуни составило 0,202 кг на одну поковку.

В приложении 5 приведен сравнительный расчет максимальных изгибающих моментов в наименьшем сечении поковок колец синхронизатора делителя передач и второй передачи с облоем толщиной 1,5 мм, полученные в штампе с прямым облойным мостиком и в штампе с фигурным облойным мостиком с расширением. Данный расчет подтвердил, что поковки кольца синхронизатора делителя передач с фигурным облоем, полученные в штампе с расширением в облойном мостике (Δl = 0,6 мм), обладают большим по абсолютному значению изгибающим моментом по сравнению с аналогичной поковкой с плоским облоем на 20,5%, а поковки кольца синхронизатора второй передачи – на 14,9 %.

В настоящее время на заводе ведется подготовка производства для проведения опытной штамповки в производственных условиях - изготовлен опытный

штамп. На штамп для открытой штамповки с расширяющимся фигурным облойным мостиком подана заявка на изобретение РФ RU 2013146760/02.

Проведено компьютерное и физическое моделирование процесса штамповки поковки кольца синхронизатора, уменьшенной в 2,5 раза, из свинца марки С-1. По известным методикам экспериментально определены коэффициент трения μ и предел текучести σ_s свинца С-1. Подтверждена сходимость результатов компьютерного и физического моделирования (рисунок 8). Различие составило не более 10%.

Для исследований был спроектирован и изготовлен экспериментальный штамп (рисунок 9), защищенный патентом на полезную модель.

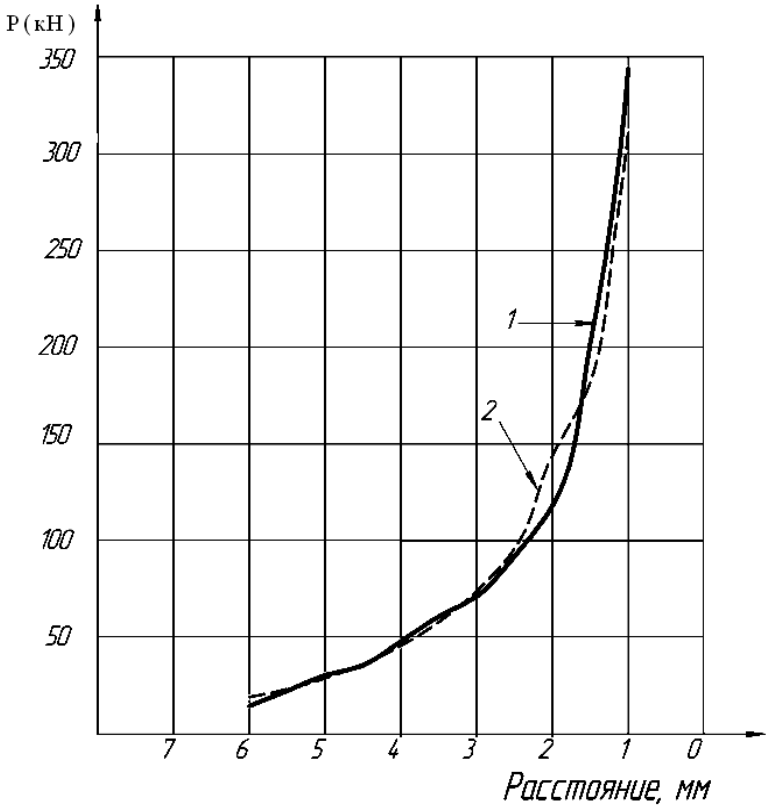


Рисунок 8 - Зависимость силы деформирования (кН) штамповки модели поковки от расстояния для штампа с фигурным облоем и расширением: 1 – физическое моделирование; 2 - компьютерное моделирование по программе Q-form

Результаты моделирования приведены в таблице 5. На рисунке 10 показаны заготовка и варианты моделей поковок из свинца в разрезе, полученные на экспериментальном штампе.

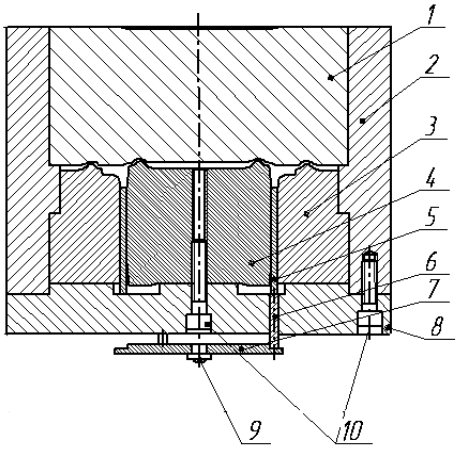


Рисунок 9 - Штамп для физического моделирования штамповки поковки кольца синхронизатора делителя передач из свинца: 1 - верхняя вставка; 2 – корпус; 3 - нижняя наружная вставка; 4 -нижняя внутренняя вставка; 5 - кольцевой выталкиватель; 6 – толкатель; 7 - опорная пластина; 8 - опорная плита; 9 - вставка пластины; 10 - винты крепления

Таблица 5 - Сила деформирования и выталкивания модели поковки из свинца

Сила деформирования (кН)			
Вид моделирования	Вариант облоя		
	Прямой	Фигурный	Фигурный с расширением 0.25 мм
Компьютерное	369	424	311
Физическое	380	419	344
Сила выталкивания (кН)			
Физическое	7	8,3	6

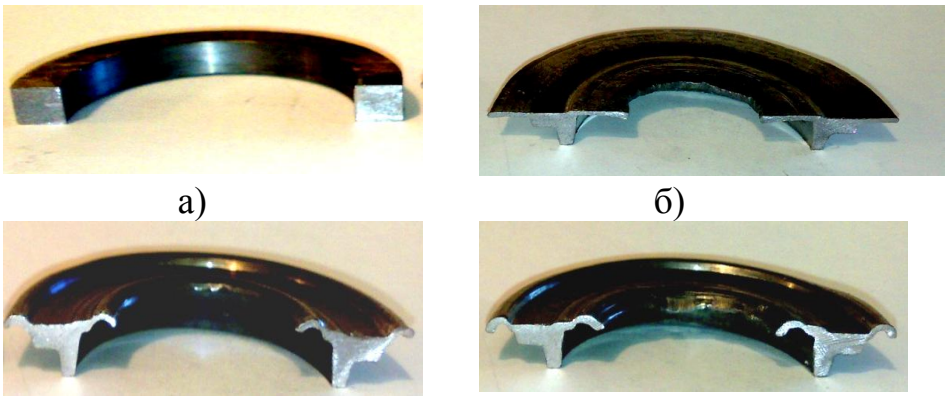


Рисунок 10 - Заготовка (а) и поковки с различной конфигурацией облоя: б – плоский вариант облоя; в – фигурный вариант облоя; г - фигурный вариант облоя с расширением

Четвертая глава посвящена построению уравнения регрессии для расчета силы штамповки поковок колец синхронизатора в штампе с расширяющимся фигурным облойным мостиком и разработке методики проектирования штампа.

В третей главе при экспериментальном моделировании выявлены факторы, влияющие на силу штамповки: смещение центра радиуса проточки облойного мостика в сторону от ручья и толщина облоя.

Зависимость силы деформирования от двух факторов можно представить уравнением регрессии

$$\Lambda_p = b_o + b_1 x_1 + b_2 x_2 + b_{12} x_1 x_2, \qquad (6)$$

где b_o – свободный член, равный отклику при $x_1 = x_2 = 0$; b_1, b_2, b_{12} коэффициенты регрессии; Λ_p – вычисляемые значения функции отклика.

После составления условий (таблица 6) и плана двухфакторного эксперимента (таблица 7) рассчитываем численные значения одиночных коэффициентов регрессии на основании данных по формуле

$$b_i = \left(\sum_{k=1}^{4} X_{ik} \Lambda_{pk} \right) \Big/ 4, \qquad (7)$$

где k – номер опыта в матрице планирования.

Таблица 6 - Условия эксперимента при определении силы ГОШ поковок колец синхронизатора

Факторы		Уровни		
Название	Обозн.	x_i^{min}	x_i^{max}	$(x_i^{max} - x_i^{min})/2$
Толщина облоя, мм	X_1	1,5	2,5	0,5
Величина смещения,мм	X_2	0	0,6	0,3

Таблица 7 - План двухфакторного эксперимента

Номер опыта	Толщина облоя		Величина смещения		Результаты эксперимента
	X_1	x_1	X_2	x_2	
1	+1	2,5	+1	0,6	3,1
2	-1	1,5	+1	0,6	4,88
3	+1	2,5	-1	0	5,4
4	-1	1,5	-1	0	8,9

Коэффициент парных взаимодействий рассчитываем по формуле

$$b_{ij} = \left(\sum_{k=1}^{4} X_{ik} X_{jk} \Lambda_{pk} \right) \Big/ 4 \,. \qquad (8)$$

Подстановкой найденных значений коэффициентов регрессий в формулу (6) получено уравнение регрессии для расчета силы деформирования (*P*) поковок колец синхронизатора в штампе с расширяющимся фигурным облойным мостиком

$$P = 5{,}57 - 5{,}28[(h - 2)/0{,}5)] - 6{,}32[(\Delta l - 0{,}3)/0{,}3)] + 1{,}72[(h - 2)/0{,}5)][(\Delta l - 0{,}3)/0{,}3)] \text{ (МН)}, \qquad (9)$$

где P – сила деформирования поковок колец синхронизатора, МН; h – толщина облоя, мм; Δl - величина смещения центра радиуса проточки R_2 относительно центра радиуса выступа R_1 в сторону от ручья штампа, мм (рисунок 6).

В следующем разделе приведена методика проектирования основных параметров ковочного штампа открытого типа для поковок колец синхронизатора из латуни ЛМцСКА 58-2-2-1-1 с фигурным облойным мостиком с расширением по направлению течения металла.

По уравнению регрессии (9) или компьютерным моделированием определяем силу деформирования поковок и выбираем КГШП. По результатам компьютерного моделирования ГОШ поковки кольца синхронизатора делителя передач выбираем КГШП силой 10 МН. По известной методике расчета параметров облойных мостиков (по номинальной силе пресса) определяем ширину облойного мостика $L_{ом}$ = 6 мм, и толщину облоя h = 1,5 мм, назначаем наружные штамповочные уклоны - 1,5 град., внутренние – 2,5 град.

Руководствуясь глубиной проникновения трещин в поковку при обрезке облоя, принимаем длину прямого участка $l_{пр}$ облойного мостика (рисунок 7) $l_{пр}$ = 1,5 мм по величине отступления обрезки облоя от тела поковки.

Определяем расстояние до центра выступа полукруглой части облойного мостика a

$$a = L_{ом} - l_{пр} \quad \text{(мм)}. \tag{10}$$

Находим величину радиуса R_1

$$R_1 = \sqrt{h^2 + a^2} - h \quad \text{(мм)}. \tag{11}$$

Центр радиуса проточки R_2 смещаем в сторону от ручья (по направлению течения металла) на величину Δl (не более $h/2$), образуя с выступом расширяющийся облойный мостик. Радиус проточки R_2 рассчитываем по формуле

$$R_2 = R_1 + h + \Delta l \quad \text{(мм)}. \tag{12}$$

Находим расчетную ширину облойного мостика b по формуле

$$b = l_{пр} + a + R_1 \quad \text{(мм)}. \tag{13}$$

Величину смещения Δl определяем компьютерным моделированием процесса ГОШ. Для поковки делителя передач принимаем Δl =0,6 мм.

Точность смещения центра радиуса выступа R_1 относительно центра радиуса проточки R_2 в полукруглой части облойного мостика обеспечивается замком в блоке штампа или по центру верхней и нижней вставки фиксатором 2 (рисунок 6).

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ВЫВОДЫ

В работе решена актуальная задача повышения эффективности изготовления колец синхронизатора автомобиля «КАМАЗ» за счет создания и внедрения в производство ресурсосберегающей технологии их ГОШ с вновь установленными технологическими параметрами и применением специального открытого штампа, без коробления поковок при штамповке и разработан специальный открытый штамп с расширяющимся облойным мостиком, позволяющий применить для процесса штамповки оборудование меньшей силы (КГШП 10 МН вместо КГШП 16 МН) и сократить расход латуни на 13%.

Основные выводы

1. Проведенные исследования термомеханических режимов штамповки латуни ЛМцСКА 58-2-2-1-1 позволили установить рациональные параметры процесса: температурный интервал 720÷780 °С и относительную степень деформации 50÷60 %.

2. Разработана экспериментальная установка и проведены исследования влияния смазок на величину коэффициента трения при деформировании кольцевых образцов, по результатам которых установлено, что для данных условий протекания процесса (температура нагрева штампа 300°С) целесообразно применение технологической смазки Градис ОФ.

3. Проведены исследования и определены геометрические параметры открытого штампа для изготовления колец синхронизатора, исключающие коробление поковок при штамповке. Разработана и внедрена в производство на Кузнечном заводе ОАО «КАМАЗ» технология ГОШ поковок колец синхронизатора пяти наименований на КГШП 16 МН, что позволило значительно сократить объемы механической обработки и высвободить 14 единиц металлорежущего оборудования. Экономический эффект только от снижения нормы расхода латуни составил более 9 млн. рублей в год.

4. На основе компьютерного моделирования и проведенных экспериментов разработаны методика проектирования и конструктивные параметры ковочного штампа с расширяющимся облойным мостиком, позволяющие изготавливать эти же поковки на оборудовании с меньшей номинальной силой (КГШП 10 МН). При этом предполагаемое снижение нормы расхода латуни составило 13%. Результаты приняты Кузнечным заводом ОАО «КАМАЗ» к внедрению в производство.

5. Разработан штамп для исследований открытой объемной штамповки. Проведено компьютерное и физическое моделирование процесса штамповки. Сходимость результатов до 10 %.

6. На основании математической модели расчета силы деформирования поковок колец синхронизатора в штампе с расширяющимся фигурным облойным мостиком, получено уравнение регрессии для определения силы деформирования, учитывающее параметры облойного мостика. Установлено, что при смещении выемки в облойном мостике относительно выступа в сторону истечения металла до 0,6 мм, сила деформирования снижается на величину более 50%.

Результаты диссертации опубликованы в следующих работах:

Статьи в изданиях, рекомендованных ВАК РФ

1. Калаганов В.А. Оценка технологических свойств СОЖ для горячей объемной штамповки / В.А.Калаганов., В.Н. Михайлов // Кузнечно-штамповочное производство.- 1986.- № 11. С. 24-25.

2. Шибаков В.Г. Формирование служебных свойств деталей на основе выбора рационального термомеханического режима штамповки / В.Г. Шибаков, А.В. Алдунин, В.Н. Михайлов // Кузнечно-штамповочное производство. -1991.- № 1. С. 11-14.

3. Михайлов В.Н. Исследование технологии изготовления поковок колец синхронизатора автомобиля КАМАЗ / В.Н. Михайлов, И.М. Володин // Вести вузов Черноземья.- Липецк ЛГТУ. - 2011. - №4 . С. 47-51.

4. Михайлов В.Н., Совершенствование технологии изготовления поковок колец синхронизатора автомобиля КАМАЗ / В.Н. Михайлов, И.М. Володин // Известия ТулГУ. Технические науки. - 2013. - № 10. С. 254 – 260.

Патенты и заявки на изобретение

5. Патент РФ SU 1821286. Штамп для открытой объемной штамповки поковок / Михайлов В.Н., Володин И.М., Филатов В.Д., Смирнов В.С. Опубл. 15.06.1993. Бюл. 22.

6. Патент РФ RU 132005. Штамп для исследования открытой объемной штамповки поковок / Михайлов В.Н., Володин А.И., Москвин А.В. Опубл. 10.09.2013. Бюл. 25.

7. Патент РФ RU 2521929. Штамп для открытой объемной штамповки / Володин И.М., Михайлов В.Н., Приходько Д.И, Филатов Д.А. Опубл. 10.07.2014. Бюл. 19.

8. Заявка на изобретение РФ RU 2013146760/02. Штамп для открытой объемной штамповки поковок / Михайлов В.Н., Володин И.М., Смирнов В.С., Калашников А.А. Опубл. 27.04.2015. http://www1.fips.ru/fips_servl/fips_servlet

Статьи и материалы конференций

9. Михайлов В.Н. Разработка технологии производства колец синхронизаторов методом горячей объемной штамповки / В.Н. Михайлов, А.В. Алдунин, В.Н.Сургай, А.В Шапарев // В сб.: Научно-производственные и социально-экономические проблемы производства автомобиля КАМАЗ. Тезисы докл. 6 республиканской НТК. Набережные Челны .- 1988.- С. 96.

10. Михайлов В.Н. Разработка и внедрение в производство технологии штамповки колец синхронизаторов на Камском автомобильном заводе (КамАЗ) / В.Н. Михайлов, И.М. Володин // В сб. Актуальные проблемы технических наук. Материалы областной научно-практической конференции ЛГТУ. - Липецк. – 2009. - С. 78-80.

11. Михайлов В.Н. Разработка и внедрение в производство технологии штамповки колец синхронизаторов на Камском автомобильном заводе (КамАЗ) / В.Н Михайлов, И.М. Володин // В сб. Школа молодых ученых по техническим наукам. Материалы областного профильного семинара.- Липецк: Изд-во ЛГТУ. – 2009. С. 17-22.

12. Михайлов В.Н. Разработка и внедрение в производство технологии штамповки колец синхронизаторов на Камском автомобильном заводе (КамАЗ) / В.Н. Михайлов, И.М. Володин // В кн. Материалы итоговой научной конференции «О научном потенциале региона и путях его развития. – Липецк: Изд-во ЛИРО. - 2009, С. 205-210.

13. Михайлов В.Н. Повышение эффективности использования материала при изготовлении колец синхронизатора автомобиля КАМАЗ» / В.Н. Михайлов, И.М. Володин // В кн. Материалы VII международной научно-технической конференции «Автоматизация и энергосбережение машиностроительного и металлургического производств, технология и надежность машин, приборов и оборудования». - Вологда: Изд-во ВоГТУ. – 2012. - С. 243-246.

14. Михайлов В.Н. Исследование технологии изготовления поковок колец синхронизатора автомобиля КАМАЗ / В.Н. Михайлов, С.А Маликов // В журнале «Вестник ЛГТУ». Липецк: Изд-во ЛГТУ. - 2014. - №1. – С. 82 – 89.

Подписано в печать 01.02.2016, заказ №3/12. Объем 1,1 п.л. Тираж 130 экз.
Полиграфическое подразделение издательства Липецкого государственного технического университета.
398600, Липецк, ул. Московская, 30.