

На правах рукописи

Медведев Евгений Борисович

**РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ ХОЛОДНОГО ПРЯМОГО
ВЫДАВЛИВАНИЯ БИМЕТАЛЛИЧЕСКИХ ПРУТКОВ
С ЗАДАННОЙ ТЕПЛОПРОВОДНОСТЬЮ**

Специальность 05.16.05 – Обработка металлов давлением

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание учёной степени
кандидата технических наук

Магнитогорск - 2010

Работа выполнена в государственном образовательном учреждении высшего профессионального образования «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова».

Научный руководитель – кандидат технических наук, доцент
Барышников Михаил Павлович.

Официальные оппоненты: доктор технических наук, профессор
Трофимов Виктор Николаевич,

кандидат технических наук
Ситников Игорь Викторович.

Ведущая организация – ОАО «Белебеевский завод «Автономаль»,
г. Белебей.

Защита состоится 8 февраля 2011 г. в 15 час. на заседании диссертационного совета Д 212.111.01 при ГОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова» по адресу: 455000, г. Магнитогорск, проспект Ленина, 38, МГТУ, малый актовй зал.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ГОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова».

Автореферат разослан 23 декабря 2010 г.

Учёный секретарь
диссертационного совета

Селиванов В.Н.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность работы. Рост производства биметаллов и постоянное повышение требований к их качеству ставят перед разработчиками этих материалов задачу получения биметаллической (БМ) продукции с регламентируемыми геометрическими параметрами, обеспечивающими необходимый уровень и высокую стабильность физико-механических, теплофизических и других свойств биметаллов.

Биметаллы выпускаются в различном ассортименте (листы, лента, трубы, проволока и прутки) и используются во многих отраслях промышленности. Широкое применение они нашли в автомобилестроении в виде БМ прутков, используемых в качестве БМ электродов для свечей зажигания ДВС.

БМ электрод представляет собой короткий БМ пруток, состоящий из высокотеплопроводного медного сердечника и жаростойкой никелевой оболочки, закрывающей боковую и торцевую поверхность сердечника. Такой электрод улучшает основной служебный показатель свечи зажигания – её тепловую характеристику, определяющую нормальную работу свечи.

Кроме указанного достоинства БМ электрод, как композиционное изделие, может иметь различную теплопроводность в зависимости от изменения размеров оболочки электрода. Это свойство БМ электрода может быть использовано для получения требуемых тепловых характеристик свечей зажигания. При этом размеры теплового конуса изолятора могут оставаться неизменными, что повышает уровень технологичности конструкции свечи за счёт унификации её деталей (изоляторов). Для практической реализации этой задачи необходимо знание закономерностей изменения теплопроводности БМ электрода в зависимости от изменения формы и размеров его оболочки.

Для изготовления БМ прутков наибольшее распространение получил способ совместной пластической деформации разных металлов (СПДРМ), осуществляемый горячим прессованием либо гидропрессованием заготовок с продольной слоистостью. Основные научно-технические аспекты этих процессов изучены достаточно хорошо. Однако ряд теоретических и практических вопросов прямого выдавливания биметаллов остаётся до сих пор не решённым. В частности, практически не изучен вопрос пластического формоизменения БМ прутков, полученных холодным прямым выдавливанием из БМ заготовок с поперечной и продольно-поперечной слоистостью.

Таким образом, изучение вопроса пластического формоизменения оболочки круглых БМ прутков в процессе их холодного прямого выдавливания из заготовок с поперечной и продольно-поперечной слоистостью, а также исследование связанного с ним вопроса изменения теплопроводности таких прутков в зависимости от изменения формы и размеров их оболочки являются актуальными научно-техническими задачами.

Цель работы – получение холодной объёмной штамповкой центральных биметаллических электродов свечей зажигания ДВС с заданной теплопроводностью, обеспечивающих улучшение технических характеристик свечей зажигания и повышение уровня технологичности конструкции свечей.

Для достижения указанной цели были поставлены и решены следующие **задачи**:

1. Теоретическое и экспериментальное исследования влияния геометрических параметров оболочки БМ прутка, формирующихся в процессе холодного прямого выдавливания, на его теплопроводность.

2. Теоретическое исследование пластического формоизменения оболочки БМ прутков, полученных из заготовок с поперечной и продольно-поперечной слоистостью, в зависимости от различных технологических факторов деформирования и стадий процесса холодного прямого выдавливания.

3. Экспериментальное исследование пластического формоизменения оболочки БМ прутков при холодном прямом выдавливании.

4. Разработка технологического процесса холодной объёмной штамповки медно-никелевых электродов свечей зажигания ДВС с заданной теплопроводностью.

Методы и материалы исследований. В работе были использованы промышленные материалы, из которых изготавливались БМ электроды, а также модельные материалы, которые применялись для физического моделирования процесса холодного прямого выдавливания БМ прутков. Физико-механические свойства материалов определялись из справочной литературы. Для решения задачи о пластическом формоизменении оболочки БМ прутков при прямом выдавливании и задачи об определении коэффициента теплопроводности БМ прутков применялись теоретические и экспериментальные методы исследований.

Научная новизна. Признаками научной новизны обладают следующие результаты диссертации:

1. Аналитическая модель исследования характера пластического формоизменения торцевой и боковой оболочки круглых БМ прутков, полученных холодным прямым выдавливанием из БМ заготовок с поперечной и продольно-поперечной слоистостью, в зависимости от стадий процесса выдавливания и технологических факторов деформирования.

2. Условия деформирования, при которых происходит формирование равномерной по длине толщины боковой оболочки БМ прутков, полученных из заготовок с поперечной и продольно-поперечной слоистостью.

3. Теоретическая модель, учитывающая влияние формы и размеров оболочки БМ электрода, формирующейся в процессе холодного прямого выдавливания, на его теплопроводность. На основе модели получен вывод о том, что при определённых размерах оболочки БМ электрода его теплопроводность становится величиной постоянной во всём интервале (400...900) рабочих температур свечи зажигания.

Практическая ценность работы заключается в следующем:

1. Разработан технологический процесс холодной объёмной штамповки центральных медно-никелевых электродов свечей зажигания ДВС с заданной теплопроводностью с учётом его реализации на автоматических роторных линиях (роторная технология);

2. На основе разработанного технологического процесса в ОКТБ «Ротор» (г. Тула) спроектировано, изготовлено и запущено в эксплуатацию специальное оборудование – комплекс автоматических роторных линий с производительностью 200 шт/мин, обеспечивающий массовый выпуск электродов в объёме 8...10 млн. шт/год.

Достоверность результатов. Справедливость полученных в работе теоретических результатов подтверждена экспериментальными данными. Разработанный на основе полученных теоретических и экспериментальных данных технологический процесс изготовления БМ электродов внедрён в производство и защищён патентами РФ на изобретение, что подтверждается актом о внедрении технологического процесса в производство и актом об использовании изобретения.

Апробация работы. Результаты работы докладывались и обсуждались на 13-ой Международной конференции по физике прочности и пластичности металлов и сплавов (Самара, 1992), на 5-ой конференции «Сверхпластичность неорганических материалов (Уфа, ИПСМ, 1992), на 14-ом Международном конгрессе двигателестроителей (Украина, Крым, 2009), на Всероссийской межвузовской научно-технической конференции «Методы повышения технологических возможностей металлообрабатывающего оборудования с ЧПУ» (Уфа, УГАТУ, 2010). В полном объёме диссертация обсуждалась на научно-методическом семинаре Института физики перспективных материалов (Уфа, ИФПМ, 2010).

Публикации. Основные результаты диссертационной работы опубликованы в 6 научных трудах, получены 2 патента РФ на изобретение.

Структура и объём диссертации. Диссертация состоит из введения, 6-и глав, выводов, списка литературы и приложения на 20 листах. Текст диссертации изложен на 152 страницах машинописного текста, включает 47 рисунков и 10 таблиц. Список литературы содержит 99 наименований.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность темы диссертации, сформулированы цель и задачи исследований, показана научная новизна и практическая значимость работы.

В первой главе показано состояние вопроса производства круглых БМ прутков и медно-никелевых электродов свечей зажигания ДВС.

Вопросами СПДРМ занимались многие известные отечественные учёные. Большой вклад в развитие теории и практики обработки давлением слоистых металлов внесли Г.Э. Аркулис, М.И. Бояршинов, В.Г. Дорогобид, Л.Н. Могучий, В.К. Король, С.А. Голованенко, Л.В. Меандров, А.Л. Тарнавский, И.М. Павлов, М.С. Гильденгорн, Ю.П. Трыков, И.Л. Перлин, А.Г. Кобелев и др. При изучении процессов совместного прямого выдавливания (как правило, горячего прессования или гидропрессования) основное внимание исследователей было уделено вопросам формоизменения боковой оболочки длинномерных БМ прутков и труб, полученных из заготовок с продольной

слоистостью. При этом закономерности формоизменения оболочки рассматривались, преимущественно, на основной стадии процесса выдавливания.

Значительно меньше внимания уделялось вопросам пластического формоизменения торцевой и боковой оболочек БМ прутков, полученных из заготовок с поперечной и продольно-поперечной слоистостью. Актуальность изучения данного вопроса заключается ещё и в том, что нижний поперечный слой таких заготовок имеет небольшую относительную высоту h/D (как правило, $h/D < 1$), вследствие чего формирование проектных размеров изделия может завершиться на начальной стадии прямого выдавливания, особенно деформации биметаллов на которой также изучены недостаточно.

В главе приведены работы В.В. Евстигнеева, А.Ф. Сачавского, А.С. Охотина, А.М. Молодца, А.А. Гольшева, А.А., Кудинова и др. по теории теплопроводности твёрдых тел, в которых обосновано применение экспериментально-аналитического способа определения теплопроводности материалов с помощью закона Видемана-Франца-Лоренца.

Представлены результаты работ Б.А. Басса, А.С. Скобликова, А.И. Минеева, Д.Р. Яхутля и др. по исследованию вопросов теплопередачи в свечах зажигания, где показано, что при изготовлении центрального электрода свечи зажигания из материалов с различной теплопроводностью тепловая характеристика свечи изменяется в достаточно широком диапазоне.

По результатам анализа изложенного материала определены цель и задачи настоящей работы.

Во второй главе приведены материалы и методики теоретических и экспериментальных исследований. В качестве материалов для исследований были выбраны две пары совместно обрабатываемых материалов: пара промышленных материалов – никель полуфабрикатный НП2 и медь М1, используемых для изготовления электродов, и пара модельных материалов – медь М1 и алюминий технический АД1, применяемых для физического моделирования. Обе пары материалов имели примерно одинаковое соотношение реологических свойств, что обеспечивало при подборе соответственных граничных условий идентичность полей деформаций обеих заготовок при деформировании.

В основе аналитического решения задач лежат положения и опытные данные из ОМД и теплотехники. Для численного решения задачи о пластическом формоизменении оболочки БМ прутка была использована программа Deform 2D. Экспериментальные работы по холодному прямому выдавливанию выполнялась с применением специально изготовленного штампа, устанавливаемого на разрывной машине 2167-Р50. Геометрические параметры оболочки БМ прутков измерялись с помощью инструментального микроскопа ИМЦ150×150 и оптического микроскопа НЕОФОТ-32. Для экспериментального определения теплопроводности БМ прутка применялся способ, основанный на измерении полного электрического сопротивления БМ прутка с последующим расчётом теплопроводности прутка по закону Видемана-Франца-Лоренца.

В третьей главе приводится решение задачи по определению коэффициента теплопроводности БМ центрального электрода свечи зажигания ДВС. Для аналитического решения поставленной задачи использовался известный из теплотехники способ решения задачи о прохождении теплового потока через многослойную стенку. Для этого электрод был условно разбит на три поперечных слоя толщиной b , l и l_1 , отличающихся между собой характером относительного расположения материалов оболочки и сердечника (рис. 1.).

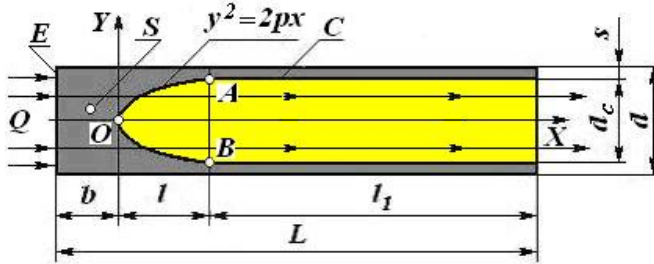


Рис. 1. Продольное сечения биметаллического электрода: L – длина электрода; d – диаметр электрода; d_c – диаметр сердечника; b , l , и l_1 – длины участков электрода с различным соотношением объёмов оболочки и сердечника; s – толщина оболочки; Q – тепловой поток; E – передняя торцевая (рабочая) поверхность электрода; S – никелевая оболочка; C – медный сердечник; AOB – криволинейная часть границы раздела оболочки и сердечника, описываемая каноническим уравнением параболы $y^2 = 2px$

Решение задачи позволило найти искомое выражение для определения коэффициента теплопроводности БМ электрода свечи зажигания ДВС:

$$\lambda = L \left\{ \frac{b}{\lambda_s} + \left(\frac{d}{d_c} \right)^2 \frac{l}{(\lambda_c - \lambda_s)} \times \ln \left[1 + \left(\frac{d_c}{d} \right)^2 \left(\frac{\lambda_c}{\lambda_s} - 1 \right) \right] + \frac{l_1}{(d_c/d)^2 (\lambda_c - \lambda_s) + \lambda_s} \right\}^{-1}. \quad (1)$$

Проведённые экспериментальные работы по определению коэффициента теплопроводности БМ электрода показали на удовлетворительную сходимость теоретических и экспериментальных данных. График изменения теплопроводности БМ электрода в зависимости от относительного объёма его оболочки показан на рис. 2. Полученная аналитическая зависимость (1) позволила также установить, что при следующих относительных размерах оболочки БМ электрода: $b/d = 1,40$; $l/d = 3,32$; $l_1/d = 6,48$ и $s/d = 0,14$, – его теплопроводность становится величиной постоянной (независимой от температуры) во всём температурном интервале работоспособности свечи зажигания (400...900° С) (рис. 3.), что обеспечивает повышение стабильности калийного числа свечи зажигания.

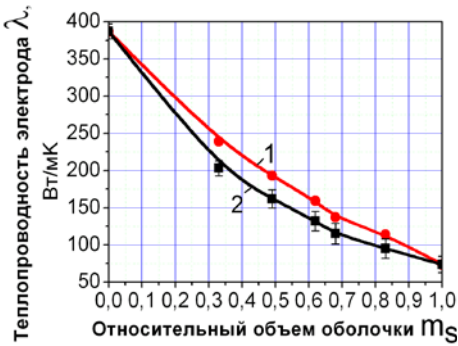


Рис. 2. Влияние относительного объёма оболочки медно-никелевого электрода на его теплопроводность: 1 и 2 – соответственно теоретическая и экспериментальная кривые

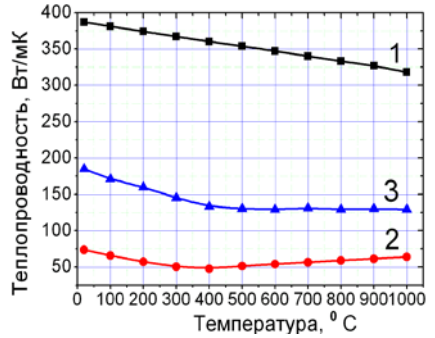


Рис. 3. Влияние температуры на изменение теплопроводности меди М1 (1), никеля НП2 (2) и медно-никелевого электрода (3) с размерами оболочки (в мм): $d=2,5$; $L=28$; $b=3,5$; $l=8,3$; $l_j=16,2$; $s=0,35$

В четвёртой главе выполнено теоретическое исследование пластического формоизменения оболочки БМ прутков при холодном прямом выдавливании. Для этого были использованы два метода исследования: аналитический и численный, которые взаимно дополняли друг друга.

Пластическое формоизменение оболочки БМ прутков оценивалось тремя параметрами: изменением толщины b торцевой оболочки прутка, изменением длины l боковой оболочки прутка с переменной толщиной стенки (или изменением кривизны K линии раздела слоёв в прутке) и изменением толщины s боковой оболочки прутка с постоянной толщиной стенки (см. рис. 1.). Изменение этих параметров изучалось на различных стадиях процесса прямого выдавливания в зависимости от изменения следующих технологических факторов деформирования: высоты h нижнего слоя заготовки, коэффициента вытяжки μ , угла 2α при вершине конуса матрицы и величины внешнего контактного трения (показателя трения по Зибелю f_z). Известно, что из перечисленных факторов деформирования наибольшее влияние на формирование проектных размеров готового изделия оказывают размеры исходной заготовки. Поэтому в качестве значимых (наиболее действенных) факторов в работе были приняты высота h нижнего слоя исходной заготовки и коэффициент вытяжки μ , являющийся производным параметром от диаметра D исходной заготовки ($\mu = D^2/d^2$).

Аналитическое исследование выполнено для условий деформирования, при которых линия раздела слоёв в продольном сечении БМ прутка описывается каноническим уравнением параболы $y^2 = 2px$. При исследовании были использованы абстрактное положение о равномерной деформации и принцип совмещения графиков кривых, характеризующих идеальное и реальное

поведение обрабатываемого материала. Такой подход позволил установить основные закономерности изучаемого процесса.

На рис. 4. показан совмещённый график пластического формоизменения нижнего слоя абстрактного прутка и пластического формоизменения торцевой оболочки реального прутка в зависимости от изменения высоты h нижнего слоя заготовки при фиксированных значениях коэффициента вытяжки μ , угла 2α при вершине конуса матрицы и показателя трения f_z . Прямая OF представляет собой график пластического формоизменения нижнего слоя абстрактного прутка, полученного в условиях равномерной деформации, а кривая $OCNF$ – график пластического формоизменения торцевой оболочки реального прутка.

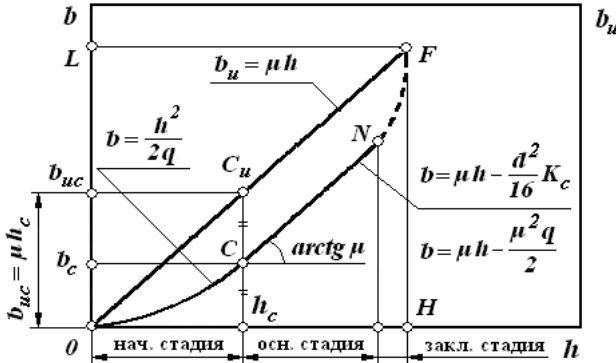


Рис. 4. Совмещённый график пластического формоизменения нижнего слоя абстрактного прутка (кривая OF) и пластического формоизменения торцевой оболочки реального прутка (кривая $OCNF$)

Совмещённый график позволил найти функциональные зависимости, описывающие характер пластического формоизменения торцевой и боковой оболочки прутка на начальной и основной стадиях процесса прямого выдавливания. Для удобства исследований геометрические параметры в этих зависимостях выражались затем через относительные величины: h/D , b/d и l/d .

Начальная стадия:

$$\frac{b}{d} = \frac{\sqrt{\mu D}}{2q} \left(\frac{h}{D} \right)^2, \quad (4)$$

$$\frac{l}{d} = -\frac{\sqrt{\mu D}}{q} \left(\frac{h}{D} - \frac{\mu q}{D} \right)^2 + \frac{\mu^2 q \sqrt{\mu}}{D}. \quad (5)$$

Основная стадия:

$$\frac{b}{d} = \mu \sqrt{\mu} \left(\frac{h}{D} \right) - \frac{\mu^2 q \sqrt{\mu}}{2D}, \quad (6)$$

$$\frac{l}{d} = const = \frac{l_c}{d} = \frac{\mu^2 q \sqrt{\mu}}{D}. \quad (7)$$

На начальной стадии выдавливания формоизменение торцевой и боковой оболочек прутка описывается параболическими функциями (4) и (5), на основной – линейными (6) и (7).

На основе совмещённого графика был разработан экспериментально-расчётный способ определения параметра q для построения кривых пластического формоизменения торцевой и боковой оболочек прутка. Эти кривые удобно представить в виде единого графика (модели) (рис. 5.), характеризующего формоизменение оболочки прутка в целом при фиксированном значении коэффициента вытяжки μ и различных значениях факторов 2α или f_z . Анализ этого графика показывает, что при одном и том же значении h/D можно получить различные значения b/d или l/d при различных значениях технологических факторов деформирования. И наоборот, одно и то же значение b/d или l/d можно получить при различных значениях h/D и различных значениях технологических факторов деформирования.

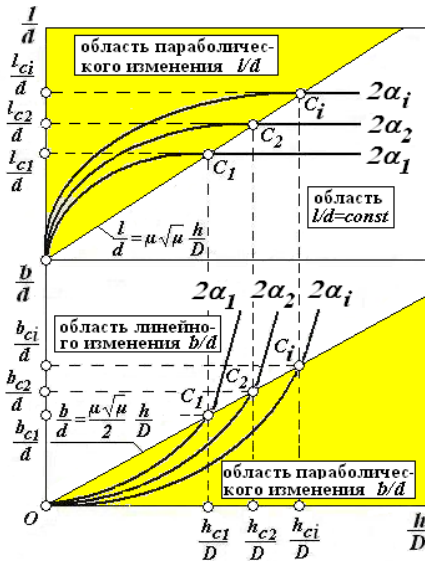


Рис. 5. График (модель) пластического формоизменения оболочки биметаллического прутка при фиксированном значении вытяжки μ и нескольких значениях технологического фактора деформирования 2α

В главе рассмотрено пластическое формоизменение БМ прутков, полученных холодным прямым выдавливанием из заготовок с продольно-поперечной слоистостью. Показано, что закономерности пластического формоизменения поперечного слоя заготовки с продольно-поперечной слоистостью аналогичны закономерностям пластического формоизменения нижнего слоя заготовки с поперечной слоистостью.

Поперечные размеры полученного БМ прутка определяются, исходя из правила пропорционального изменения поперечных размеров БМ заготовки при устойчивом процессе прямого выдавливания:

$$\frac{D}{d} = \frac{D_0}{d_0} = \frac{S_0}{s} = \sqrt{\mu}. \quad (8)$$

Численное исследование влияния технологических факторов деформирования h , μ , 2α и f_z на пластическое формоизменение оболочки БМ прутка проводили с исполь-

зованием системы моделирования Deform 2D. Выбор указанной системы обоснован тем, что решаемая задача является осесимметричной. Математические модели материалов задавались в виде кривых упрочнения $\sigma = \sigma(\epsilon)$. Для инструмента применялась модель абсолютно жёсткого тела. Показатель межслойного трения f_{MC} во всех случаях принимался равным 1, так как в условиях полной равномерной СПДРМ скольжение контактирующих слоёв друг относительно друга отсутствует.

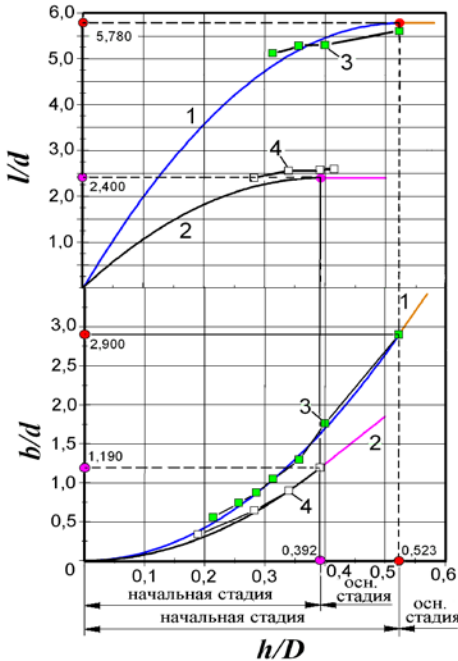


Рис. 6. График пластического формоизменения оболочки биметаллического прутка: 1 и 3 – соответственно аналитическая и «численная» кривые, построенные для случая $\mu = 4,97$; 2 и 4 – соответственно аналитическая и «численная» кривые, построенные для случая $\mu = 3,34$

увеличивается. С увеличением коэффициента вытяжки μ размеры l/d и b/d прутка также увеличиваются, причём, с увеличением μ возрастает скорость увеличения этих размеров (рис. 6.).

Исследования проводили с модельными медно-алюминиевыми заготовками, нижний слой которых был выполнен из меди М1, а верхний – из алюминия АД1.

Исследование влияния *относительной высоты h/D нижнего слоя заготовки* на формоизменение оболочки БМ прутка показало, что с увеличением относительной высоты h/D оба размера оболочки прутка b/d и l/d также увеличиваются (рис. 6.).

На рис. 6. показаны аналитические кривые 1 и 2, а также кривые 3 и 4, построенные численным моделированием. Видно, что они незначительно отличаются друг от друга (расхождение координат составляет от 3,2 до 20,1%), что подтверждает адекватность разработанной аналитической модели исследования.

Исследование влияния *коэффициента вытяжки μ* на формоизменение оболочки биметаллического прутка показало, что коэффициент вытяжки μ определяет кривизну K линии раздела слоёв в прутке. При увеличении коэффициента вытяжки μ кривизна K

Исследование влияния *угла 2α при вершине конуса матрицы* на пластическое формоизменение оболочки прутка позволило установить, что при $2\alpha = 90^\circ \dots 120^\circ$ ($f_z = 0,10 \dots 0,20$, матрица – коническая) линия раздела слоёв в прутке представляет собой параболическую кривую с выходом концов этой линии на боковую поверхность прутка. При увеличении 2α до $130^\circ \dots 150^\circ$ характер формоизменения оболочки прутка существенно изменяется. На расстоянии μh (равном произведению коэффициента вытяжки μ на высоту h нижнего слоя заготовки) от переднего торца прутка формируется боковая оболочка прутка с равномерной толщиной стенки s , равной $0,065 \dots 0,080$ от диаметра прутка (рис. 7. а). При этом в очаге деформации возникает зона затруднённой деформации (ЗЗД) (рис. 7. б).

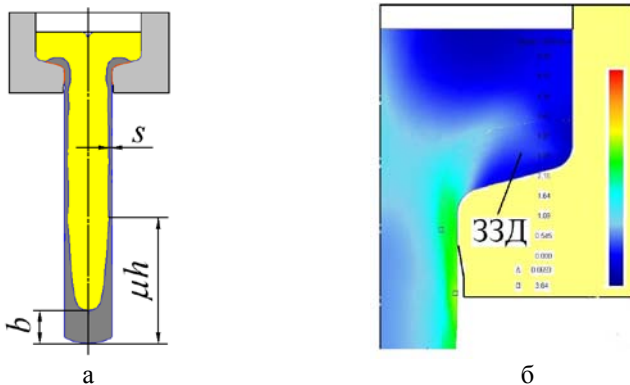


Рис. 7. Формоизменение оболочки медно-алюминиевого прутка при холодном прямом выдавливании (а) и соответствующее ему распределение интенсивности деформаций в очаге деформации (б) при $2\alpha = 150^\circ$ ($f_z = 0,12$; $D = 7,0$ мм; $d = 3,14$ мм; $\mu = 4,97$; $h = 1,8$ мм; $h/D = 0,257$; $b = 2,17$ мм; $b/d = 0,69$; $s = 0,20$ мм)

Аналогичные картины пластического формоизменения оболочки БМ прутка имеют место при увеличении *внешнего контактного трения* до $f_z = 0,25 \dots 0,35$ ($2\alpha = 60^\circ \dots 120^\circ$, матрица – коническая) и при изменении *профиля канала матрицы* (применение вместо конической матрицы плоскоконической с шириной t плоского кольцевого пояса матрицы от $0,03$ до $0,09$ от диаметра контейнера матрицы при соблюдении условий: $f_z = 0,10 \dots 0,20$, $2\alpha = 60^\circ \dots 120^\circ$).

В обоих указанных случаях, как и при больших углах 2α , в очаге деформации возникает ЗЗД (по аналогии с рис. 7. б), которая приводит к формированию на расстоянии μh от переднего торца прутка боковой оболочки с равномерной толщиной стенки.

Пятая глава посвящена экспериментальным исследованиям, проведённым с целью подтверждения полученных в работе теоретических результатов. Для экспериментов применялись заготовки с поперечной слоистостью из

модельных материалов М1 и АД1 и заготовки с продольно-поперечной слоистостью из промышленных материалов НП2 и М1. Эксперименты проводились с применением специально разработанного штампа для холодного прямого выдавливания, который устанавливался на разрывной машине 2167-Р50.

Выполнялись эксперименты следующим образом.

Сначала при заданных условиях деформирования проводили натуральный эксперимент по холодному прямому выдавливанию БМ прутков и определяли максимальную силу выдавливания P_{max} . Затем при тех же условиях деформирования выполняли численное моделирование этого процесса, задавая показателю трения f_z ряд значений, одно из которых давало такую же максимальную силу выдавливания, как и в натурном эксперименте. Полученную при этом картину пластического формоизменения виртуального прутка сравнивали с картиной формоизменения реального прутка.

Сравнительный анализ геометрических параметров прутков показал, что расхождения размеров b , l и s реального и виртуального прутков лежат в пределах 15...27%, что позволяет судить об адекватности результатов, полученных численным моделированием.

Полученные в работе теоретические и эмпирические результаты, а также результаты анализа научно-технической литературы позволили разработать алгоритм проектирования БМ электродов свечей зажигания ДВС с заданной величиной теплопроводности. Цель алгоритма состоит в определении совокупности технологических факторов деформирования h , μ , 2α и f_z , которые обеспечивают получение требуемого калильного числа (КЧ) свечи. Принцип работы алгоритма заключается в следующем:

1. Исходя из заданной величины калильного числа свечи, находится соответствующая ему величина теплопроводности λ центрального электрода по представленному в работе графику $КЧ=f(\lambda)$.

2. По найденному значению теплопроводности λ электрода определяется относительный объём m_s оболочки электрода на основании полученного в работе графика $\lambda = \lambda(m_s)$.

3. После определения относительного объёма m_s оболочки определяется абсолютный объём V_s оболочки.

4. Далее определяются абсолютные размеры b , l , L и s оболочки и затем относительные её размеры b/d , l/d , l_1/d и s/d .

5. Затем по графику пластического формоизменения оболочки БМ электрода, а также с учётом результатов численного моделирования этого процесса, определяются искомые технологические факторы h , μ , 2α и f_z , которые обеспечивают получение найденных в п. 4 размеров оболочки электрода, а, следовательно, и требуемого значения КЧ свечи.

В шестой главе представлен разработанный и внедрённый в производство технологический процесс изготовления центральных медно-никелевых электродов свечей зажигания ДВС с заданной величиной теплопроводности. Технология позволяет получать различные типоразмеры электродов, отличающихся габаритными размерами и формой головной части.

Для изготовления электродов используются заготовки с продольно-поперечной слоистостью, обеспечивающие, в отличие от заготовок с поперечной слоистостью, получение практически любых размеров оболочки БМ электрода и широкий спектр его теплофизических свойств. Технологический процесс изготовления биметаллических электродов реализуется на двух автоматических роторных линиях (АРЛ): линии изготовления заготовки электрода «стакан» (ЛС-200) и линии изготовления собственно электрода (ЛЭ-200). Схема технологического процесса изготовления электродов на комплексе АРЛ показана на рис. 8.

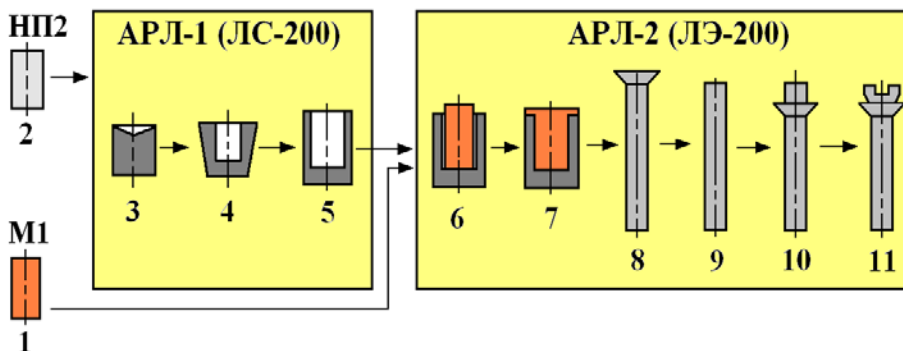


Рис. 8. Схема технологического процесса холодной объёмной штамповки медно-никелевых электродов свечей зажигания ДВС на комплексе АРЛ

Технологический процесс изготовления медно-никелевых электродов свечей зажигания ДВС состоит из следующих операций (см. рис. 8):

1. Отрезка медной заготовки от проволоки на холодно-высадочном автомате АБ-0216;
2. Отрезка никелевой заготовки от проволоки на автомате рубки АР-400.

АРЛ-1 (линия стакана ЛС-200, операции 3 – 5):

3. Калибровка никелевой заготовки;
4. Обратное выдавливание с раздачей (получение поковки в виде конического стакана);
5. Вытяжка с утонением (получение поковки в виде цилиндрического стакана).

АРЛ-2 (линия электрода ЛЭ-200, операции 6 – 11):

6. Установка медного сердечника в никелевый стакан;
7. Запрессовка медного сердечника в никелевый стакан;
8. Холодное прямое выдавливание составной заготовки (условия деформирования: $H = 8,5 \dots 9,0$ мм; $D = 5,15_{-0,03}$; $D_K = 5,30^{+0,02}$; $d_{II} = 2,45^{+0,01}$; $\mu = 4,68$; $2\alpha = 90 \pm 1^\circ$; скорость деформирования $v_d = 4500$ мм/мин; температура – комнатная; технологическая смазка – Росойл -101);

9. Отрезка пресс-остатка;
10. Высадка головной части электрода;
11. Формовка головной части электрода.

Операции промывки, сушки и разупрочняющей термической обработки выполняются вне линий.

В приложении приведены акты внедрения разработанного технологического процесса изготовления биметаллических электродов с расчётом экономической эффективности, акт использования изобретения и протоколы ходовых и стендовых испытаний свечей зажигания с центральными биметаллическими электродами, изготовленными по разработанной технологии.

Основные выводы и результаты работы

1. Получена аналитическая модель, отражающая характер пластического формоизменения торцевой и боковой оболочки БМ прутка на начальной и основной стадиях процесса холодного прямого выдавливания при действии различных технологических факторов деформирования.

2. Определены условия деформирования, при которых происходит формирование равномерной по длине толщины боковой оболочки прутков, полученных из заготовок с поперечной и продольно-поперечной слоистостью.

3. Поставлена и решена задача о влиянии формы и размеров оболочки БМ электрода на его теплопроводность. Решение показало, что за счёт изменения формы и размеров оболочки электрода его теплопроводность может изменяться более чем в два раза. Также установлено, что при относительных размерах оболочки БМ электрода $b/d = 1,40$; $l/d = 3,32$; $l_1/d = 6,48$ и $s/d = 0,14$ его теплопроводность становится величиной постоянной (независимой от температуры) во всём температурном интервале (400...900°C) работоспособности свечи зажигания, что существенным образом повышает стабильность тепловой характеристики свечи.

4. Разработан технологический процесс холодной объёмной штамповки центральных медно-никелевых электродов свечей зажигания ДВС с заданной теплопроводностью. Технологический процесс защищён патентами РФ.

5. На основе разработанной технологии в ОКТБ «Ротор» (г. Тула) изготовлен и запущен в эксплуатацию комплекс АРЛ с производительностью 200 шт/мин, обеспечивающий годовую программу выпуска электродов в количестве 8...10 млн. штук. Электроды поставляются на ОАО «Завод автотракторных запальных свечей» (ОАО ЗАЭС, г. Энгельс) и Уфимский завод электротехнических изделий (УЗЭТИ, г. Уфа). Изготовленные на заводах свечи поставляются на конвейер ОАО АвтоВАЗ и на внутренний рынок.

6. В ОАО АвтоВАЗ и в ОАО ЗАЭС проведены ходовые и стендовые испытания свечей зажигания с электродами, изготовленными по разработанной технологии. Получены следующие результаты:

– износ электродов в среднем составляет 0,006...0,008 мм на 1000 км пробега, что значительно превосходит требования ТУ (не более 0,015мм) и аналогичные показатели свечей зажигания Bosch и Bosna;

– величина отклонений калильных чисел от номинального значения составляет не более $\pm 5\%$, вместо $\pm 10\%$ по ТУ, что говорит о значительном повышении уровня стабильности тепловых характеристик свечей;

– замена в свече зажигания монометаллического электрода биметаллическим повышает калильное число свечи на 3...7 единиц (в зависимости от величины теплопроводности электрода).

Основное содержание диссертации опубликовано в следующих работах:

1. Медведев Е.Б. Пат. 2029425 РФ, МКИ5 H01T 21/02. Биметаллическая заготовка центрального электрода искровой свечи зажигания / Н.П. Барыкин, Е.Б. Медведев, С.Ю. Рябинин.– №4865153; Заявлено 10.09.90; Опубл. 20.02.95. – 4 с.

2. Медведев Е.Б. Технологический процесс штамповки биметаллического центрального электрода искровой свечи зажигания ДВС / Н.П.Барыкин, Е.Б.Медведев, С.Ю. Рябинин // Кузнечно-штамповочное производство. М. – 1992. – № 1. – С. 4 – 6.

3. Медведев Е.Б. Пат. 2091943 РФ, МКИ5 H01T 21/02. Способ изготовления биметаллического центрального электрода искровой свечи зажигания двигателя внутреннего сгорания / Е.Б. Медведев, С.Ю. Рябинин. – № 93004594; Заявлено 23.09.93; Опубл. 27.09.07. – 6 с.

4. Медведев Е.Б. Технология получения биметаллического центрального электрода искровой свечи зажигания ДВС / Е.Б. Медведев // Технология машиностроения. М. – 2003. – № 6. – С. 22 – 25. **(рецензируемое издание, рекомендованное ВАК).**

5. Медведев Е.Б. Особенности формоизменения оболочки биметаллического электрода свечи зажигания ДВС, полученного прямым выдавливанием из заготовки с поперечной слоистостью / Е.Б. Медведев, А.Н. Абрамов, А.Е. Медведев // Кузнечно-штамповочное производство. М. – 2008. – № 12. – С. 43 – 47. **(рецензируемое издание, рекомендованное ВАК).**

6. Медведев Е.Б. Определение эффективной теплопроводности биметаллического центрального электрода свечи зажигания ДВС / Е.Б. Медведев, Л.Ш. Шустер // Двигатели внутреннего сгорания // Всеукраинский научно-технический журнал. Харьков: НТУ «ХПИ». – 2009. – № 2. – С. 86 – 90.

7. Медведев Е.Б. Исследование и разработка роторной технологии изготовления свечей зажигания ДВС / Е.Б. Медведев, Л.Ш. Шустер, М.П. Барышников // Методы повышения технологических возможностей металлообрабатывающего оборудования с ЧПУ: Межвуз. сб. нуч. тр. – Уфа: Изд. Уфимск. гос. авиац. техн. ун-та. – 2010. – С. 75– 82.

8. Медведев Е.Б. Закономерности влияния зон затруднённой деформации на формоизменение биметаллических композиций при холодном прямом выдавливании / Е.Б. Медведев, М.П. Барышников // Вестник МГТУ им. Г.И. Носова. Магнитогорск: МГТУ. – 2010. – № 3. – С. 28-32. **(рецензируемое издание, рекомендованное ВАК).**