1564259

На правах рукописи

УДК 621.777.4

Карачабан Павел Николаевич

РАЗРАБОТКА НАУЧНО ОБОСНОВАННЫХ МЕТОДИК ПРОЕКТИРОВАНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ХОЛОДНОЙ ШТАМПОВКИ ВЫДАВЛИВАНИЕМ ДЕТАЛЕЙ ПЛАЗМОТРОНА

Специальность 05.03.05 - Процессы и машины обработки давлением

Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук

Москва - 1999

Работа выполнена в Московском государственном техническом университете им. Н.Э. Баумана на кафедре «Технологии обработки давлением».

Научный руководитель — профессор, к.т.н. Кондратенко В.Г.

Официальные оппоненты — профессор, д.т.н. Артес А.Э.
доцент, к.т.н. Толчинский М.С.

Ведущее предприятие — Производственно-научное объединение «Трубопроводы гидротранспорта»

Защита состоится «29» сентября 1999г. в часов на заседании диссертационного совета К.053.15.13 в Московском государственном техническом университете по адресу:
[illegible] Бауманская ул., д. 5.

[illegible]комиться в библиотеке [illegible]ого университета.

[illegible]

Шубин И.Н.

1564259

НТБ МГТУ им. Н.Э. Баумана
1564259
Карачабан П.Н. Разработка

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность работы. В современном машиностроении для получения осесимметричных деталей типа «стакан», имеющих сложную внутреннюю и наружную поверхности, все большее распространение получают методы холодной объемной штамповки. Данный тип деталей, в частности, используется в аппаратах воздушно-плазменной резки (плазмотронах). Плазмотроны применяются для резки металлов по заданной линии или объему.

Плазмотрон является устройством для создания и стабилизации сжатой электрической дуги прямого действия, горящей между электродом плазмотрона (катод) и обрабатываемым изделием (анод) в потоке плазмообразующего и стабилизирующего газа.

Наиболее быстро изнашиваемыми деталями в плазмотроне являются катод и сопло. Катод представляет собой медную осесимметричную деталь типа «стакан» с запрессованным в нее вставкой из гафния или циркония диаметром 1,5...2,5 *мм* и длиной до 5 *мм*. Сопло также является медной осесимметричной деталью (рис.1).

Основным производителем катодов и сопел, используемых в плазмотронах, до настоящего времени, был электромеханический завод в г. Степанаван (Армения), поэтому сейчас возник целый ряд проблем по налаживанию их производства на российских предприятиях.

Существующие в настоящее время технологические процессы производства катодов не обеспечивают надежного размещения гафниевой вставки в корпусе и включают в себя получение заготовки объемной штамповкой, последующую ее механообработку, сверление отверстия под гафниевый стержень и его запрессовку в корпус катода. Однако полученные по данной технологии катоды имеют малый рабочий ресурс и низкие эксплуатационные свойства, обусловленные низкой точностью изготовления, плохим качеством наружной и внутренней поверхности, большой массой, недостаточным качеством соединения по поверхности медь-гафний.

1564289

МГТУ
им. Н. Э. Баумана
БИБЛИОТЕКА

По имеющимся данным промышленной эксплуатации эти катоды выдерживают только около 20-30 включений, после чего наступает их полное разрушение, хотя по техническим условиям катоды с гафниевой вставкой должны выдерживать 250-300 включений. Сопло рекомендуется менять вместе с заменой катода. Поэтому также существует проблема повышения рабочего ресурса катода.

Вопросом повышения рабочего ресурса занимаются сейчас в институте электросварки им. Е.О.Патона (г. Киев). Одним из основных факторов влияющих на рабочий ресурс катода является качество контакта по поверхности медь-гафний. Для обеспечения лучшего соединения между медным корпусом и вставкой из гафния патоновцы используют диффузионную сварку в вакууме. По их данным полученные таким образом катоды должны выдерживать 300 включений, однако подтверждения этого промышленными испытаниями пока нет. Предложенный сотрудниками института способ является довольно дорогим, трудоемким и требующим наличия специального вакуумного оборудования.

В связи с этим возникает необходимость в разработке новых технологических процессов производства деталей катод и сопло, которые при малой себестоимости и трудоемкости обеспечивали высокие эксплуатационные показатели данных деталей, за счет обеспечения надежного соединения гафниевой вставки с корпусом катода методами ОМД.

Диссертация является продолжением научно-исследовательских работ, проводимых на кафедре «Технологии обработки давлением» (МТ-6), по теории и технологии холодной объемной штамповки.

Цель работы. Целью диссертационной работы является разработка и освоение технологических процессов холодного комбинированного выдавливания полых осесимметричных деталей из меди типа «катод» и «сопло», имеющих сложную внутреннюю и наружную поверхности и улучшение их эксплуатационных характеристик.

Методы исследований. Теоретические исследования процесса выдавливания выполнены с использованием методики теоретического

решения дифференциальных уравнений линий тока для жесткопластического тела.

Экспериментальные исследования проводились на гидравлической универсальной испытательной машине (УИМ-50), с усилием до 0,5 *МН*, позволяющей вести регистрацию усилия деформирования в зависимости от рабочего хода, и гидропрессе с номинальным усилием 1*МН* в лабораториях кафедр МГТУ им. Н.Э. Баумана.

Автор защищает:

-технологический процесс, основанный на изготовлении осесимметричных изделий из заготовки, предварительно собранной из разных материалов;

-методику теоретического решения дифференциальных уравнений, линий тока описывающих течение материала для осесимметричных процессов выдавливания, на основании которой определяются границы очага пластической деформации, линии тока, получаются зависимости для определения напряженно-деформированного и кинематического состояния по объему заготовки, путем согласования точных решений в зоне около оси симметрии и в периферийной зоне (стенка матрицы);

-теоретические зависимости, определяющие линии тока, напряженно-деформированное состояние в объеме заготовки для ряда процессов выдавливания при осевой симметрии;

Научная новизна.

В работе получены следующие, имеющие научную новизну, результаты:

1.Новый подход к решению задач по выдавливанию (прямому, обратному), основанный на разработке точных решений для отдельных зон заготовки с последующим их согласованием.

2.Теоретические зависимости, описывающие течение материала для технологических процессов выдавливания при осевой симметрии, позволяющие определить линии тока, границы очага пластической деформации, напряженно-деформированное состояние по объему деформированной заготовки, силовые параметры процесса выдавливания.

3. Теоретически и экспериментально обоснованный способ получения механического контакта двух различных металлов в процессе холодного комбинированного выдавливания детали.

4 Экспериментально установлено влияние геометрической формы и размеров заготовки на кинематику течения и силовой режим процесса выдавливания.

Практическая ценность и реализация результатов Практическая ценность заключается в разработке научно-обоснованных методик проектирования технологических процессов выдавливания при осевой симметрии, включающих расчет напряженного, кинематического состояния по объему заготовки, силовых параметров процесса, новых технологических процессов, обеспечивающих получение поковок высокого качества с повышенным ресурсом эксплуатации, минимальной последующей механообработкой и конструкции универсальной штамповой оснастки, позволяющей производить несколько типов деталей.

Изделия, изготовленные по предлагаемым технологическим процессам, прошли испытания на предприятии Удачнинского РССУ АК «АЛРОСА». В настоящее время рассматривается вопрос об организации их производства на ряде предприятий использующих детали данного типа: ООО НПП «Механобр-полимет» (г. Днепропетровск), ООО «Качество» (г. Запорожье), ПНО «Трубопроводы Гидротранспорта», ОАО «Элакс» (г.Зеленоград).

Апробация работы. Основные положения и материалы работы доложены и обсуждены на IV Научной сессии «Проблемы повышения эффективности технологических процессов в заготовительных производствах» (г. Москва, 1998), Всероссийской научно-технической конференции «Машиностроительные технологии» (г. Москва, 1998), научно-технических совещаниях предприятий, выступлениях на кафедре.

Публикации. Основное содержание диссертации изложено в пяти печатных работах.

Структура и объем диссертации. Диссертация состоит из введения, пяти глав, основных результатов и выводов, списка литературы и приложений. Работа выполнена на 197 страницах машинописного текста, содержит 90 рисунков, 11 таблиц, список литературы из 111 наименований.

КРАТКОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность работы, сформулированы основные положения, определяющие ее научную новизну.

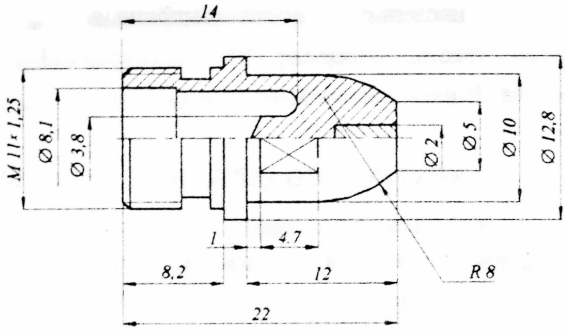
В первой главе проведен анализ литературных источников по изучаемому вопросу.

Рассмотрены различные технологические процессы изготовления деталей типа «стакан» (рис.1).

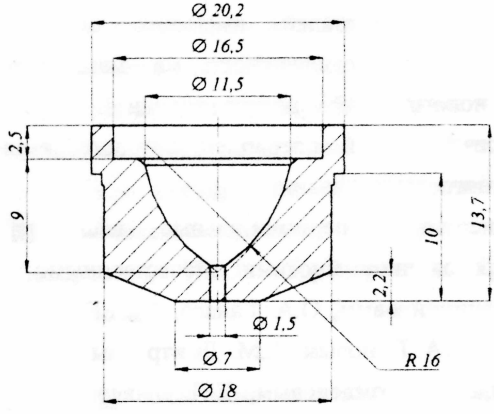
Для производства деталей имеющих сложную ступенчатую наружную и внутреннюю поверхность, в машиностроении широко используется технологический процесс холодной объемной штамповки, основной формоизменяющей операцией которого является сочетание прямого и обратного выдавливания.

Теоретические и экспериментальные исследования обратного выдавливания проводились многими отечественными и зарубежными учеными: А.Г. Овчинниковым, О.А. Ганаго, В.А.Головиным, И.П. Рене, М.В. Сторожевым, Е.А. Поповым, А.М. Дмитриевым, Ф.А.Мартиросяном, Л.Г. Степанским, А.Д. Томленовым, Е.П. Унксовым, Х. Кудо, Н.А. Шестаковым, В.М. Гришиным, М.С.Толчинским, Ю.А.Алюшиным и др.

Проанализированы методы снижения деформирующего усилия при холодном выдавливании. Выяснено, что на усилие деформирования и предельное формоизменение детали значительное влияние оказывает форма торца пуансона, скорость деформации, тип применяемой смазки, схема выдавливания. Данных, однозначно определяющих оптимальные факторы, влияющие на снижение деформирующего усилия, в литературе не найдено.



а)



б)

Рис.1. Детали плазмотрона: *а* - катод, *б* - сопло

Проведен обзор теоретических исследований процессов обратного и комбинированного выдавливания. Приведены расчетные схемы и краткие описания методов анализа. Отмечается, что в виду сложности процесса, форма очага пластической деформации и напряженно-деформированное состояние определялись с использованием упрощений и допущений, снижающих достоверность расчетных зависимостей.

В конце главы сформулированы цели и задачи диссертационной работы.

Во второй главе описана методика расчета напряженного, кинематического и деформированного состояния заготовки для процессов осесимметричного выдавливания и сформулированы цели проведения экспериментальных исследований.

Для определения компонентов пластической деформации использовалась методика решения дифференциальных уравнений линий тока, позволяющая найти данные параметры в условиях осесимметричного деформирования.

В качестве модели деформируемого материала приняли идеальное изотропное жесткопластическое тело, т.е. такое у которого напряжение текучести постоянно и не зависит от степени деформации.

В данной диссертационной работе приводится построение решений, математически точно удовлетворяющих дифференциальным уравнениям, описывающим течение жесткопластического тела с условием пластичности Мизеса.

Учитывая сложность задачи, для получения замкнутых решений некоторые упрощения неизбежны. Эти упрощения приемлемы для определенного участка пластической зоны, в то время как для других участков они не действительны, и необходимо принимать другие допущения. В результате получить единое решение для всей пластической зоны в настоящее время невозможно.

Основными уравнениями, которые будут использоваться в процессе решения поставленной задачи являются:

1. Уравнения равновесия.

2. Условие пластичности Мизеса.

3. Уравнения связи.

4. Условие несжимаемости.

5. Дифференциальное уравнение линий тока.

По предложенной методике определение кинематического и напряженного состояния деформируемой заготовки проводится в следующем порядке:

1.Очаг пластической деформации заготовки разделяется на области Сначала строятся два точных решения, описывающих течение в некоторой окрестности оси симметрии («приосевая» область) и решение в области близкой к контактной поверхности матрицы («пристеночная» зона). Эти решения содержат ряд произвольных постоянных, которые в дальнейшим определяются согласованием обоих найденных решений.

2.В каждой области задается поле скоростей течения частиц металла, удовлетворяющее условию несжимаемости и граничным условиям. В задаваемые выражения скоростей течения могут входить как конкретные зависимости, обоснованные экспериментально, так и функции общего вида, определяемые в процессе решения:

$$\begin{cases} V_r = V_r(a,r); \\ V_z = V_z(a,z). \end{cases} \qquad (1)$$

3. По выражениям (1) определяются компоненты скорости деформации, которые для осесимметричного напряженно-деформированного состояния в цилиндрических координатах имеют вид:

$$\varepsilon_r = \frac{\partial V_r}{\partial r}; \quad \varepsilon_\varphi = \frac{V_r}{r}; \quad \varepsilon_z = \frac{\partial V_z}{\partial z}; \quad \gamma_{rz} = \frac{\partial V_r}{\partial z} + \frac{\partial V_z}{\partial r}. \qquad (2)$$

4. В каждой области находится интенсивность скоростей деформации.

5. Вычисляя компоненты скоростей деформации по (2) и интенсивности скоростей деформации, подставляя в уравнения связи между напряжениями и скоростями деформации, получаем компоненты напряжения: σ_r, σ_φ, σ_z, τ_{rz}.

6. С учетом полученных соотношений преобразуем уравнения равновесия и находим величину среднего главного напряжения

(гидростатического давления) σ и конечный вид компонентов напряжения. Произвольные постоянные интегрирования находятся с помощью граничных условий.

7. По дифференциальному уравнению линий тока для каждой области, определяется конкретный вид семейства линий тока.

8. После определения всех зависимостей производится согласование решений из условия непрерывности и гладкости линий тока при переходе их из «приосевой» в «пристеночную» область. Из полученного общего решения определяются неизвестные постоянные.

9. Очаг пластической деформации, находится как область заключенная между граничными линиями тока.

Целью экспериментальных исследований, проводимых в настоящей работе, является установление влияния геометрических размеров на качество получаемых деталей, силу деформирования, что необходимо для выбора оборудования и расчета штамповой оснастки, действующих вокруг гафниевой вставки сдвиговых деформаций. Кроме того проверялась возможность получения деталей типа «катод» и «сопло» требуемого качества по предложенным технологическим процессам. Также в процессе эксперимента изучалась кинематики течения металла в процессе деформирования. Исследование картины течения проводилось на заготовках для деталей «катод» и «сопло», для заготовок «катод» применялась пошаговая подача рабочего инструмента.

Для решения поставленных задач на кафедре МТ-6 была разработана и изготовлена специализированная штамповая оснастка (рис.2), на которой возможно производить два типа изделий (катод и сопло), путем замены рабочего инструмента (пуансона и матрицы).

Штамп работает следующим образом: заготовку помещают в матрицу *1* и деформируют пуансоном *2*. По окончании рабочего хода деформирования ползун идет вверх, происходит размыкание штампа. Отштампованная деталь остается или на пуансоне и снимается с него при помощи съемника *3*, или в матрице, тогда при дальнейшем движении ползуна поступательное движение через болты *4* передается на опору *5* и выталкиватель *6*, посредством которого изделие извлекается из матрицы.

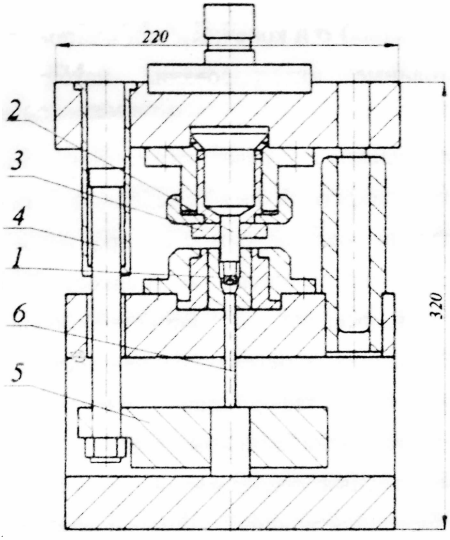


Рис.2. Схема штампа для производства катода и сопла

Основными направлениями проведенных в настоящей работе исследований являются:

1. Исследование возможности изготовления деталей катод и сопло по предложенным технологическим процессам.

2. Анализ основных видов брака, возникающего при выдавливании различных типоразмеров заготовок из алюминия, свинца, меди и поиск путей его устранения.

3. Определение силовых параметров процессов при выдавливании заготовок деталей «катод» и «сопло».

4. Исследование действующих касательных напряжений вокруг гафниевой вставки и оценка качества соединения между корпусом катода и стержнем после их совместной деформации.

5. Отработка технологического процесса выдавливания заготовок деталей «катод» и «сопло».

В третьей главе проведено экспериментальное исследование процесса деформирования заготовок деталей «катод» и «сопло».

Исследования комбинированного выдавливания деталей данного типа, со ступенчатой внешней и внутренней поверхностью, проводились на заготовках из алюминиевого сплава *АД1*, меди марки *М1* и свинца *С1*. Материалы использовались в состоянии поставки. Свинец и *АД1* использовались как моделирующие материалы.

Для выбора рациональной формы заготовки, позволяющей получить деталь «сопло», были предложены два типа образцов из меди *М1*: имеющих диаметр фланца (⌀ 20,2 *мм*) и стакана (⌀ 18 *мм*).

При деформировании заготовок первого типа на фланце готового изделия образовывался ярко выраженный дефект в виде зажима, который на части деталей приводил к сколу пояска по фланцу.

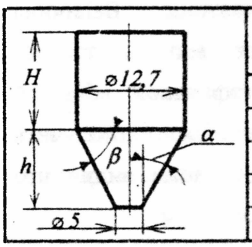
После исследования кинематических и силовых параметров процесса деформирования предложенных типов заготовок детали «сопло», было сделано заключение, что наиболее рациональными являются образцы, имеющие диаметр стакана. Они надежно размещаются в матрице, при их деформировании получаются качественные изделия.

Для выбора рациональных форм заготовок, из которых возможно получить изделие «катод», имеющее сложную ступенчатую форму наружной и внутренней поверхности (рис.1,*а*), требуемого качества, были проведены постановочные эксперименты на свинце.

В экспериментах использовались заготовки пяти различных форм: цилиндрические и с различными углами конусности (табл.1). Предполагалось, что с целью уменьшения отхода меди конусообразные образцы можно изготовить из цилиндрических методами ОМД.

Таблица 1

Размеры свинцовых заготовок



№ партии	α, град	β, град	H, мм	h, мм
1	90	0	12,3	0
2	50	40	10,6	3,2
3	40	50	9,9	4,6
4	20	70	6,8	10,6
5	10	80	1,2	21,8

В процессе исследований регистрировалось усилие деформирования в зависимости от рабочего хода инструмента, рассматривалась кинематика течения металла для различных типов заготовок и возникающие в процессе деформирования дефекты.

При деформировании конусных образцов с углами конусности β=70° и β=80° на изделии образовывался дефект в виде зажима по углу фланца.

При формоизменения образцов с углами конусности β=40° и β=50° на начальном этапе деформирования происходит заполнение угла фланца в дальнейшем процесс выдавливания протекает как у цилиндрических заготовок и проходит без зажимов.

Наиболее рациональной заготовкой являются цилиндрические образцы (партия №1, табл.1). Заготовка легко и надежно размещается в матрице, имеет простую в изготовлении форму, для получения детали из нее требуется наименьшая сила деформирования и при ее формоизменении не образуются дефекты.

Так же на свинцовых образцах выяснялась кинематика течения металла и действующие напряжения вокруг гафниевой вставки. Ряд экспериментов был проведен на алюминиевых и медных образцах.

Для изучения наличия во время деформации по поверхности медь-гафний касательных напряжений были подготовлены и проведены эксперименты с гафниевым стержнем, установленным не на всю длину. В результате исследований было определено, что гафниевая вставка в процессе деформации втягивалась в заготовку и тем самым подтверждено предположение о наличии по поверхности медь-гафний касательных напряжений, которые оказывают положительное влияние на качество изделия, обеспечивая гарантированный натяг в соединении корпус-вставка по *zб*, за счет чего повышается рабочий ресурс катода. Величина получающегося натяга определялась по усилию выпрессовки.

Совместная деформация медных заготовок с гафниевой вставкой показала, что по предложенной технологии возможно получить качественное изделие. По разрезанным вдоль оси образцам видно, что гафниевый стержень плотно охватывается медным корпусом.

В четвертой главе теоретический анализ напряженного, кинематического и деформированного состояния заготовки в условиях осесимметричного выдавливания выполнен по описанной в главе 2 методике решения дифференциальных уравнений линий тока.

Использование разработанной методики позволило получить картины кинематического течения (траектории перемещения частиц) материала, определить границы застойной зоны и форму очага пластической деформации, описать напряженно-деформированное состояние, скорость деформации любой точки в произвольный момент времени.

В процессе деформирования вначале протекает деформация элемента, требующего меньшей силы деформирования, что было подтверждено выполненными экспериментами по формоизменению различных типов заготовок. Было установлено, что при деформировании образцов присутствует обратное и прямое выдавливание.

Поэтому по разработанной методике был проведен анализ процессов обратного и прямого выдавливания. В процессе решения определялись поля напряжений, линии тока, форма очага пластической деформации и поля скоростей.

На основании полученных решений для конкретных процессов обратного и прямого выдавливания были получены графические зависимости, которые были сопоставлены с имеющимися экспериментальными и теоретическими зависимостями. Так погрешность при определении удельного усилия деформирования в сравнении с экспериментальными и литературными источниками составляет 9-25%

В пятой главе приведены основные результаты разработки технологических процессов и оборудования для производства деталей «катод» и «сопло».

При проектировании технологических процессов и штамповой оснастки учитывались технические условия, заявленные заказчиком.

К технологическому процессу заказчиком были предъявлены следующие требования: минимальное количество переходов, применение универсального кузнечно-прессового оборудования, простота

конструкции штампа. Последние два требования исключали использование противодавления, активных сил трения и других конструктивных схем, позволяющих оптимизировать технологический процесс и снизить величину удельного деформирующего усилия.

Также выдвигалось требование производить детали различных типоразмеров на унифицированной штамповой оснастке путем замены рабочих элементов - пуансонов, матриц и выталкивателей.

Поковки должны иметь минимальные напуски и припуски, удаляемые последующей механической обработкой (нарезка резьбы, фрезерование лысок под ключ), в соответствии с размерами представленными на чертежах заказчика.

Отладку штамповой оснастки и доводку технологического процесса произвести на оборудовании лаборатории кафедры МТ-6.

Для деталей «катод» и «сопло» приведены технологические процессы, чертежи заготовок, поковок и готовых деталей. Представлена конструкция универсальной штамповой оснастки, принцип ее работы и используемые в процессах материалы.

Установлено, что при изготовлении формообразующих деталей штампа по *7* квалитету с шероховатостью рабочих поверхностей $Ra=0,8$, обеспечивается точность размеров изделия не ниже *9* квалитета и $Ra=1,6$.

ВЫВОДЫ ПО РАБОТЕ

1. Проведенный анализ причин выхода из строя катодов и сопел плазмотронов отечественного и зарубежного производства показал, что основной причиной является нарушение контакта на границе корпуса катода и гафниевой (циркониевой) вставки, вызванного плохим качеством запрессовки стержня, температурными колебаниями на границе в начале и конце каждого цикла резки и выносом частиц из пограничного слоя. Поэтому для повышения стойкости катодов необходимо улучшить условия теплообмена на границе корпуса со вставкой и обеспечить гарантированный натяг в месте запрессовки вставки в корпус.

2. Для улучшения теплообмена была выбрана новая форма катода, которая позволила уменьшить массу катода до 65% и развить поверхность теплоотдачи за счет создания дополнительной внутренней цилиндрической поверхности. Для обеспечения лучшего контакта между вставкой и корпусом катода было предложено заменить запрессовку вставки из гафния в предварительно отштампованный и механически обработанный корпус на сборку корпуса и вставки в процессе штамповки выдавливанием.

3. Теоретически и экспериментально было показано, что в процессе штамповки на границе корпус-вставка кроме нормальных напряжений и деформаций возникают касательные напряжения и сдвигающие деформации, которые обеспечивают гарантированный натяг по *z6* (горяче-прессовая посадка) даже при установке вставки в корпус по посадке с гарантированным зазором (*H9/h9*). Кроме повышения стойкости катода такое изменение технологии значительно упрощает существующий технологический процесс за счет ликвидации запрессовки.

4. Разработанная методика теоретического анализа процессов прямого и обратного выдавливания позволяет определить напряженно-деформированное состояние по объему заготовки в процессе деформирования. Это позволяет определить величину касательных и нормальных напряжений на поверхности вставки и варьируя диаметром выбрать ее рациональные размеры.

5. Экспериментально была определена рациональная форма заготовки, которая удовлетворяет следующим условиям: отсутствие дефектов в штампуемых изделиях (зажимов в цилиндрических трубных элементах, получаемых обратным выдавливанием и сколов и утяжин во фланцевых частях деталей) и минимизация силы деформирования при выполнении первого условия. Такой подход гарантирует максимальную стойкость инструмента при штамповке в конкретной конструкции штампа.

6. Полученные теоретические зависимости по определению напряжений на контактных поверхностях штампа позволяет создать базу для расчета на прочность рабочих частей штампа.

7. Опробование изделий, изготовленных в результате разработок, предложенных в диссертации, в производственных условиях предприятия Удачнинского РССУ АК «АЛРОСА» показало, что рабочий ресурс изделий увеличился более чем в семь раз. Предприятия ООО «Качество», ООО НПП «Механобр-полимет», ОАО «Элакс» дали положительные заключения и рассматривают вопрос об опытно-промышленных испытаниях деталей в промышленных условиях и подготовке производства для освоения предложенного в работе способа штамповки.

Основное содержание диссертации опубликовано в следующих работах:

1. Карачабан П.Н. Новая технология штамповки деталей плазмотрона //Технология металлов. - 1998. - № 3. - С. 6-10.
2. Мартиросян Ф.А., Кондратенко В.Г., Карачабан П.Н. Анализ процесса обратного выдавливания // Машиностроительные технологии: Тез. докл. Всероссийской науч.-техн. конф. - М., 1998. - С. 125.
3. Карачабан П.Н. Разработка технологических процессов точной холодной штамповки комбинированным выдавливанием из меди // Машиностроительные технологии; Тез. докл. Всероссийской науч.-техн. конф. - М., 1998. - С.126-127.
4. Карачабан П.Н. Экспериментальное определение рациональных форм заготовок для штамповки катодов // Известия вузов. Машиностроение.- 1998. - № 10-12. - С. 117-122.
5. Мартиросян Ф.А., Кондратенко В.Г., Карачабан П.Н. Анализ процесса обратного выдавливания методом линий тока // Известия вузов. Машиностроение. - 1999. - № 2. - С. 77-83.

Подписано к печати 16.06.99г. Зак.100. Объем1.0п.л. Тир. 100
Типография МГТУ им. Н.Э.Баумана