

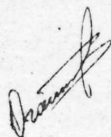
На правах рукописи

Огаджанян Олег Иванович

РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА И ОСНАТКИ ДЛЯ
ПРОИЗВОДСТВА НА УНИВЕРСАЛЬНЫХ ГИДРОПРЕССАХ КРУПНОГАБАРИТНЫХ
ДЕТАЛЕЙ ТИПА "СТАКАН" ИЗ ЖЕЛЕЗНЫХ ПОРОШКОВ

Специальность 05.03.05 - Процессы и машины обработки
давлением

А В Т О Р Е Ф Е Р А Т
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук



Москва - 1998

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

Научный руководитель:

член-корреспондент РАН,
доктор технических наук,
профессор А.М.Дмитриев

Официальные оппоненты:

доктор технических наук,
профессор В.А.Головин
кандидат технических наук,
профессор Н.А.Шестаков

Ведущее предприятие:

ГНПО "ТЕМП"

Защита состоится "22" *апреля* 1998 г. в 11⁰⁰ час.

на заседании экспертного совета К 053.15.13 в Московском университете имени Н.Э.Баумана по
кая улица, дом 5.

емпляре, заверенный печ

библиотеке МГТУ им.
7-09-63

1998 г.

И.Н.Шубин

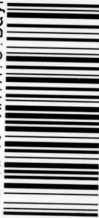
И.Н.Шубин

Зак. 39

Тир. 100 экз.

1557966

НТБ МГТУ им. Н.Э.Баумана



1557966

Оглавление 0. И. Разработка

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность. Решение задач, связанных с уменьшением материалоемкости изделий, увеличением коэффициента использования материала, повышением производительности труда, снижением энергосатрат в машино-, автомобиле-, тракторо-, и турбостроении, электротехнической и других отраслях промышленности, осуществляется путем применения методов порошковой металлургии.

Дальнейшее развитие порошковой металлургии связано с разработкой технологии производства изделий из порошковых материалов. В представленной работе содержатся результаты исследований по разработке технологического процесса формования крупногабаритных деталей типа "стакан" из железного порошка.

В настоящее время подобные детали изготавливают горячей объемной штамповкой с последующей обточкой на металлорежущих станках. Однако расширение применения этого способа изготовления подобных деталей нецелесообразно из-за большого отхода металла в стружку.

При производстве таких деталей из железных порошков способ холодной штамповки из предварительно спеченной заготовки неприемлем из-за очень больших удельных сил, действующих на инструмент.

Горячая штамповка (ДГП) позволяет снизить нагрузки на инструмент и получить высокоплотные изделия, однако при этом возникает проблема защиты заготовки от окисления.

В процессе холодного формования с последующим спеканием, свободном от отмеченных выше недостатков других процессов, получают детали с невысокими механическими характеристиками из-за большой остаточной пористости (12...15%). Несмотря на традиционные представления о наличии однозначной связи между силой формования и плотностью материала, практическая деятельность показывает, что увеличение первой приводит не к росту плотности, а к образованию перепрессовочных трещин в заготовке.

Процесс холодного формования со сдвигом частиц порошка друг относительно друга позволяет получать более плотные детали. Однако, для его применения необходимо создание специализированного оборудования. Поэтому этот процесс до настоящего времени не нашел широкого промышленного применения.

Следовательно, разработка технологического процесса формования порошковых деталей, обеспечивающего повышение плотности пс

сравнению с деталями, изготовленными традиционными процессами, на существующем универсальном оборудовании является новой актуальной задачей.

Работа выполнялась в соответствии с грантом на 1996-97 г.г. по проблеме "Машиностроение".

Цель и задачи работы. Целью работы является разработка технологического процесса и оснастки, обеспечивающих необходимое качество (равномерно по объему заданная плотность) при производстве деталей типа "Стакан" относительно крупных размеров (более 100 мм) из железного порошка на универсальных гидропрессах, разработка методики определения сил формования и выбора оборудования.

В соответствии с поставленной целью работы были решены следующие задачи.

1. Разработать способ изготовления деталей из железного порошка, обеспечивающий при холодном формовании в закрытых матрицах среднюю плотность не ниже 92% от плотности компактных деталей.

2. Разработать методику определения сил деформирования и выбора оборудования для осуществления процесса.

3. Разработать схему формования и конструкцию штампа.

4. Разработать устройство для создания дополнительного давления на дно формируемого стакана.

5. Отработать в лаборатории и опробовать в промышленных условиях предлагаемый технологический процесс и штамп для его осуществления.

Научная новизна работы состоит в перечисленном ниже.

Разработана научно - обоснованная методика расчета деформирующих сил, при которых обеспечивается заданная плотность, для схемы формования с активными силами трения. Определено соотношение сил формования порошковой заготовки, которые необходимо приложить к ее торцам и к принудительно перемещаемой матрице, с целью повышения плотности заготовки.

Автор защищает:

- способ изготовления на универсальном оборудовании деталей типа "Стакан" относительно крупных размеров, обеспечивающий благодаря формованию с применением активных сил контактного трения достаточно равномерное распределение плотности, величина которой

не менее 92% от плотности компактного материала,

- методику расчета сил формирования и выбора оборудования для осуществления разработанного технологического процесса,

- конструкцию штампа, позволяющего осуществить предлагаемый технологический процесс.

Достоверность результатов, полученных в ходе теоретических исследований, подтверждается удовлетворительным совпадением результатов, полученных на основе экспериментальных исследований и рассчитанных по теоретическим зависимостям. Достоверность результатов, полученных в ходе экспериментальных исследований, обеспечивается применением приборов, позволяющих достаточно точно фиксировать силу на любом этапе формирования.

Практическая ценность.

Разработанный технологический процесс позволяет изготавливать детали типа "Стакан" относительно крупных размеров из железного порошка на универсальном оборудовании методом холодного формирования с последующим спеканием. Предложенная методика определения сил формирования позволяет осуществить рациональный выбор оборудования и сконструировать штамп. Результаты исследований использованы при разработке технологического процесса для промышленного производства и проведении штамповки опытной партии деталей.

Апробация работы. Основные материалы диссертации были доложены на научных семинарах кафедры МТ-6 МГТУ им. Н.Э.Баумана, на Всероссийской научно-технической конференции "100-летие со дня рождения доктора технических наук М.В.Сторожева" (г.Москва, 1996 г.), международной научно-технической конференции "100 лет России: к 100-летию автомобилю" (г.Москва, 1996 г.).

Публикации. По материалам диссертации опубликованы 4 печатные работы.

Структура и объем работы. Диссертация изложена на 113 страницах машинописного текста, состоит из введения, пяти глав, общих выводов, списка литературы и приложения, содержит 47 рисунков, 16 таблиц, список литературы из 87 наименований.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность работы, сформулированы ее цель, научная новизна, практическая значимость и положения, выносимые на защиту.

В первой главе приводится обзор современного состояния и перспектив развития порошковой металлургии в нашей стране и за рубежом. Рассматриваются преимущества и недостатки различных способов формования, возможность их использования для изготовления деталей рассматриваемого типа. Приводятся результаты исследований, полученные М.Ю.Бальшиным, Г.М.Ждановичем, С.С.Кипарисовым, Г.А.Меерсоном, В.Е.Перельманом, И.Д.Радомысльским, А.Г.Овчинниковым, А.М.Дмитлевым, М.В.Широковым, М.А.Антошиным и другими учеными, из которых следует, что процесс холодного формования с использованием сил трения, способствующих инициированию интенсивных сдвигов в формируемом теле, позволяет изготавливать высокоплотные детали с хорошими механическими характеристиками. Однако, для его применения необходимо создание специального оборудования. Имеющиеся специализированные прессы не позволяют изготавливать крупногабаритные детали из-за малых высот штампового пространства и величин ходов ползуна.

В конце главы сформулированы цель и задачи исследований.

Во второй главе разработана методика определения силы формования, которая позволяет учесть долю сил трения в процессе формования и произвести выбор оборудования. Так как максимальная сила требуется на этапе пластического течения, когда уплотнение порошкового тела завершено и его объем изменяется незначительно, расчет силовых параметров производится для этого этапа формования. Процесс деформирования считали осесимметричным.

Очаг пластической деформации схематизировали областью, ограниченной дугами окружностей, как показано на рис. 1. Следуя рекомендациям Б.С.Азаренко, В.П.Бирюкова поле скоростей в очаге пластической деформации считали центральным по направлению к полюсу О. При этом абсолютные значения скоростей материальных частиц на равном удалении от полюса $R = \text{const}$ полагали одинаковыми. Тогда расход металла через торцовую поверхность $R = \text{const}$ определяется как произведение абсолютного значения скорости v на площадь этой поверхности. Указанную площадь определяли как для поверхности, полученной вращением кривой $\rho(z)$ вокруг оси z (рис. 1). Функцию $\rho(z)$ можно записать в виде уравнения окружности:

$$(\rho - r)^2 + z^2 = R^2 \Rightarrow \rho = r + \sqrt{R^2 - z^2} \quad (1)$$

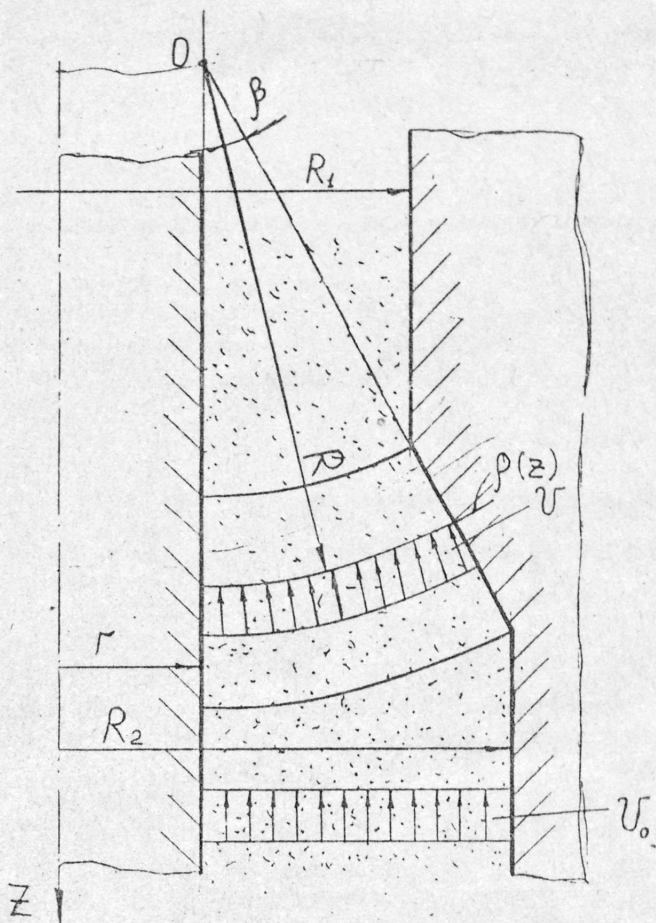


Рис. 1. Схема очага пластической деформации, ограниченного дугами окружностей

Площадь поверхности вращения определили в виде:

$$S = 2\pi \int \rho \sqrt{1 + \left[\frac{d\rho}{dz} \right]^2} dz \quad (2)$$

Используя ρ , выраженное из уравнения (1), получили выражение для производной $d\rho/dz$:

$$\frac{d\rho}{dz} = - \frac{z}{\sqrt{R^2 - z^2}} \quad (3)$$

Преобразовали подинтегральное выражение (2) с учетом (3):

$$\left[r + \sqrt{R^2 - z^2} \right] \sqrt{1 + \frac{z^2}{R^2 - z^2}} = R \left[\frac{r}{\sqrt{R^2 - z^2}} + 1 \right] \quad (4)$$

Проинтегрировав выражение (2) с учетом (4), получили:

$$S = 2\pi R \left[r\beta + R(1 - \cos\beta) \right] \quad (5)$$

Условие постоянства расхода металла:

$$vS = v_0 \pi (R_2^2 - r^2) \quad (6)$$

Отсюда абсолютное значение скорости:

$$v = v_0 \frac{\pi (R_2^2 - r^2)}{S}$$

Мощность пластической деформации определяли, принимая модель идеальнотекуче-пластического тела. Ее находили в виде интеграла:

$$W = \sigma_s \int_V \dot{\epsilon}_1 dV \quad (7)$$

где $\dot{\epsilon}_1$ — интенсивность скоростей деформации, V — объем очага пластической деформации.

Интенсивность скоростей деформаций находили через ее компоненты в цилиндрической системе координат ρ, z :

$$\dot{\varepsilon}_1 = \frac{\sqrt{2}}{3} \sqrt{(\dot{\varepsilon}_\rho - \dot{\varepsilon}_z)^2 + (\dot{\varepsilon}_z - \dot{\varepsilon}_\theta)^2 + (\dot{\varepsilon}_\theta - \dot{\varepsilon}_\rho)^2 + \frac{3}{2} \dot{\gamma}_{\rho z}^2}, \quad (8)$$

где

$$\dot{\varepsilon}_\rho = \frac{\partial v_\rho}{\partial \rho}; \quad \dot{\varepsilon}_z = \frac{\partial v_z}{\partial z}; \quad \dot{\varepsilon}_\theta = \frac{v_\rho}{\rho}; \quad \dot{\gamma}_{\rho z} = \frac{\partial v_z}{\partial \rho} + \frac{\partial v_\rho}{\partial z}. \quad (9)$$

Сечение очага пластической деформации было разбито на совокупность конечных, но достаточно малых площадей (ячеек), двумя семействами линий: дугами радиусом $R = \text{const}$ и лучами, проведенными из полюса и делящими рассматриваемое сечение в диапазоне величины угла β , как это показано на рис.2.

При этом, в соответствующем объеме, каждая ячейка представляет собой кольцо с радиальным сечением в виде четырехугольника. Вершины его обозначили 1,2,3,4, пронумеровав их против часовой стрелки для принятой системы координат ρ, z .

Интегрирования (7) осуществляли численно путем суммирования $\dot{\varepsilon}_1$ в малых объемах ΔV :

$$\int_V \dot{\varepsilon}_1 dV = \sum_{j=1}^M \sum_{k=1}^N (\dot{\varepsilon}_1 \Delta V)_{j,k}. \quad (10)$$

Частные производные от проекции вектора скорости в выражениях (9) определили, полагая их постоянными в пределах каждого конечного объема ΔV , воспользовавшись выражениями производных функции $F(x,y)$ через значения функции в узлах:

$$\left. \begin{aligned} \frac{\partial F}{\partial x} &= \frac{1}{2A} \left[\begin{bmatrix} F_2 - F_4 \\ y_3 - y_1 \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} y_2 - y_4 \\ F_3 - F_1 \end{bmatrix} \right], \\ \frac{\partial F}{\partial y} &= -\frac{1}{2A} \left[\begin{bmatrix} F_2 - F_4 \\ x_3 - x_1 \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} x_2 - x_4 \\ F_3 - F_1 \end{bmatrix} \right]. \end{aligned} \right\} \quad (11)$$

где A - площадь четырехугольника 1,2,3,4.

В нашем случае произвели замену координат x, y на z, ρ , а вместо функции F подставили v_ρ, v_z .

Мощность, расходуемую на сдвиг на границах очага пластической деформации, определили в виде следующего интеграла:

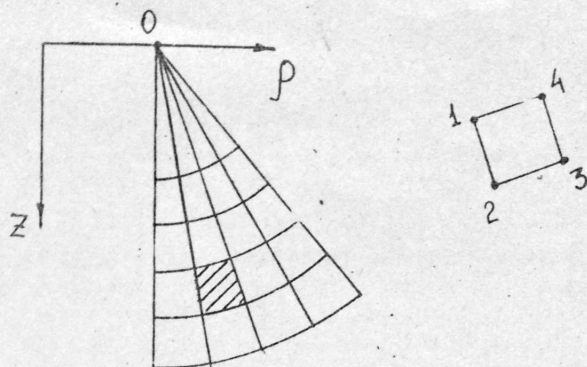


Рис. 2. Схема разбиения очага пластической деформации на конечные площади (ячейки)

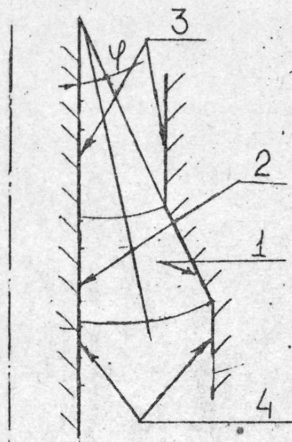


Рис. 3. Обозначение поверхностей трения в зонах:
 1, 2 - поверхности трения в очаге пластической деформации;
 3, 4 - поверхности трения в жестких зонах

$$W_{\text{СДВ}} = \int_S \frac{\sigma_s}{\sqrt{3}} \Delta v_{\tau} ds, \quad (I2)$$

где Δv_{τ} - разрыв скорости вдоль границы очага пластической деформации с жесткими зонами. При этом полагали, что в направлении, перпендикулярном границе, разрыв скорости отсутствует.

Выше мы приняли допущение о полярном характере течения металла в очаге пластической деформации. В жестких зонах имеет место перемещение металла с одинаковой скоростью, параллельной оси z . Поэтому считали, что разрыв скорости на границе очага пластической деформации равен проекции вектора скорости на ось ρ :

$$\Delta v = v_{\rho} = v \sin \varphi,$$

где φ - текущий угол, меняющийся от 0 до β (рис.3).

Тогда:

$$W_{\text{СДВ}} = \frac{\sigma_s}{\sqrt{3}} \int_S v \sin \varphi dS = \frac{\sigma_s}{\sqrt{3}} v \sum_{j=1}^{M-1} \sin \varphi_{j+1/2} \Delta S_{j+1/2}. \quad (I3)$$

Площадь поверхности, образованной вращением отрезка $j+1/2$ вокруг оси z , находили аналогично формуле (5), изменив лишь пределы интегрирования.

Определили мощность, расходуемую на трение формуемой заготовки об оснастку. Она состоит из мощности трения по границам очага пластической деформации и жестких зон (рис.3). Касательные напряжения, возникающие от действия сил трения полагали пропорциональными σ_s . Мощность трения в очаге пластической деформации можно представить в виде мощностей, расходуемых на преодоление сил трения по конической и цилиндрической поверхностям. Для каждой из поверхностей были выведены формулы для подсчета компоненты мощности сил трения, входящих в выражение:

$$W_{\text{тр.}} = \int_{S_K} \mu \sigma_s v dS_K, \quad (I4)$$

где μ - коэффициент трения; σ_s - сопротивление деформированию; v - скорость перемещения частиц заготовки относительно поверхности матрицы; S_K - площадь поверхности контакта.

На основании вышеизложенных теоретических выкладок была составлен алгоритм определения деформирующей силы по заданным размерам детали. Расчеты выполнялись на IBM PC 386. По результатам расчетов были получены теоретические зависимости силы формирования от коэффициента трения, высоты и толщины стенки детали. Установлено, что сила формирования увеличивается при увеличении коэффициента трения, высоты стенки над конусом и при уменьшении толщины стенки детали.

В третьей главе разработана конструкция опытного штампа, обеспечивающая движение формообразующих инструментов, которое позволяет прилагать нормальные и сдвигающие слои заготовки напряжения на универсальном оборудовании. Универсальное оборудование имеет два привода: ползуна и выталкивателя, применительно к нему штамповая оснастка показана на рис.4. Штмп состоит из пуансона верхнего I, обжимной матрицы 2, плавающей матрицы 3, набора из них пуансонов - втулок 4, иглы 5, обжимной матрицы 9, обжимной плавающей матрицы 10, системы рычагов (на шарнирах) II, технологических прокладок 12. Позиции 6, 7, 8 (рис.4) обозначают соответственно плиту ползуна, стол и шток цилиндра выталкивателя пресса.

Обжимная матрица 2 запрессована в обжим 9 и имеет перепад радиального размера у нижнего торца (угол конусности 20° , высота конического участка 20 мм). Плавающая матрица 3, внутренняя цилиндрическая полость которой имеет диаметр равный диаметру нижнего торца обжимной матрицы, запрессована в обжим 10. Наружный диаметр пуансонов - втулок 4 должен по посадке с зазором соответствовать внутреннему диаметру плавающей матрицы 3. Рабочие поверхности обжимной матрицы 2, пуансона I и одного пуансона - втулки 4 должны быть полированы.

Даны рекомендации по сборке штампа на прессе, обеспечению контроля в процессе формирования и извлечению готового изделия из штампа, являющиеся результатом накопленного опыта работы со штампом и обеспечивающие изготовление изделий требуемого качества.

В четвертой главе представлены результаты экспериментальных исследований.

Основной задачей исследования операции холодного формирования деталей типа "Стакан" являлось определение рациональной схемы

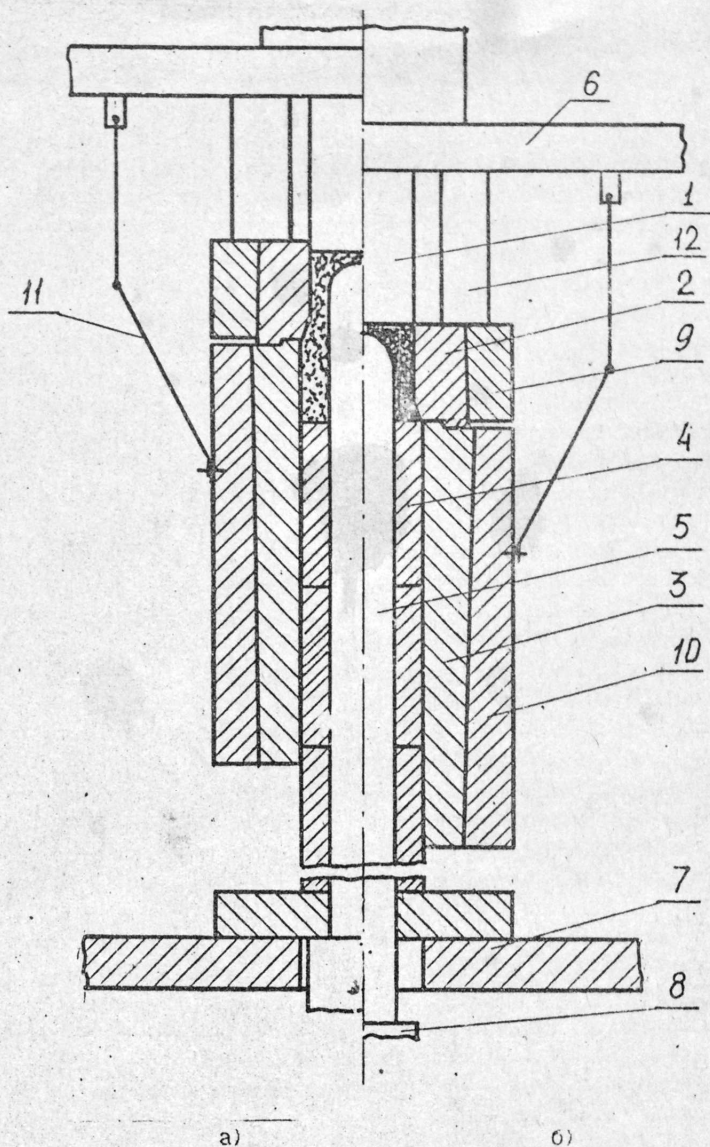


Рис.4 Схема штампа:

а - начало формования; б - окончание формования

приложения сил и перемещений инструмента при изготовлении деталей с равномерно распределенной по высоте плотностью, величина которой в стенке детали составляет 90% и более от теоретической плотности компактного материала.

Вначале, во избежание ввода в процесс формования дополнительных устройств для обеспечения противодействия при формовании детали, было решено опробовать схему с использованием имеющихся в прессе приводов (ползуна и выталкивателя). Проведенный дробный факторный эксперимент, в котором варьировали 5 факторами на 2-х уровнях: X_1 - марка формируемого порошка, X_2 - сила на первом этапе формования, Р₁, МН, X_3 - сила на втором этапе формования, Р₂, МН, X_4 - содержание стеарата цинка в шихте, %, X_5 - содержание меди в шихте, %, позволил получить модель зависимости качества изделия от варьируемых параметров:

$$Y = 11,43 + X_1 - 3,37 X_2 - 9,14 X_3 + 2,69 X_2 X_3 \quad (15).$$

Эксперименты показали, что у всех полученных деталей были расслоенные трещины, имеющие окружное направление. Анализируя поэтапно схему деформирования, пришли к заключению, что расслоенные трещины появлялись на втором этапе формования, когда предварительно сформованная силой Р₁ заготовка, подвергалась окончательному формованию обжимной матрицей 2. В это время происходит истечение материала из кармана плавающей матрицы 3 в кольцо между обжимной матрицей 2 и иглой 5. Ввиду того, что в этот момент сила Р₁ = 0, истечение материала в указанную кольцевую щель, сопровождаемое интенсивным сдвигом частиц порошка, приводило к разрушению заготовки. Тем самым была обоснована необходимость внедрения в схему формования дополнительного устройства, обеспечивающего противодействие на дно формируемого стакана (рис.5).

Постатная схема процесса формования с противодействием на дно детали представлена на рис.6.

Экспериментальная отработка вышеуказанной схемы процесса подтвердила возможность изготовления крупногабаритных и высокоплотных деталей типа "стакан" из железного порошка на универсальных гидропрессах. Построена математическая модель, позволяющая по заданным значениям величин сил на этапах формования рассчитывать плотность изготавливаемой детали. Модель имеет вид:

$$Y = 6,28 - 0,0025 X_1 - 0,8 X_3 + 0,01 X_4 - 0,04 X_5 + 0,4 X_2 X_3 \quad (16)$$

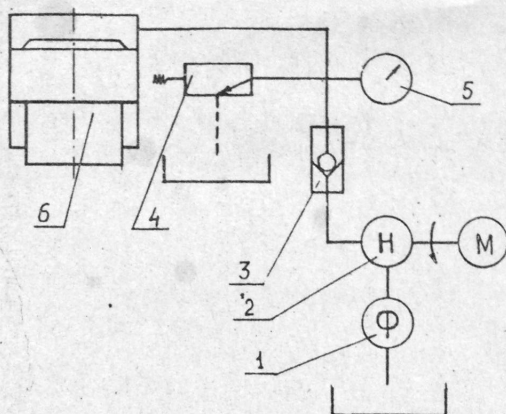


Рис.5. Гидросхема устройства обеспечения противодействия на дно стакана: 1 - фильтр; 2 - насос; 3 - обратный клапан; 4 - предохранительный клапан; 5 - манометр; 6 - гидроцилиндр

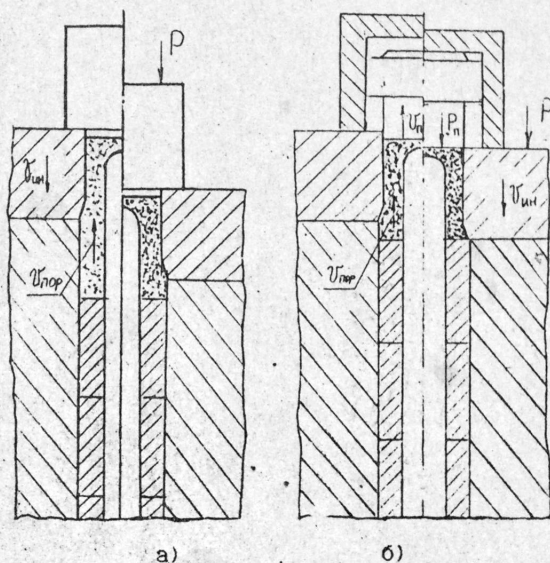


Рис.6. Этапы формирования: а - формирование в закрытой матрице; б - выдавливание с использованием активных сил контактного трения

Аналогично предыдущему эксперименту варьировали 5 факторами на 2-х уровнях. Независимыми факторами являлись: x_1 - марка формующего порошка, x_2 - сила на первом этапе формования, Р, МН, x_3 - сила противодействия на втором этапе формования, Р, МН, x_4 - содержание стеарата цинка в шихте, %, x_5 - содержание меди, %.

Анализ данной модели показал, что в рассмотренном диапазоне изменения факторов влиянием содержания в шихте смазки и легирующей железный порошок добавки на плотность деталей можно пренебречь, а наилучшее качество было получено при следующих значениях факторов: сила на первом этапе формования - 5 МН, сила противодействия на втором этапе формования - 0,8 МН.

Проведенные эксперименты по изготовлению высоких деталей типа "стакан" (H = 140 мм), подтвердили универсальность разработанной схемы процесса.

При формовании предложенным способом неравномерность распределения плотности по высоте стенки детали составляет не более 9% (рис.7).

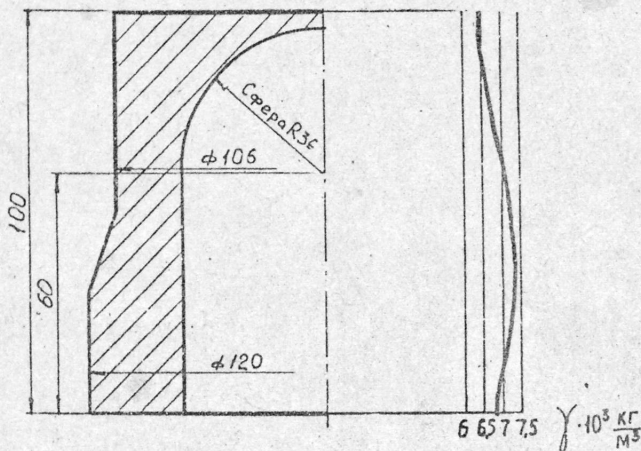


Рис.7. Распределение плотности по высоте стенки детали

Сравнение теоретических результатов с проведенными экспериментальными исследованиями показывает их удовлетворительную схо-

димость по деформирующей силе (в пределах 15%), что подтверждает возможность применения предложенной теоретической методики для анализа рассматриваемых операций.

В пятой главе разработан промышленный технологический процесс изготовления деталей "Отек" и "Каркас", в результате которого повышаются механические характеристики вышеуказанных деталей, а для детали "Каркас" производственный цикл сокращается на две операции. Рассчитанный экономический эффект составляет 15227 руб. в год за счет снижения затрат на электроэнергию, заработную плату, амортизационные отчисления и затрат на содержание и ремонт оборудования.

ОБЩИЕ ВЫВОДЫ

1. Разработанный способ изготовления на универсальном оборудовании качественных крупногабаритных деталей типа "Стакан" из железного порошка позволяет обеспечить достаточно большую (92,4% от плотности компактного материала) и равномерно распределенную по высоте стенки плотность деталей.

2. Конструкция разработанного и изготовленного штампа к универсальному гидропрессу обеспечивает интенсивные сдвиги в материале при формовании, что позволяет значительно повысить плотность изделия.

3. Выявлена необходимость обеспечения противодействия на дно детали в окончательной стадии формования, величина которого составляет 0,1...0,2 от общей силы формования детали. Для обеспечения противодействия с такой силой разработано специальное приспособление к универсальному оборудованию.

4. Разработанная методика определения деформирующей силы и составленная программа, позволяют при вводе размеров изделия рассчитать величину деформирующей силы, оценить долю сил трения в процессе формования и произвести выбор оборудования.

5. Проведенный теоретический анализ влияния изменения различных факторов (коэффициента трения, высоты и толщины стенки детали) на силу формования позволил установить, что последняя увеличивается при увеличении коэффициента трения, высоты стенки над конусом и при уменьшении толщины стенки детали.

6. Полученная на основе экспериментальных исследований с использованием теории планирования эксперимента математическая модель, позволила рассчитывать плотность изделия при различных

значениях сил на этапах формования. Установлено, что при штамповке на прессе силой 5 МН стакана с наружным диаметром 106 мм, внутренним диаметром 72 мм и высотой 100 мм из порошка марки ПЖРВ 3. 200.28 можно обеспечить среднюю плотность $7,24 \text{ кг/м}^3$, а при высоте стакана 140 мм - среднюю плотность $6,8 \text{ кг/м}^3$.

7. Установлено, что на качество изделия значительно влияет марка порошков, а влиянием смазки и легирующей добавки в рассматриваемых диапазонах их варьирования можно пренебречь.

8. В результате опробования технологического процесса формования изделий в лабораторных условиях на универсальном гидропрессе К 03032 силой 5 МН изготовлена опытная партия деталей.

9. Применение разработанного метода уплотнения порошка и конструкции штампа позволили изготовить формованием за один переход заготовки деталей "Отек" и "Каркас", обладающие заданной плотностью. Операция формования по разработанной схеме была включена в технологический процесс производства указанных деталей.

Основное содержание диссертации опубликовано в следующих работах:

1. Огаджанян О.И. Определение удельных сил формования деталей типа "Стакан" из железных порошков // Изв. вузов. Машиностроение. - 1995. - №10-12. - С.112-115.

2. Дмитриев А.М., Огаджанян О.И. Формование высокоплотных полых цилиндрических деталей из железного порошка на универсальных гидропрессах // Исследования в области теории, технологии и оборудования штамповочного производства. - Тула, 1996. - С.102-106.

3. Огаджанян О.И. Формование полых цилиндрических деталей из железного порошка на универсальных гидропрессах // Технологические процессы и оборудование кузнечно-штамповочного производства: Матер. Всерос. науч.-техн. конф. "100-летие со дня рож. д-ра техн. наук М.В.Сторожева". - М., 1996. - С.93-96.

4. Дмитриев А.М., Огаджанян О.И., Герасимов В.В. Применение активных сил трения в операциях холодного выдавливания цилиндрических деталей // 100 лет российскому автомобилю. Промышленность и школа: Тез. докл. Междунар. науч.-техн. конф. - М., 1996. - С.34.