

1547266

На правах рукописи

КОРОВА Наталья Васильевна

РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ПРОЦЕССОВ  
ФОРМОВАНИЯ ВЫСОКОПЛОТНЫХ ПОРОШКОВЫХ ДЕТАЛЕЙ  
В УСЛОВИЯХ КРУПНОСЕРИЙНОГО ПРОИЗВОДСТВА

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

*Журабев*

Москва - 1995

55.23

621.762

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

Научный руководитель: доктор технических наук,  
профессор А.М.Дмитриев

Официальные оппоненты: доктор технических наук  
В.Н. Субич

кандидат технических наук  
К.П. Малиновский

Ведущее предприятие: *ДИТТИЛАН ВАШ*

Защита состоится

На заседании д

Московском гос

Н.Э.Баумана по

дом 5.

Ваш отзыв  
печатью, просим выс

С диссерта  
им. Н.Э.Баумана. Те

Авторефе

Ученый секрет  
диссертационного с

К 053.15.13

к.т.н., доцент

Тип МГТУ

1547266

25

Актуальность. В настоящее время, когда осуществляется переход хозяйства на новые экономические отношения, требуется повышение эффективности производства, создание новых технологий, улучшение качества продукции.

Это касается также обработки металлов давлением (ОМД).

Порошковые материалы в настоящее время занимают весомую долю в производстве материалов с улучшенными и специальными свойствами.

В процессе формования металлических порошков с целью получения брикета предполагаемых размеров, формы и плотности возникает две основные задачи - уплотнить материал и придать ему требуемую форму. Но практика выдвигает перед порошковой металлургией новые задачи, связанные с получением плотных изделий сложной формы, обладающих заданными механическими характеристиками.

Появление новых методов формования таких как горячее прессование, высокоскоростное прессование, экструзия порошковых материалов, различные виды изостатического и гидростатического прессования, способствовало развитию новых направлений теории формования.

Использование теории пластичности сжимаемых материалов позволило разработать новые механические схемы деформирования. В результате стало возможным изготовление деталей, для которых ранее эта технология считалась неприемлемой.

При изготовлении конструкционных деталей, по данным литературного обзора, наибольшее применение находит метод холодного формования в закрытых пресс-формах. Этот метод легко поддается автоматизации и обеспечивает получение заготовок по форме и размерам, соответствующим готовым изделиям. В большинстве случаев изделия, сформованные в закрытых пресс-формах, обработке резанием не подвергаются, а после спекания поступают либо в эксплуатацию, либо проходят дополнительную обработку в целях улучшения состояния поверхности, повышения точности по размерам, придания специальных свойств (термическая и химико-термическая обработка, пропитка и т.д.).

Поэтому, представляется целесообразным применение новых схем пластического деформирования к порошковым материалам с целью получения высокоплотных порошковых деталей. А также целесообразным является и применение новых методов обработки, с целью получения за

НТБ МГТУ им. Н.Э. Баумана



1547266

Коробова Н.В. Разработка

НБТУ  
им. Н.Э. Баумана  
ВИБЛИОТЕКА

готовок с заданными свойствами, одинаковыми по объему изделия.

Учитывая вышесказанное, задача формирования высокоплотных порошковых деталей, разработка рекомендаций и условий по технологии формирования, учитывающих параметры, влияющие на комплекс прочностных характеристик изделия и позволяющие, таким образом управлять ими, является актуальной.

Цель и задачи работы. Целью настоящей работы является разработка научно-обоснованной методики проектирования формирования высокоплотных порошковых деталей в условиях крупносерийного производства на основе экспериментальных и теоретических исследований процесса.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

1. Экспериментально исследовать влияние схем деформирования со сдвигами на микротвердость, определить геометрическое распределение  $H_{100}$  в плоскости среза заготовок.

2. На основе изучения распределения микротвердости в плоскости заготовки построить математическую модель, позволяющую рассчитать значения микротвердости в различных точках образца в зависимости от схемы деформирования, магнитно-импульсной обработки формованной заготовки или порошка.

3. Применяя магнитно-импульсную обработку, проследить ее влияние на характер распределения микротвердости в различных областях детали.

4. Экспериментально определить сдвиговую прочность материала несеченной заготовки.

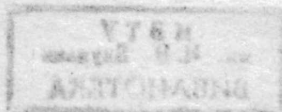
5. Определить критерий оценки эффективности разных (двух) схем деформирования со сдвигами.

6. Связать количественно этот критерий с углом укладки зерен частиц порошка, сдвиговой прочностью ( $\tau_{ср}$ ) несеченных формованных заготовок и прочностью детали после спекания.

7. Теоретически определить силы, необходимые для формирования со сдвигами высокоплотных порошковых цилиндрических деталей.

8. Провести анализ серийно выпускаемого оборудования с целью его применения для реализации предложенных схем деформирования.

9. Разработать систему автоматизированного выбора марки порошка, технологических параметров операции его формования и марки пресса для изготовления изделий с применением механических схем



формования, использующих интенсивные сдвиги.

Научная новизна. Количественно оценено влияние схем деформирования со сдвигами на прочностные характеристики неспеченных заготовок.

Разработаны математические модели, программы расчета на ЭВМ, позволяющие рассчитать прочностные характеристики (микротвердость) в различных точках образца в зависимости от схем деформирования, магнитно-импульсной обработки формованной заготовки или порошка.

Найдена количественная зависимость между углом укладки зерен частиц порошка, сдвиговой прочностью ( $\tau_p$ ) неспеченных формованных заготовок и прочностью детали после спекания.

Определены силы, необходимые для формования со сдвигами высокоплотных цилиндрических деталей.

Проведен анализ серийно выпускаемого оборудования с целью его модернизации для реализации предложенных схем деформирования.

На основе этих положений разработана система автоматизированного выбора марки порошка, технологических параметров операции его формования и марки прессы для изготовления изделий с применением механических схем формования, использующих интенсивные сдвиги.

Автор защищает:

- методику оценки эффективности двух схем деформирования со сдвигами;
- математическую модель влияния схем деформирования, магнитно-импульсной обработки формованной заготовки или порошка на показатели микротвердости в различных точках образца;
- математическую модель влияния схем деформирования, состава шихты порошка на сдвиговую прочность формованной заготовки;
- теоретический расчет усилий, необходимых для формования со сдвигами высокоплотных цилиндрических деталей;
- анализ серийно выпускаемого оборудования с указанием его модернизации для реализации предложенных схем деформирования;
- систему автоматизированного выбора марки порошка, технологических параметров операции его формования и марки прессы для изготовления изделий в режимах интенсивных сдвигов.

Достоверность научных результатов работы подтверждается удовлетворительным согласованием расчетных и экспериментальных данных по силам формования высокоплотных порошковых цилиндрических деталей.

Практическая ценность. Разработана научно-обоснованная методика проектирования процессов формования порошковых деталей в условиях крупносерийного производства, включающая систему автоматизированного выбора марки порошка, технологических параметров операции его формования и марки пресса для изготовления изделий с применением механических схем формования, использующих интенсивные сдвиги.

Внедрение результатов. Разработанная методика проектирования передана заказчику в ЦНИИТИМ. Экономический эффект внедрения составил 14,6 тыс. рублей (в ценах 1990г.).

Апробация работы. Материалы диссертационной работы доложены на научных семинарах кафедры МТ-6 МГТУ им.Н.Э.Баумана.

Публикации. По теме диссертации опубликовано 2 печатные работы.

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, шести глав, общих выводов, списка литературы и приложения. Работа изложена на 110 страницах машинописного текста, содержит 39 рисунков, 26 таблиц, список использованной литературы из 70 наименований.

## ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ.

Во введении содержится обоснование актуальности работы, научная новизна и основные положения, выносимые на защиту.

В первой главе проведен анализ литературы по изучаемому вопросу.

Приведены модели прессуемого тела: феноменологическая, дискретного тела, субмикроровня для выбора модели предстоящих исследований для учета механизма скольжения внутри зерен - основного в теории пластических деформаций.

Проанализировано деформированное состояние дискретного тела. Отмечены особенности процесса деформирования "раздробленной" среды; взаимосвязанность сдвигов, состояние "пластичных разгрузок". Отмечено, что все теоретические исследования опираются на принцип наименьшей возможной работы.

Рассмотрены теоретические исследования напряженного состояния дискретного тела и экспериментальные исследования по разрушению

заготовок разной плотности. Отмечено при этом, что характер разрушения может соответствовать деформированию единого сжимаемого тела.

Проведен обзор экспериментальных исследований порошковых материалов на сдвиговую прочность. При этом отмечены возможности каждого вида испытаний, а также сложность в технике проведения экспериментов.

Приведена классификация прессового оборудования для получения изделий из металлических порошков и отмечено, что технологический процесс формования со сдвигами в настоящий момент не применяется в промышленном масштабе из-за отсутствия рекомендаций по его выбору с целью реализации предложенных схем.

Сформулированы цели и задачи исследования.

Во второй главе приведены результаты экспериментальных исследований.

Было проведено исследование влияния схем деформирования со сдвигами, импульсной магнитной обработки порошка и заготовки на микротвердость и на угол укладки частиц порошка. Для исследований была рассмотрена схема по рис. 1.

Для моделирования влияния факторов варьирования применена многофакторная схема, при которой эффект влияния каждого фактора оценивается по результатам всех опытов. Приведена методика построения планов и статистической обработки результатов экспериментов на основе регрессионного анализа. Составленный план был рассчитан по программе.

В качестве факторов варьирования были приняты: 1- относительная координата по радиусу; 2- Относительная координаты по высоте; 3 - Схема деформирования; 4 - обработка порошка импульсными магнитными полями; 5 - обработка заготовок импульсными магнитными полями. Из опыта известно, что выбранные факторы влияют на исследуемые величины в степени не выше квадратичной. Для реализации эксперимента был построен план  $3^2 2^3 / 19$  модели вида:

$$y = b_0 + \sum_{i=1}^2 b_i x_i + \sum_{i=1}^2 b_{ii} x_i^2 \quad (1)$$

где  $y$  - функция отклика;  $x_i$ ;  $x_i^2$  - варьируемые факторы в кодированном масштабе. Формование было реализовано на гидропрессе типа "ПАСТ", в качестве материала использовали железный порошок ПЖ.РВ.3.200. Обработку порошка и заготовок импульсными магнитными

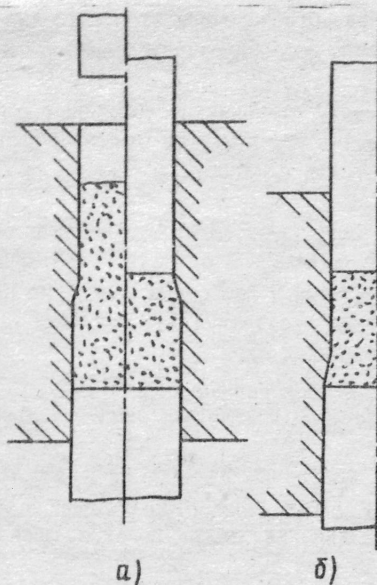


Рис.1 Схемы деформирования: а- первая схема; б- вторая схема.

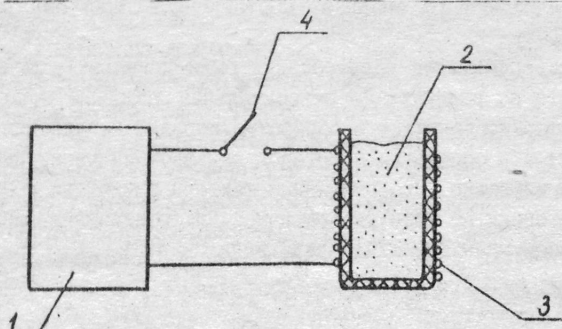


Рис.2. Схема магнитно-импульсной обработки: 1- источник импульсного магнитного поля; 2- порошок; 3- индуктор; 4- устройство замыкания цепи.

полями проводили на установке "Импульс-А" в лаборатории отдела 2.2. НИИ КМ и ТП МГТУ им.Н.Э.Баумана. Схема обработки представлена на рис.2.

Проведя эксперимент и полную его статистическую обработку на ЭВМ, была получена модель микротвердости в любой точке формованного образца.

Установлено, что наибольший прирост значений микротвердости наблюдается при реализации второй схемы деформирования в центральной части образца и вдоль боковой поверхности по сравнению с данными по микротвердости в этих же областях образцов, полученных по первой схеме.

Проводимая при этом дополнительная обработка порошка ИМП позволяет снизить разброс микротвердостей в радиальном и осевых направлениях формованного брикета. Снижение микротвердости получаемое в результате импульсно-магнитной обработки, малосущественно, в сравнении со значительным выравниванием этой характеристики в сечениях заготовки.

Проведенные экспериментально-аналитические исследования зависимости угла укладки частиц порошка дали возможность оценить количественно две предложенные схемы пластического деформирования; вторая схема деформирования характеризуется углом укладки  $\beta = 35 \pm 2^\circ$ ; первая -  $\beta = 40^\circ \pm 2^\circ$ .

Обработка порошка импульсными магнитными полями снижает показатели  $\beta$  на  $4^\circ$ , что отражается на качестве заготовки и, в частности, на равномерности в укладке частиц.

В третьей главе представлены исследования материала на сдвиговую прочность. Дан анализ схем испытаний в условиях сложного нагружения, отмечены ряд достоинств и недостатков в их использовании.

Приведена схема и описание приспособления для определения  $\tau_{\varphi}$  (Рис.3) цилиндрических заготовок. Испытания были проведены на прессе УИМ-50, в результате фиксировались самописцем показания  $F$  резания. Величина касательного напряжения на поверхности среза  $\tau_{\varphi}$  определялась по формуле:

$$\tau_{\varphi} = \frac{F}{2S} \quad (2)$$

где  $F$  - фиксированная величина нагрузки, Н;  
 $2S$  - две площади среза образцов,  $\text{м}^2$ .

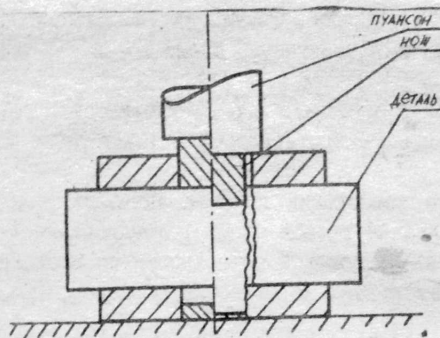


Рис.3. Схема приспособления для испытания образцов на сдвиговую прочность ( $\tilde{\tau}_{ср}$ ).

Задача эксперимента состояла в определении влияния схемы деформирования, воздействия импульсного магнитного поля на порошок, заготовку, влияние стеарата цинка, наличия углерода в порошке ПЖ.РВ.3.200., а также совместных влияний порошка и заготовки на величину

Независимыми факторами являются:  $X_1$  - схема деформирования;  $X_2$  - наличие импульсно-магнитной обработки порошка;  $X_3$  - наличие импульсно-магнитной обработки заготовки;  $X_4$  - концентрация стеарата цинка;  $X_5$  - концентрация углерода. Все факторы варьировались на двух уровнях. Планирование эксперимента позволило сократить эксперимент до восьми опытов. Реализация эксперимента  $2^{5/8}$  позволила получить уравнение регрессии первого порядка, анализ которого позволил установить заметно сильным влияние схемы деформирования.

Магнитно-импульсная обработка как порошка, так и заготовки влияет отрицательно, т.е. снижает  $\tilde{\tau}_{ср}$ .

Установлено влияние пластификатора на сдвиговые процессы, так большая концентрация стеарата цинка влияет на переориентацию зерен, подвергнутых сдвигу.

Содержание углерода приводит к снижению прочностных характеристик неспеченного полуфабриката, т.к. он облегчает скольжение частиц и снижает показатели  $\tilde{\tau}_{ср}$ .

В четвертой главе представлены зависимости между углом укладки зерен в заготовке и показателями прочности. Суть анализа состо-

ит в определении коэффициентов парной корреляции между каждым двумя параметрами на основании экспериментальных данных.

В результате анализа были получены зависимости сдвиговой прочности ( $\tau_{\text{ср}}$ ) от угла укладки зерен в заготовке; прочности заготовки после спекания ( $\sigma_{\text{с}}$ ) от угла укладки зерен ( $\beta$ ); прочности ( $\sigma_{\text{с}}$ ) от сдвиговой прочности формованной заготовки.

Уравнения регрессии на основе корреляционного анализа позволяют выбирать пользователю сочетание технологических параметров, обеспечивающих требуемые прочностные характеристики, не производя испытания с целью определения  $\tau_{\text{ср}}$ ,  $\sigma_{\text{с}}$ .

В пятой главе теоретически определена сила формования высокоплотных порошковых цилиндрических деталей. Для ее определения выполнен анализ, базирующийся на решении Соколовского В.В. для осесимметричного радиального течения пластической массы. Было добавлено условие пластичности для сжимаемого тела. В качестве основы анализа были выбраны следующие схемы (Рис.4, 5).

Уравнение равновесия были решены численным методом с помощью программного пакета "DELTA-2.3 РЕШАТЕЛЬ". Проведено сравнение теоретически определенного значения при обжиме детали с диаметра - 36 мм до 32 мм:  $P_{\text{т}} = 80,17$  кН;  $P_{\text{н.с.п}} = 92,32$  кН. Расхождение незначительно, что подтверждает приемлемость допущений, сделанных в теоретическом анализе.

Шестая глава состоит из анализа серийно выпускаемого оборудования для выбора под предложенный технологический процесс формования со сдвигами.

Установлено, что требуются прессы, позволяющие разместить на них технологическую оснастку с большой высотой засыпной камеры, имеющие большой ход рабочих органов, на которых устанавливаются пуансоны, относительно большие усилия перемещения матрицы (по сравнению с усилием пуансона), которые позволили бы реализовывать принудительное перемещение матрицы.

По каждой из выбранных марок прессов, принадлежащим к различным типам: механические, механо-гидравлические, гидравлические, показано, в чем должна состоять такая модернизация.

Приведена научно-обоснованная методика выбора прессового оборудования.



1. На основании анализа литературных источников установлено, что наиболее целесообразным является применение схем пластического деформирования со сдвигом для получения высокоплотных порошковых материалов. Применение новых методов обработки позволило получать заготовки со свойствами, одинаковыми по объему изделия. Осуществление этой технологии в условиях крупносерийного производства задача новая. Поэтому, разработка научно-обоснованной методики проектирования процессов формирования высокоплотных порошковых деталей в условиях крупносерийного производства, является актуальной.

2. В результате экспериментального исследования влияния схем деформирования со сдвигами на микротвердость определено геометрическое распределение  $H_{1,00}$  в плоскости среза заготовок, позволившее сопоставить эффективность рассмотренных схем пластического деформирования.

3. На основании изучения распределения микротвердости построена математическая модель, которая позволит рассчитать значения микротвердости в различных точках образца в зависимости от параметров и условий проведения технологической операции.

4. Предложенные схемы формирования позволили обеспечить высокую прочность заготовок и предложить новый метод экспериментального определения сдвиговой прочности материала заготовки.

5. Определен критерий оценки эффективности предложенных схем пластического деформирования - угол укладки зерен частиц порошка ( $\beta$ ), который количественно связан со сдвиговой прочностью неспеченной заготовки ( $\tau_{\phi}$ ) и прочностью детали ( $\sigma_s$ ) после спекания.

6. В ходе теоретического анализа определены силы, необходимые для формирования со сдвигом.

7. Проведенный анализ серийно выпускаемого оборудования с целью его применения в реализации предложенных схем деформирования позволил определить области рационального применения различных видов оборудования.

8. Разработанная методика автоматизированного выбора марки порошка, технологических параметров операции его формирования и марки пресса для изготовления изделий с применением схем формирования в режимах интенсивных сдвигов позволяет осуществить САПР предло-

женной технологии.

9. Разработанная методика внедрена на предприятии ЦНИИТИМ. Экономический эффект составил 14,6 тыс. рублей (в ценах 1990г.).

По теме диссертации опубликованы следующие работы:

1. Дмитриев А.М., Коробова Н.В. Определение силы Формования высокоплотных порошковых цилиндрических деталей//Известия высших учебных заведений. Машиностроение. -1994.-№ 7-9.-С.10-15.

2. Коробова Н.В. Обеспечение высокой прочности порошковых деталей путем Формования со сдвигами//Известия высших учебных заведений. Машиностроение. -1994.-№ 7-9.-С.35-41.