

ВОСТОЧНОУКРАИНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

На правах рукописи

СТОЯНОВ АЛЕКСАНДР АНАТОЛЬЕВИЧ

УДК 621.833

РАЗРАБОТКА И ОСВОЕНИЕ КОМБИНИРОВАННЫХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ
ПРОЦЕССОВ ПРЕССОВАНИЯ СЛОЖНОПРОФИЛЬНЫХ ВЫСОКОТОЧНЫХ
ДЕТАЛЕЙ ИЗ НИЗКОЛЕГИРОВАННЫХ ПОРОШКОВ

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

Луганск, 1994

711.30.306

Работа выполнена в Восточноукраинском государственном университете на кафедре "Машины и технология обработки металлов давлением" механико-технологического факультета.

Научный руководитель - доктор технических наук , профессор Лецинский В.М.

Официальные опоненты - доктор технических наук , профессор Лаптев А.М.

- кандидат технических наук Львовский М.М.

Ведущее предприятие - ЛУГАНСКИТИМАШ

Защита состоится 29 июня 1994г. в 14 часов на заседании специализированного совета в Восточноукраинском государственном университете по адресу: 348034, г.Луганск , квартал Молодежный, 20-а.

Справки по телефону: /0642/ 46-67-88.

Специализированный совет К 068.44.02

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Восточно-украинского государственного университета.

Автореферат разослан 29 мая 1994г.

Ученый секретарь специализированного совета, кандидат технических наук

ЛР - Л.А.Рябичева

ЛНБ ім. В. Стефаніка
АН України

ЛНБ України ім. В. Стефаніка
00756593 (Z)

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ.

Актуальность проблемы. Обеспечение машиностроения и других областей техники высококачественными заготовками сложной формы из металлических порошков на основе железа, является одной из основных задач обработки давлением порошковых материалов. За последние 10-15 лет в нашей стране и за рубежом освоено выпуск легированных железных порошков, применение которых позволяет повысить эксплуатационные характеристики деталей, увеличить их размерную точность, получать изделия сложной формы, и тем самым, значительно расширить их номенклатуру. Последнее особенно важно в связи с расширением сферы применения порошковых изделий в машиностроении, приборостроении и других областях.

Для изготовления сложнопрофильных конструктивных деталей по технологии прессование-спекание широкое распространение получили железные порошки гомогенно- или частичнолегированные

Ni . Mo . Cu и другими элементами. Они имеют высокую уплотняемость, обеспечивают высокую прочность прессовки и стабильность размеров в процессе крупносерийного производства, что обусловлено отсутствием эффектов сегрегации легирующих добавок в порошковой смеси. Кроме этого, эксплуатационные свойства порошковых изделий, изготовленных из гомогенно- и частичнолегированных железных порошков находятся на уровне литых деталей, а в некоторых случаях даже превосходят их. Наибольшую актуальность в этом плане приобретает разработка и организация крупносерийного производства деталей типа шестерен, что позволяет устранить высокотрудоемкие операции нарезки эвольвентного профиля модульными фрезами и долбяками, и другие виды черновой и чистовой обработки резанием. Однако, получение шестерен из порошковых материалов, с учетом высоких требований размерной точности, сопряжено с рядом трудностей, основными из которых являются: колебание плотности по объему прессовки, относительно высокие удельные усилия формообразования детали, жесткость допусков на колебание параметров зубчатого контура.

Традиционно упомянутые недостатки устраняются либо калибровкой спеченных заготовок, либо чистовой механической обработкой, обеспечивающей заданную степень точности.

Применительно к деталям зубчатых зацеплений эти способы мало экономичны и требуют сложной оснастки и оборудования.

Поэтому актуальной является задача создания новых схем деформации и обоснованных деформационных режимов, а также разработка новых комбинированных процессов деформации порошковых материалов, позволяющих получить высокоточные конструкционные изделия с однородной структурой и высокими эксплуатационными характеристиками без операций калибровки и последующей механической обработки.

Цель работы и задачи исследования. Разработка технологических схем, методов расчета и внедрение процессов деформации мелкозубчатых шестерен из порошковых композиций на основе низколегированных материалов.

Для достижения поставленной цели в работе поставлены и решены следующие задачи:

- теоретическое обоснование и разработка новых технологических процессов получения высокоточных изделий, основанных на комбинированном использовании гидростатической и сдвиговой составляющей нагружения порошковой среды;
- анализ макроскопического поведения высокоплотных порошковых сред на основе низколегированных железных порошков при простых и сложных схемах напряженного состояния;
- экспериментальная оценка влияния схем и режимов нагружения на характер функций уплотнения и измерения сопротивления деформации порошковой среды при нагружении;
- разработка оснастки, опытно-промышленное опробование и внедрение технологических процессов получения сложно-профильных высокоточных изделий на основе комбинированного использования гидростатических и сдвиговых компонент деформации порошкового тела.

Научная новизна. На основании комплексного исследования процессов деформации порошковых сред при простых и сложных схемах напряженного состояния установлены:

- закономерности изменения предела текучести твердой фазы порошковой среды в зависимости от параметров прессования и особенности макроскопического поведения порошкового тела при деформации осевым сжатием;
- соотношения для расчета параметров напряженно-деформированного состояния и физико-механических свойств порошковых тел при сжатии со сдвигом;

- зависимость сопротивления деформации твердой фазы порошковой среды от параметров напряженно-деформированного состояния при сжатии со сдвигом;
- снижение при введении сдвиговых деформаций предела текучести твердой фазы порошкового тела в процессе формообразования;
- соотношения для расчета технологических параметров формообразования деталей типа шестерен с введением сдвиговой составляющей деформации в пределах $\delta = 0,05 \dots 0,15$;
- теоретически обоснована и экспериментально подтверждена модель деформации порошковых сред при прессовании с кручением, которая позволяет количественно определить характер уплотнения порошкового тела;
- проведен анализ влияния параметров напряженно-деформированного состояния при формообразовании на уплотняемость и размерную точность шестерен;
- получено повышение плотности, снижение разнородности по сечению изделия до $\Delta \rho = 2\%$ и уменьшение разброса колебаний параметров зацепления шестерен.

Практическая ценность и реализация результатов работы в промышленности. Разработаны технологические процессы и оснастка для осуществления по комбинированной схеме формообразования сложнопрофильных изделий типа шестерен с высокой точностью. Проведены теоретические и экспериментальные исследования позволили:

- разработать технологию и внедрить в производство ресурсосберегающий технологический процесс комбинированного прессования детали "Венец зубчатый" с годовым экономическим эффектом I млрд.крб. в ценах 1993г. на программу 500 тыс. штук;
- разработать технологию, спроектировать оснастку и провести опытно-промышленное опробование изготовления деталей "Шестерня топливного насоса подогревателя" и "Шестерня промежуточная";
- предложить методику расчета технологических параметров комбинированного прессования деталей сложной формы.

Апробация работы. На республиканском научно-техническом семинаре "Физика и механика пластических деформаций порошковых материалов" Луганск, 1991; республиканской научно-технической кон-

ференции "Проблемы зубчатых передач и редукторостроения" Харьков, 1993; IV международной научно-технической конференции "Проблемы развития локомотивостроения" Крым, 1993; на зональных вузовских научно-технических конференциях и семинарах, посвященных разработке и исследованию новых материалов и технологий, Луганск, 1989-1992гг.

Публикации. Основные результаты выполненных исследований опубликованы в 4 статьях и I авторском свидетельстве на изобретение.

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, 5 глав, общих выводов, списка использованной литературы и приложения. Она содержит 152 страницы машинописного текста, 85 рисунков, II таблиц и 137 литературных источников.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ.

Во введении обоснована актуальность рассматриваемых задач, сформулирована цель и задачи диссертации.

Первая глава посвящена обзору литературы. На основании анализа литературных данных показано, что технология порошковой металлургии является высокоэкономичной, высокоэффективной и гарантирует большую экономию металла при переводе на изготовление данным методом большинства мелких и средних сложнопрофильных конструктивных деталей, используемых в машиностроении.

Именно по этому пути идут ведущие зарубежные фирмы, выпускающие автомобили, бытовую и оргтехнику, т.е. самые массовые виды продукции.

Общая тенденция мирового производства конструктивных изделий из низколегированных порошков на основе железа - постоянный рост объема их выпуска.

Рассмотрены современное состояние теории, технологии деформации порошковых материалов при различных схемах деформации и технологические процессы формообразования изделий из порошковых композиций. Показано, что процесс прессования порошка при формообразовании детали, является сложным, многостадийным и многофакторным процессом, зависящим как от свойств материала, так и от параметров напряженно-деформированного состояния.

Основными свойствами порошкового материала при деформации являются сопротивление течению твердой фазы порошковой среды,

сопротивление сдвигу между частицами и интегральное сопротивление деформации, обусловленное эффектами упрочнения как между частичных контактов, так и материала частиц. Параметрами напряженного состояния можно влиять на интенсивность и направленность процесса уплотнения, изменяя соотношение гидростатической и сдвиговой составляющих, приложенных к деформируемому объему.

Среди рассмотренных технологических процессов выделены наиболее современные, в которых используются наряду с нормальными сдвиговые нагрузки на деформируемый объем порошкового тела, такие как прессование с вращающейся матрицей, сферодвижная штамповка и др.

Проанализированы методы повышения размерной точности получаемых порошковых деталей. Сделаны выводы о том, что схема напряженно-деформированного состояния при формообразовании детали влияет на характер распределения пористости по высоте и по сечению прессовки. Регулируя параметры схемы напряженно-деформированного состояния, в частности компоненты сдвиговой составляющей деформации, можно достичь более интенсивного уплотнения, равномерного распределения пористости в теле прессовки, и тем самым, в конечном итоге, обеспечить уменьшение разброса и стабильность размерных параметров изделий в больших партиях.

Это дает возможность перевести на выпуск методом порошковой металлургии, в частности, мелкозубные шестерни, используемые в топливной аппаратуре, которые в настоящее время изготавливаются по 7 степени точности ГОСТ 9178-81 на высокоточном зубонарезном оборудовании. Для расчета параметров технологического процесса изготовления указанных шестерен методом порошковой металлургии необходимы надежные методики определения и данные по оценке сопротивления деформации твердой фазы порошкового тела при различных схемах нагружения. Поэтому целесообразно проведение экспериментальных исследований по испытанию образцов на линейное сжатие, сжатие со сдвигом.

Обобщенное решение комплекса этих вопросов позволит разработать новые технологии и методики расчета комбинированных процессов прессования порошковых материалов при регулируемых сложных схемах напряженного состояния.

Во второй главе обоснован выбор материалов, дана характеристика методикам исследования, описаны экспериментальные установки. Основными материалами исследований являются частичные

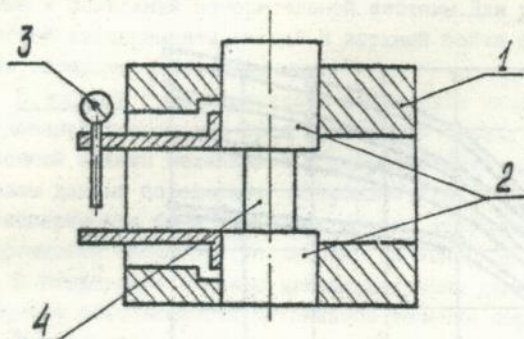
гированный металлический порошок ПЖН4Д2М ТУ 14-1-4393-87 и гомогеннолегированный металлический порошок ПЖН2М ТУ 14-1-3862-85 выпускаемые Сулинским металлургическим заводом в соответствии с ГОСТ 9846-86. Образцы для испытаний изготавливались из шихты, в состав которой входили графит карандашный ГК-3 ГОСТ 4404-78 и цинк стеариновоокислый ТУ-09-17-262-68. Выбор для экспериментального исследования именно этих материалов обоснован тем, что они обладают хорошей прессуемостью и формруемостью, обеспечивают высокие механические свойства и эксплуатационные характеристики изделий после спекания, и, самое главное, практически безусадочное спекание прессовок из них, при условии соблюдения равномерности по всему объему прессовки.

Для изучения влияния схем напряженно-деформированного состояния на сопротивление деформации твердой фазы порошковой среды были проведены эксперименты по осевому сжатию цилиндрических брикетов и сдвигу призматических брикетов. Образцы для каждой серии экспериментов изготавливались из одинаковых материалов и при одинаковых удельных усилиях формования. Результаты экспериментов подвергались статистической обработке и по ним строились кривые уплотнения порошкового тела и кривые упрочнения твердой фазы порошковой среды.

Экспериментальная установка для испытаний на осевое сжатие показана на рисунке 1. Она состоит из контейнера 1, пуансонов 2, базируемых по внутренней цилиндрической поверхности контейнера, и измерительной системы 3, позволяющей регистрировать малые деформации образца в пределах $\epsilon = 5 \cdot 10^{-4} \dots 10^{-3}$. Испытываемый образец помещался между пуансонами, производилась нагрузка на испытательной машине с записью индикаторной диаграммы и регистрацией показаний измерительной системы.

Экспериментальная установка для испытаний на сжатие со сдвигом показана на рисунке 2. Она состоит из Ш-образного корпуса, сжатого бандажом 4, в который вмонтированы бойки 2 и гидроцилиндр 3 для создания нормального давления. Измерительная система, включающая в себя индикаторы часового типа с точностью измерений 0,002 мм, для измерения перемещений в направлении действия сдвигающего P_x и нормального P_y усилия (на рисунке не показана). Образец 1 закладывается между бойками, с торцев ограничивается полуцилиндрическими щеками, которые входят в пазы бойков, в гидроцилиндре создается давление, необходимое для

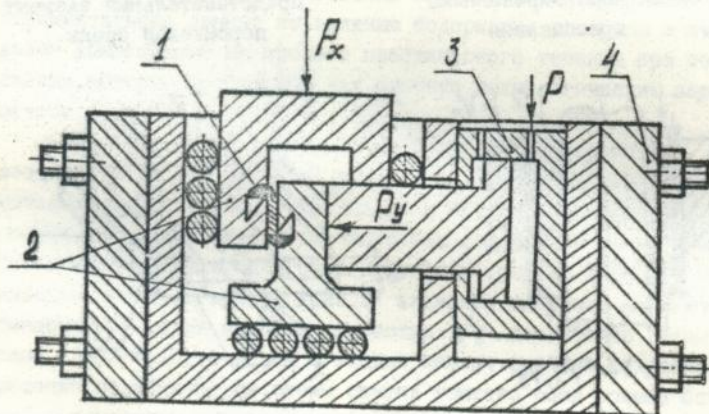
Оснастка для испытаний на осевое сжатие



- 1 - контейнер, 3 - измерительная система,
2 - бойки, 4 - образец

рис.1.

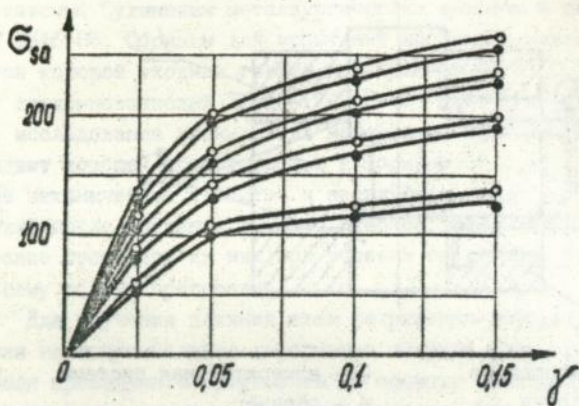
Оснастка для испытаний на сжатие со сдвигом



- 1 - образец, 3 - гидроцилиндр,
2 - бойки, 4 - бандаж

рис.2.

Кривые упрочнения твердой фазы порошковой композиции на основе ПЖИ2М

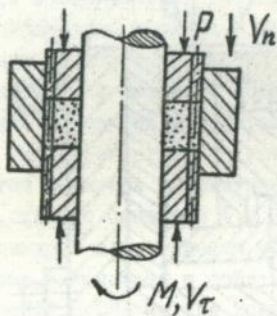


○ - 0% C;

● - 1% C

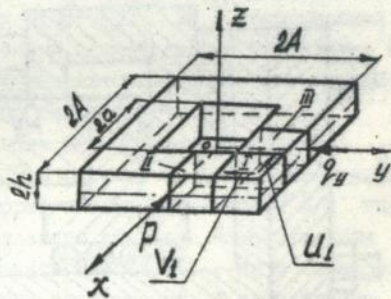
рис.3

Схема комбинированного
прессования



а

Представительный элемент
порошковой среды



б

рис.4

достижения необходимого нормального усилия и на испытательной машине производится сдвиг образца с записью индикаторной диаграммы и показаний измерительной системы. Для уменьшения погрешностей эксперимента, нижний и верхний бойки отделены от стенок корпуса сепараторами с шариками.

В третьей главе приведены результаты экспериментальных исследований порошковых сред при осевом сжатии с целью количественной оценки механизмов и сопротивления деформации твердой фазы данных порошковых материалов. Для этого по результатам эксперимента были построены кривые упрочнения твердой фазы порошковой среды при испытаниях на линейное сжатие.

В результате анализа кривых получены данные, свидетельствующие о комплексности механизмов течения порошковой среды.

Так, пластическое течение проходит в несколько стадий: интенсивного упрочнения, слабого упрочнения и предразрушения.

Соотношение механизмов течения /объемная деформация и межчастичное скольжение/ определяет величину стадий упрочнения и соответствующие модули упрочнения твердой фазы порошковой среды при осевом сжатии в пределах $2 \cdot 10^4 \dots 15 \cdot 10^4$ МПа для различных значений пористости. Несмотря на сложный характер течения, порошковый конгломерат имеет относительно высокую пластичность $\epsilon_p \approx 0,03$, что указывает на широкие технологические возможности формообразования порошковых тел. Получены экспериментальные данные по влиянию содержания углерода в порошковых композициях на процесс пластического течения при осевом сжатии, которые необходимы для расчета технологических параметров процесса формообразования.

В четвертой главе обобщены результаты разработок по созданию методики расчета параметров деформации и физико-механических характеристик твердой фазы порошковой среды при сжатии со сдвигом. Рассмотрена модель деформации тонкого слоя порошковой среды в сдвиговой прессформе, рис. 2. Если при реализации простого сдвига /рис. 2/ задается давление на плитах и смещение одной из плит со скоростью V_t достаточно тонкого слоя $h/A \ll 1$, то в нем в каждый момент времени сохраняется решение, полученное из схемы сжатия тонкого слоя косыми бойками на основании континуального описания процесса.

По экспериментально определенным макроскопическим параметрам деформации $V_n, V_\tau, P_y, P_x, \varphi$, учитывая стандартные функции пористости шаровой и девиаторной части тензора напряжений $\alpha(\vartheta)$ и $\gamma(\vartheta)$, и тот факт, что параметр φ , определяющий соотношение между скоростями нормального и касательного движений, становится переменной величиной φ^* и должен быть определен в каждый момент времени, получены следующие уравнения для расчета:

$$\varphi^* = \arccos \sqrt{\frac{3\alpha(\vartheta) \cdot B}{1 - [\alpha(\vartheta) + 3\gamma(\vartheta)]}} \quad (1)$$

где

$$B = \frac{3\alpha(\vartheta) \cdot \gamma(\vartheta)}{[4\alpha(\vartheta) + 3\gamma(\vartheta)]^2} \cdot \left(\frac{\sigma_y}{\sigma_{30}}\right)^2 \quad (2)$$

Тогда

$$\sigma_{30} = - \frac{\tau_{xy} \cdot \gamma(\vartheta) \sqrt{3\alpha(\vartheta) + [\alpha(\vartheta) + 3\gamma(\vartheta)] \cos^2 \varphi}}{2 \sqrt{3\gamma(\vartheta) \cdot \alpha(\vartheta) \cdot \sin \varphi}} \quad (3)$$

где σ_{30} - предел текучести твердой фазы порошковой среды.

Для оценки указанных выше параметров проводилось экспериментальное исследование процесса простого сдвига в закрытой прессформе при нормальном давлении, соответствующем реальному при уплотнении порошка на брикетах, размерами 20x10x3 мм с пористостью = 10, 12, 14%. Расчетами на ЭВМ IBM PC/XT получены зависимости параметров напряженного состояния от пористости брикета и угла сдвига, которые показывают существенное влияние сдвиговой схемы деформации на снижение силовых параметров процесса. Построенные по экспериментальным данным кривые упругости твердой фазы порошковой среды на основе порошков Н2М и Н4Д2М /рис.3/ свидетельствуют о значительном снижении начального предела текучести по сравнению с осевым сжатием /на 30% для Н2М и 35% для Н4Д2М/. Найдено, что огибающая кругов Мора при деформации простым сдвигом с различными гидростатическими давлениями является прямой линией, которая на оси касательных напряжений отсекает отрезок, численно равный пределу текучести на сдвиг, полученному испытаниями при $\sigma_y = 0$.

Полученный массив экспериментальных данных обеспечивает информационную базу для расчета процессов формообразования изделий из порошковых материалов на основе НЗМ и НАДЗМ. Это особенно важно при получении сложнопрофильных высокоточных деталей, так как даже незначительные колебания плотности по объему заготовки, вследствие неравномерности деформации и, соответственно, неравномерности упрочнения твердой фазы порошковой среды приводят к существенному колебанию размеров изделия после спекания и, естественно, затрудняют соблюдение его точностных параметров.

В пятой главе приведены разработки по созданию комбинированных технологических процессов формообразования сложно - профильных высокоточных деталей типа мелко модульных шестерен.

Целью данных исследований являлось создание модели и методики расчета технологических параметров комбинированного прессования, отыскание закономерностей их влияния на размерную точность и качество деталей, отладка и внедрение в производство технологических схем процесса, обеспечивающего заданную точность шестерен.

Для процесса комбинированного прессования с кручением кольцевых сложнопрофильных деталей типа шестерен рассмотрена модель представительного элемента порошкового тела при сдвиге, предложенная В.М.Сегалом. Тогда схема прессования кольцевой заготовки с кручением центрального стержня рис.4а представляется в виде структурной ячейки, показанной на рис.4б. Для принятых условий нагружения при $\sigma_x = p$, $\sigma_y = q_y$, $\sigma_z = q_z$, при $x = \pm A$, $y = \pm B$ и $z = \pm h$ соответственно на основании решения системы дифференциальных уравнений равновесия, условия пластичности и ассоциированного закона течения получены соотношения для определения компонент перемещений. Решение задачи достигается исходя из соображений о том, что пластическое течение интегрального элемента порошковой среды подчиняется условию пластичности порошковой среды

$$F = \gamma(v) T^2 + \alpha(v) \sigma^2 - \sigma_{j0}^2 = 0. \quad (1)$$

При допущении, что отношение a/A достаточно мало для высокоплотной среды имеем:

$$\psi = e^{\frac{p\sqrt{c}}{k}} \cdot e^{\frac{\sqrt{c} \left(1 - \frac{mk\Gamma}{4}\right) \frac{6}{\sqrt{c} \cdot m}}{8mk}} \quad (5)$$

При этом

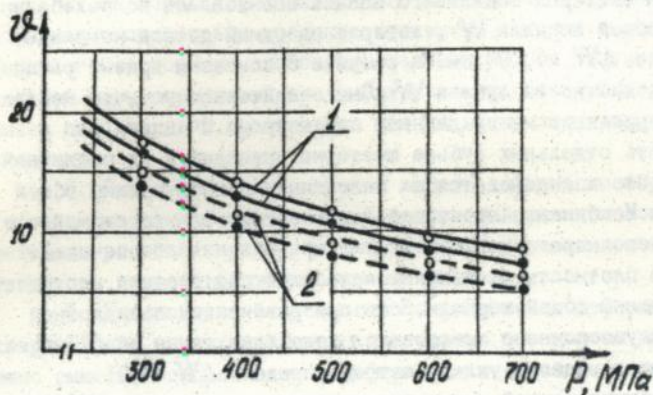
$$m = \frac{V_n}{V_T} = \frac{\frac{3}{2}p - \frac{3k}{2\sqrt{c}} \ln \psi}{3k} \quad (6)$$

Анализ соотношений /5,6/ показывает, что накопленная деформация сдвига Γ слабо влияет на кинетику уплотнения порошковой среды /второй сомножитель /5/ стремится к единице/, в то время как предел текучести на сдвиг является с этой точки зрения определяющим параметром и обуславливает величину первого сомножителя уравнения /5/.

Технологические процессы комбинированного прессования с кручением шестерен исследовались на оснастке, установленной на испытательной машине УММ-10. Измерялись: общее усилие прессования, момент и угол закручивания при прессовании. Экспериментально получены кривые уплотнения порошковых композиций на основе Н2М и Н4Д2М. На рисунке 5 показаны зависимости $\psi = f(p)$ в интервале $p=200 \dots 700$ МПа, для Н4Д2М, из которых следует интенсифицирующая роль сдвиговых деформаций на уплотнение среды /кривые 2, обозначения см. на рис. 5/. Сравнение экспериментальных данных с расчетными кривыми по соотношению /5/ показывает достаточную адекватность результатов эксперимента выбранной модели /в пределах 10%/. Следует указать, что введение сдвиговой компоненты деформации при формообразовании позволяет в среднем увеличить плотность порошкового тела при одинаковом удельном усилии прессования на 2...3% для всех исследованных составов. Согласно расчетам по соотношениям /5.6/ данный эффект является следствием снижения предела текучести твердой фазы при сжатии со сдвигом на 10-15%. Получено, что наибольшая эффективность применения кручения центрального стержня с малыми углами имеет место для интервала удельных усилий прессования 300...600 МПа.

На основании полученных результатов реализованы технологические схемы комбинированного прессования с кручением мелко-

Кривые уплотнения порошкового тела на основе ПЖН4Д2М
при комбинированном прессовании



1 - без кручения

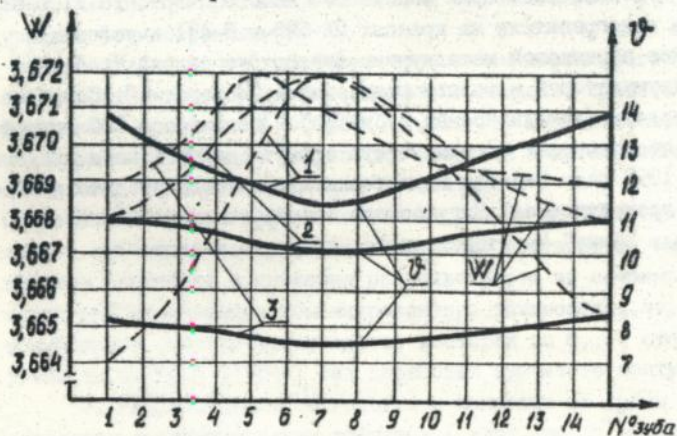
2 - с кручением

○ - 0% С

● - 1% С

рис.5

Размерная точность и пористость детали "Шестерня
поливного насоса" черт. 18.1106 036 - ЮП



1 - без кручения, $m=3,9$ г. 3 - с кручением, $m=4,1$ г.

2 - с кручением, $m=3,9$ г.

рис.6

модульных шестерен "Венец зубчатый", "Шестерня топливного насоса" и "Шестерня промежуточная". Размерная точность зубчатого контура шестерни топливного насоса оценивалась по колебанию длины общей нормали W , которое на одной детали не должно превышать $\Delta W = 0,006$ мм. На рисунке 6 помещены кривые распределения плотности зуба и W . Они свидетельствуют, что наблюдается корреляция между данными параметрами. Очевидно, что разнородность отдельных зубьев шестерни приводит к их различной усадке, что и сказывается на величине параметра длины общей нормали. Комбинация сдвиговой схемы нагружения со схемой всестороннего неравномерного сжатия прессования обеспечивает большую плотность, уменьшение колебаний плотности и, соответственно, длины общей нормали. Если при реализации стандартной схемы двустороннего прессования колебание длины общей нормали спеченного изделия укладывается в пределы $\Delta W = 0,01$ мм, то при комбинированной схеме они находятся в пределах $\Delta W = 0,005$ мм при допуске $\Delta W = 0,006$ мм.

Для реализации технологических схем комбинированного прессования с кручением в промышленных условиях спроектирована, изготовлена и внедрена технологическая оснастка для серийного производства детали "Венец зубчатый" черт. 60.1111 062 топливного насоса двигателя ЯМЗ и опытно-промышленного опробования детали "Шестерня топливного насоса" черт. 18.1106 036 насоса подогревателя на прессах ПА-630 и П-471 в условиях участков порошковой металлургии Луганского завода транспортных аккумуляторов и малого предприятия "Возврат-3". Серийное производство детали "Венец зубчатый" в количестве 500 тыс. шт. в год обеспечивает экономическую эффективность 1 млрд. крб. в ценах 1993 года. Ведется подготовка к производству детали "Шестерня промежуточная" Чугуевского завода топливной аппаратуры и детали "Шкив" Мелитопольского моторного завода.

Выводы.

1. На основании комплексного исследования процессов деформации порошковых сред при простых и сложных схемах напряженного состояния установлены закономерности упрочнения твердой фазы порошковой среды. Показана многостадийность процесса деформации и произведены оценки механизмов структурообразования.

2. Разработана структурная модель деформации порошкового тела сжатием со сдвигом, на базе которой реализована на ЭВМ методика расчета параметров напряженного состояния и пределов текучести твердой фазы порошковой среды.

3. Установлены зависимости сопротивления деформации твердой фазы порошковой среды при сжатии со сдвигом и обнаружено снижение сопротивления деформации твердой фазы порошкового тела.

4. Разработана и экспериментально подтверждена модель деформации порошковой среды при прессовании с кручением, на основе которой оценено влияние схемы напряженного состояния на процесс уплотнения порошковой среды. Получено, что снижение предела текучести твердой фазы порошковой среды на 10 ... 15% при введении сдвиговой компоненты деформации приводит к увеличению плотности прессовки на 2...3% при одинаковых удельных усилиях формообразования.

5. Найдено, что при формообразовании порошкового тела в высокоплотном состоянии целесообразно введение сдвиговых деформаций в пределах $\gamma = 0,005 \dots 0,01$. Это позволило создать надежную оснастку для реализации процесса в промышленных условиях на стандартных прессах-автоматах.

6. Обнаружен эффект повышения размерной точности параметров зубчатого контура мелкомодульных шестерен за счет увеличения плотности и снижения разнородности по сечению прессовки при применении комбинированного техпроцесса, что дало возможность освоить производство шестерен по 6...7 степени точности по ГОСТ 9178-81 без доработки зубчатого контура.

7. Разработанные технологии и оснастка введены в производство с экономическим эффектом 1 млрд. крб. з ценах 1993г.

Основное содержание диссертации изложено в работах:

1. Стоянов А.А., Мархайчук П.И. Определение физико-механических констант порошковой среды в сдвиговой ячейке. Физика и механика пластических деформаций порошковых материалов: тезисы докладов республиканского научно-технического семинара /Луганск, 1991г./, Луганск, ЛМСИ, 1991. -72с.

2. Лещинский В.М., Стоянов А.А. О связи между макро- и микропараметрами напряженно-деформированного состояния при деформации порошковых материалов. Современные ресурсосберегающие технологии получения и обработки материалов в машиностроении: сборник научных трудов аспирантов и соискателей / Под ред. В.М.Лещинского. -К.: УМК ВО, 1991. -92с.

3. Лещинский В.М., Бурко В.В., Стоянов А.А. Изготовление зубчатых колес методами порошковой металлургии. Проблемы зубчатых передач и редукторостроения: тезисы докладов научно-технической конференции /Харьков, 1993г./, Харьков, УкрНИИМЕТ, 1993. -125с.

4. Лещинский В.М., Бурко В.В., Стоянов А.А. Изготовление зубчатых колес узлов локомотивов методом порошковой металлургии. Проблемы развития локомотивостроения: тезисы докладов IV международной научно-технической конференции /Крым, 1993г./, Луганск, ЛМСИ, 1993. -89с.

5. Авторское свидетельство № 1597473 СССР. Зубчатая передача Новикова. Шевченко С.В., Утутов Н.Л., Стоянов А.А./СССР/ - № 4606799/25-28 ; заявлено 5.08.1988; опубликовано 7.10.1990 Бюл. № 37. -3с.

А. Сур

Подписано к печати 26.05.94г. Формат 60x84 I/16 I п.л.
Тираж 100 экз. Заказ № 528

Ротапринт ВУТУ

г. Луганск, кв. Молодежный, 20а

000,00 a#

159110

AB 30.505