

**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ УКРАИНЫ  
ВОСТОЧНОУКРАИНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ  
УНИВЕРСИТЕТ**

**СПЕЦИАЛИЗИРОВАННЫЙ УЧЕНЫЙ СОВЕТ К 18.02.03.**

**КУЗЬМИН ЛЕОНИД ЕФИМОВИЧ**

**УДК 621.73.043**

**Разработка, исследование и освоение комплексных  
технологий деформации высокоплотных порошковых материалов**

**Специальность 05.03.05 - Процессы и машины обработки  
давлением**

**АВТОРЕФЕРАТ**

**диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук**

**Луганск-1997**

Диссертацией является рукопись.

Работа выполнена в Восточнoукраинском государственном университете на кафедре "Кузнечно-прессовое производство и материаловедение" механического факультета.

Научный руководитель: доктор технических наук, профессор  
Лещинский В.М., ВУГУ, заф. каф.

Официальные оппоненты:  
доктор технических наук, профессор Шепельский Н.В., КИСМ;  
кандидат технических наук Бурко В.В., ВУГУ.

Ведущая организация:  
Донбасский горно-металургический институт, г.Алчевск,  
Луганской обл.

Защита состоится в 14<sup>00</sup> часов "9" Октября 1997 года  
на заседании специализированного ученого совета в Восточнoукраинском государственном университете по адресу: 348034,  
г.Луганск, кв.Молодёжный, 20-а.

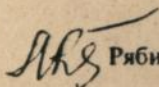
Справки по телефону: (0642) 46-67-88.

Специализированный ученый совет К 18.02.03.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке  
Восточнoукраинского государственного университета.

Авторсферат разослан "29" Августа 1997г.

Учёный секретарь  
специализированного ученого совета  
кандидат технических наук, доцент

Рябичева Л.А.

ЛННБ України ім.В.Стефаніка



00751449 (U)

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность работы. Развитие технологий порошковой металлургии (ПМ) в ряде отраслей машиностроения в настоящее время осуществляется по пути применения новых порошковых материалов для различных деталей усложненной формы и повышения их точности. В мировой практике использование металлических порошков постоянно растет и технологии ПМ развиваются быстрее, чем другие отрасли металлообработки, из-за очевидной экономической эффективности, расширения номенклатуры порошковых изделий массового производства качественных деталей высокой точности (например, из железа и его сплавов). При этом на первый план встают задачи получения высокоплотных деталей повышенной надежности, которые до настоящего времени полностью не решены. Технологии ПМ позволяют производить материалы, которые весьма сложно получить обычными методами (композиционные, псевдосплавы и др.).

Получение изделий из псевдосплавов (ПС), которые обладают в ряде случаев уникальными показателями прочности, износостойкости, коррозионной стойкости и позволяют обеспечить существенную экономию дорогостоящих и дефицитных цветных металлов, является актуальным, особенно для промышленных предприятий Украины, т.к. стоимость материалов на современном рынке высокая. Однако имеется значительное количество нерешенных вопросов технологии обработки давлением таких сплавов, ее влияния на их структуру и эксплуатационные свойства.

Несмотря на значительное количество опубликованных в литературе работ по достижению высокоплотного состояния, технология получения таких деталей из порошковых материалов применяется редко. Таким образом, исследование технологических операций уплотнения и деформации при получении высокоплотных деталей с заданными свойствами из порошковых материалов является актуальным.

Цель работы. Исследование и разработка технологических принципов получения высокоплотных деталей из различных порошковых композиций на основе применения рациональных режимов пластической деформации.

### Научная новизна.

- экспериментально установлены и теоретически обоснованы зависимости прочностных и пластических свойств спеченных порошковых композиций от режимов деформации и термообработки.
- проведен комплексный анализ физических моделей упрочнения Fe-Cu ПС с применением кинетической и дислокационной теорий, позволивший установить степень влияния режимов деформации на механические свойства материала.
- выявлены закономерности достижения высокоплотного состояния порошковых тел в зависимости от контактных условий и дегазации полости пресс-формы в процессе компактирования.



- предложена новая технология поэтапной деформации кольцевых заготовок с внутренним и наружным фланцем и определены рациональные значения основных параметров процесса, позволяющие обеспечить требуемые прочностные и пластические свойства изделий.

#### Практическая ценность и реализация результатов работы

- разработаны технологические методы комбинированной обработки деталей из порошковых Fe-Cu композиций, обеспечивающие повышение пластических свойств материала на 40-50%.
- разработана технология компактирования высокоплотных порошковых материалов при рациональных контактных условиях, позволяющая достичь однократным прессованием относительной плотности 97% без введения смазки в шихту.
- разработаны новые конструкции формообразующего инструмента для поэтапной деформации и компактирования порошковых изделий с одновременным регулированием контактных условий и дегазации полости пресс-формы.
- разработаны и внедрены методика расчета и комбинированные технологические процессы калибровки и термообработки деталей запорной арматуры из Fe-Cu псевдосплавов, что позволило снизить себестоимость 1 кг изделий на 1.8-2.6 грн. в ценах 1997 года.

Технология изготовления деталей внедрена на малом предприятии "ПМ-Авто", г. Стаханов, НПФ "ЛОУД", АО "СПЭКС" г. Луганск. По данной технологии в 1995-1996 годах изготовлено 50 т изделий для Кролевцецкого и Дунаевецкого арматурных заводов и АО "Стахановмаш".

Апробация работы. Материалы диссертации докладывались на международной научно-технической конференции "Качество и долговечность зубчатых передач и редукторов" (г. Севастополь, 1995 г.), Всемирном конгрессе по порошковой металлургии и композиционным материалам (г. Вашингтон, США, 1996 г.), международной конференции "Новые материалы и технологии", (г. Магнитогорск, 1994 г.), научно-технических конференциях Восточноукраинского государственного университета (1993-1996 г.)

Публикации. По теме диссертации опубликовано 5 статей и один доклад (в тезисах).

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, пяти разделов, общих выводов, приложения. текстовый материал изложен на 104 стр., таблиц по тексту-11, рисунков-54, литературных источников-98 наименований.

#### **ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ.**

Во введении обоснована актуальность проведенных исследований, изложены цель и задачи работы, а также пути их решения, научная новизна, прак-

техническая ценность работы, основные положения, вынесенные на защиту, информация об апробации и публикации основных результатов работы.

В первом разделе выполнен обзор работ, освещающих современные методы получения высокоплотных деталей. На основе проведенного анализа выделены наиболее перспективные направления - пропитка и прессование с оптимизацией контактных условий. Показано, что применение инфильтрированных железо-медных псевдосплавов (ПС) открывает широкие перспективы для получения широкого класса высокоплотных изделий самого различного назначения. Рассмотрение опубликованных экспериментальных и теоретических работ позволяет отметить, что применение в качестве исходных порошковых материалов взаимонасыщенных компонентов дает возможность повысить механические свойства псевдосплава. Однако получение таких компонентов весьма трудоемко, при этом элементы являются взаиморавновесными лишь при строго определенной температуре. Все это осложняет практическое применение данного метода. Кроме того, данные технологические методы не обеспечивают необходимую пластичность материалов.

Повышение плотности порошкового компакта в ряде случаев достигается путем дренажирования газов при формовании, однако наличие сил трения в очаге уплотнения не позволяют достичь равномерной прочности детали. О систематических исследованиях, направленных на изучение совместного влияния дегазации контактных условий на уплотнение порошкового тела нет сведений.

На основании сделанного анализа сформулированы следующие задачи работы.

1. Изучить существующие технологические схемы получения высокоплотных деталей из порошковых композиций и выявить наиболее целесообразные композиции и методы их пластической обработки.
2. Исследовать и определить параметры деформации и термообработки, обеспечивающие высокую плотность механические свойства композиций на основе Fe-Cu.
3. Произвести теоретический анализ напряженно-деформированного состояния и изменения механических свойств композитов в процессе пластической деформации и термообработки.
4. Учитывая преимущества комбинированной обработки разработать и исследовать эффективные технологические режимы получения высокоплотных кольцевых деталей из порошковых композиций.
5. Изучить влияние технологических параметров обработки (контактных условий, дегазации пресс-формы) на формообразование высокоплотных деталей.
6. Осуществить промышленное освоение и внедрение результатов исследований.

Во втором разделе приведена методика исследования механических свойств инфильтрированных Fe-Cu композитов, а также методика и установка для исследования процессов деформации заготовок.

Производились испытания на твердость, растяжение и осевое сжатие. Из испытаний на растяжение определялись механические характеристики материала и строились кривые упрочнения.

В качестве материалов для исследований и изготовления псевдосплавов использовались порошки Fe - ПЖРВ2.200.26 ГОСТ 4849-86, Cu - ПМС-1 ГОСТ 4960-75 и стеарат цинка ТУ 04-17-262-88.

Исходные брикеты под инфильтрацию изготавливались из шихты двух типов: шихта № 1 - железный порошок и 0.6 % стеарата цинка; шихта № 2 имела квазиравновесный состав, который получали гомогенизирующим спеканием брикета из смеси Fe + 5% Cu при температуре 900-950°C в течение 8 часов. Исследования влияния технологии на свойства ПС проводились по двум схемам: первая - предварительная деформация, отжиг, испытание на растяжение; вторая - предварительная деформация, отжиг, испытание на сжатие. При этом окончательное сжатие производилось как по направлению предварительной деформации, так и в перпендикулярном направлении. Проводилась статистическая обработка экспериментальных данных.

В третьем разделе приведены результаты экспериментального исследования влияния технологических режимов деформации и последующей термообработки на механические свойства Fe-Cu ПС.

Результаты испытаний на растяжение показали, что применение предварительной деформации и последующего отжига позволило существенно повысить пластические характеристики псевдосплава. В результате испытаний на сжатие также выявлено повышение пластических свойств материала, подвергнутого предварительной деформации. Было установлено, что максимальная пластичность имеет место, после отжига при температуре отжига 800°C. Поэтому для данной температуры было проведено детальное исследование влияния предварительной деформации в интервале  $\epsilon_{пр} = 5...15\%$ . В результате обнаружено (рисунок 1), что при растяжении  $\psi$  возрастает в среднем на 40% по отношению к недеформированному состоянию. Возрастание  $\epsilon_p$  при сжатии находится в пределах 30-40%. Видно, что максимальная пластичность соблюдается при степени деформации около 10%, при этом максимум кривых сжатия смещен в сторону более низких  $\epsilon_{пр}$ . Очевидно, что механические свойства ПС не зависят от морфологии Cu и Fe фаз, которые формируются из частиц Fe-порошка и расплава Cu-фазы, заполняющего поры Fe-каркаса при инфильтрации. Аналогично Гучинскому Л.Н. предлагается структуру Fe-Cu ПС рассматривать как два «заимопроникающих» каркаса. Рассмотрение механизмов деформации, регламентирующих пластичность и прочность Fe-Cu ПС показало, что экспериментальные данные подчиняются закону Холла-Петча.

$$\sigma_s = \sigma_{s0} + k_x d_s^{-1/2} \quad (1)$$

где  $\sigma_s$  - напряжение течения;

$\sigma_{s0}$  - интерполированный предел текучести;

$d_s$  - размер зерна;

$k_x$  - коэффициент трудности скольжения от зерна к зерну.

Данное соответствие косвенно подтверждает адекватность выбранного структурного элемента с точки зрения макроповедения ПС при деформации.

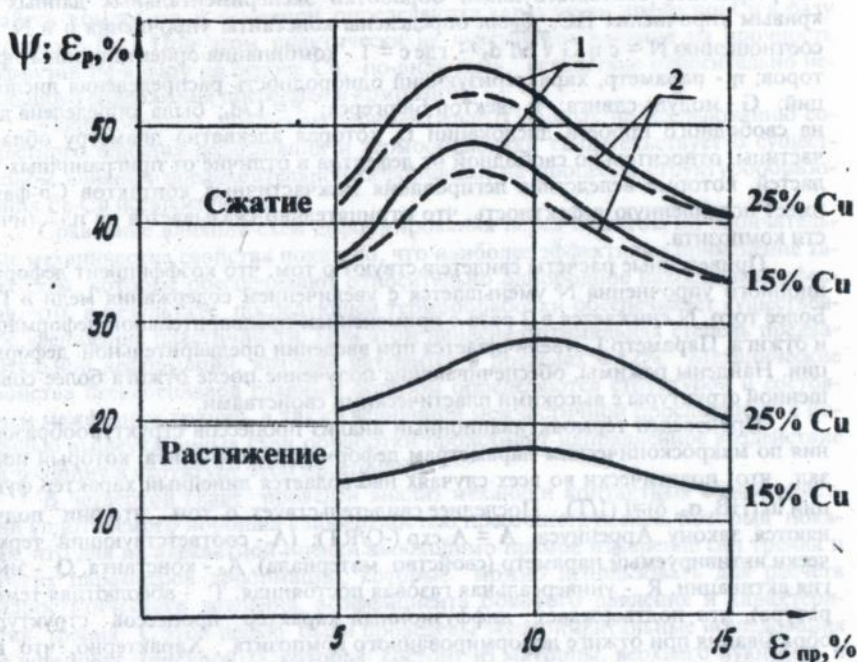


Рисунок 1 - Характеристики пластичности композитов при различных схемах деформации.

- 1 - направления предварительной деформации и деформации испытания совпадают
- 2 - направление деформации испытания перпендикулярно направлению предварительной деформации.

Исследование деформационного упрочнения ПС производилось на основании наиболее обоснованной степенной аппроксимации кривых упрочнения

$$\sigma_1 = \sigma_2 + N \epsilon_1^n \quad (2)$$

где  $\sigma_2$  - нижний предел текучести;

$\epsilon_1$  - истинная деформация;

$N, n$  - константы кривых упрочнения.

В результате соответствующей обработки экспериментальных данных по кривым упрочнения ПС, были определены константы упрочнения  $n$  и  $N$ . По соотношению  $N = c \eta G \sqrt{b/f} d_s^{-1.2}$ , где  $c = 1$  - комбинация ориентационных факторов;  $\eta$  - параметр, характеризующий однородность распределения дислокаций;  $G$  - модуль сдвига;  $b$  - вектор Бюргерса;  $f = L/d_s$ ; была определена длина свободного пробега дислокации  $L$ , которая адекватна диаметру области частицы, относительно свободной от дефектов в отличие от приграничных областей, которые вследствие легирования межчастичных контактов Си-фазой имеет повышенную дефектность, что отрицательно сказывается на пластичности композита.

Приведенные расчеты свидетельствуют о том, что коэффициент деформационного упрочнения  $N$  уменьшается с увеличением содержания меди в ПС. Более того,  $N$  снижается в 2 раза с применением предварительной деформации и отжига. Параметр  $L$  увеличивается при введении предварительной деформации. Найдены режимы, обеспечивающие получение после отжига более совершенной структуры с высокими пластическими свойствами.

Произведен термоактивационный анализ процессов структурообразования по макроскопическим параметрам деформации композита, который показал, что практически во всех случаях наблюдается линейный характер функций  $\ln(HB, \sigma_s, \delta) = f(1/T)$ . Последнее свидетельствует о том, что они подчиняются закону Аррениуса,  $A = A_0 \exp(-Q/RT)$ ; ( $A$  - соответствующий термически активируемый параметр (свойство материала),  $A_0$  - константа,  $Q$  - энергия активации,  $R$  - универсальная газовая постоянная,  $T$  - абсолютная температура), что подтверждает диффузионный характер процессов структурообразования при отжиге деформированного композита. Характерно, что все указанные зависимости аппроксимируются двумя прямыми в интервалах температур 500-600 и 600-800°C. В зависимости от исходных компонентов (чистых или взаимонасыщенных) меняется взаимное положение прямых. Однако угол их наклона в первом приближении остается одинаков. Это говорит об идентичности диффузионного процесса формирования соответствующих свойств как для чистых, так и для равновесных порошковых композиций.

По результатам обработки экспериментальных данных рассчитаны соответствующие энергии активации процессов структурообразования для низкотемпературного (500-600) и высокотемпературного (600-800°C). Сравнение значений энергии активации показало, что они идентичны для функций  $\ln HB = f(1/T)$  и  $\ln \sigma_s = f(1/T)$  и составляют в среднем 10-12 кДж/моль для температур 600-800°C и 3-5 кДж/моль для температурного интервала 500-600°C. В то же время энергия активации функции  $\ln \delta = f(1/T)$  колеблется в пределах 20-25 кДж/моль для всего температурного интервала. Таким образом, практически отсутствует разница для низко и высокотемпературных об-

структурного упрочнения кривых деформационного упрочнения ПС при деформации.

ластей  $\ln \delta = f(1/T)$ . Последнее свидетельствует о том, что природа диффузионных механизмов, которые диктуют характер изменения пластических свойств композита при отжиге, слабо зависит от температуры в исследуемом интервале. Энергия активации диффузии Fe в фазу на основе Cu, находится в пределах 2-2,5 кДж/моль для всего интервала 100-600°C. Исходя из этого следует, что процессы, обуславливающие соответствующий уровень прочностных свойств композита в основном определяются характером диффузии Cu в фазу на основе Fe. При этом практически не чувствуется влияние на прочность диффузии Fe в фазу на основе Cu, по-видимому, вследствие относительно небольшого содержания последней в композите.

Таким образом, анализ экспериментальных данных по исследованию совместного влияния деформации и термообработки свидетельствует о существенном влиянии предварительной деформации на процессы структурообразования Fe-Cu псевдосплавов.

Сравнение влияния схем деформирования перед отжигом на окончательные механические свойства показало, что наиболее эффективно применение таких схем, которые обеспечивают относительно однородное накопление дефектов, что в результате последующей термообработки обеспечивает существенное увеличение пластичности. При этом найдена оптимальная степень предварительной деформации, которая находится в пределах 8-12%. Механические свойства псевдосплавов главным образом определяются структурой и состоянием межфазных границ, а также величиной межчастичной прослойки, и с помощью вышеуказанных схем обработки происходит направленное воздействие на толщину и структуру этой прослойки.

В четвертой главе проведен анализ механики контактных взаимодействий уплотняемого порошка с поверхностью пресс-инструмента, который показал, что для их адекватной оценки необходимо прямое измерение сил трения и других параметров деформации, которые можно использовать для расчета гидростатического давления, коэффициента бокового давления и характеристик трения. С этой целью были проведены экспериментальные исследования на установке (рисунок 2), которая состоит из матрицы, верхнего пуансона и нижнего пуансона, который опирался на неподвижный блок. Матрица помещалась в подвижный узел, соединенный со штоком гидроцилиндра. На установке определялось усилие стягивания Q при фиксированном давлении прессования P, которое обуславливало соответствующую пористость брикета. Испытания производились при различных контактных условиях. Характеристики применяемых смазок приведены в таблице 1.

Таблица 1. Применяемые смазки.

№ смазки	Характеристика смазки	Примечание
1	Дисульфид молибдена MoS <sub>2</sub>	Наносилась вручную
2	Масло трансформаторное Т-750 (ГОСТ 982-80) с содержанием покола в качестве антиокислительной присадки - 90% , олеиновая кислота - 10% .	Наносилась вручную, а также подавалась под давлением

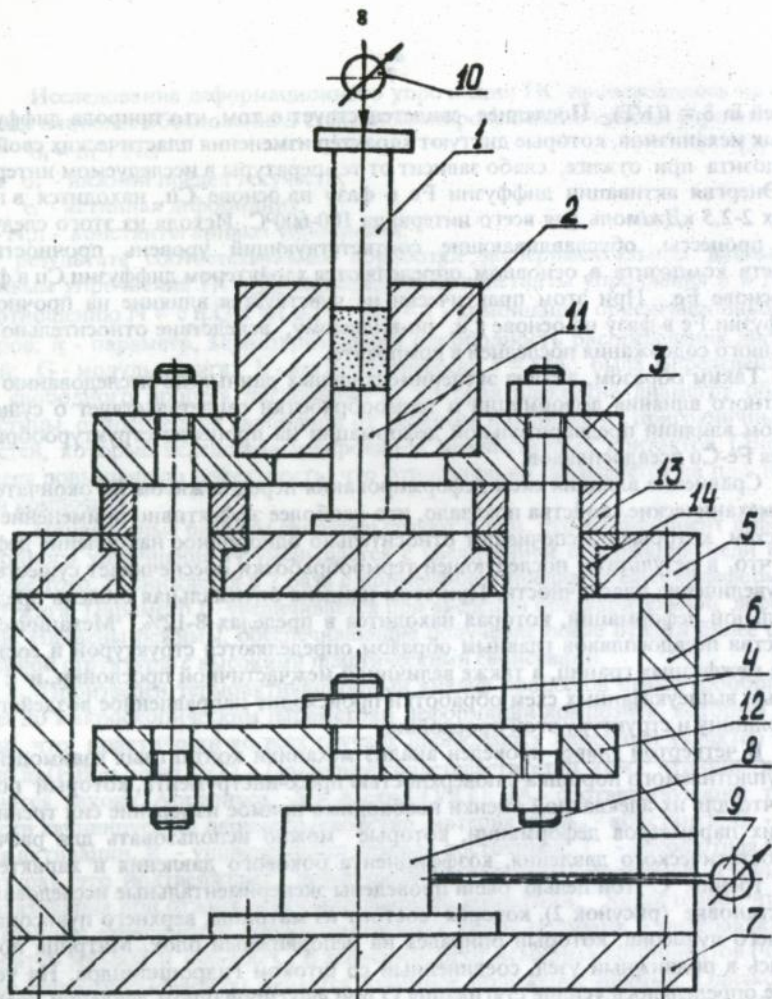


Рисунок 2 - Схема установки для прямого определения сил трения.  
 1- верхний пуансон; 2- матрица; 3- верхний фланец; 4- колонки; 5- верхняя плита; 6- стакан; 7- нижняя плита; 8- гидроцилиндр; 9,10- манометры; 11- нижний пуансон; 12- нижний фланец; 13- кольца упорные.

Учитывая, что боковое давление связано с давлением прессования через коэффициент бокового давления  $\xi$  ( $P_{\text{бок}} = P \xi$ ), коэффициент трения  $\mu$  определяют из соотношения  $Q = \mu \xi P S$ , где  $S$  - поверхность трения.

Экспериментальные результаты по влиянию различных смазок на уплотняемость порошка Н4Д2М показали, что наиболее эффективна смазка  $\text{MoS}_2$ . Применение этой смазки позволяет повысить плотность в среднем на  $0.4 \text{ г/см}^3$  при одном и том же усилии компактирования. Кроме того, обе смазки существенно снижают усилие прессования. В интервале повышенных плотностей  $6.6\text{-}7.2 \text{ г/см}^3$  давление прессования снижается на  $30\text{-}45\%$ .

Контактное касательное напряжение  $\tau_k = Q/S$  резко уменьшается при смазывании боковой поверхности пресс-формы. Когда относительная плотность  $\nu$  достигает величины  $0.88\text{-}0.9$ , что соответствует давлению прессования  $600\text{-}900 \text{ МПа}$  в зависимости от контактных условий,  $\tau_k$  снижается примерно в 4 раза для смазки № 1 и в 2.2 раза для смазки № 2.

По экспериментальным значениям  $\tau_k$  были рассчитаны коэффициенты трения  $\mu$ . Коэффициент трения возрастает примерно на  $0.03$  с увеличением относительной плотности (а следовательно, давления компактирования) как со смазкой, так и без нее. Смазка № 1 снижает коэффициент трения более чем в 2 раза во всем диапазоне плотностей. Эффективность смазки № 2 несколько ниже (снижение коэффициента трения в  $1.7\text{-}1.8$  раза). Однако существует возможность автоматической подачи этой смазки в пресс-форму, что более технологично.

На основании полученных результатов предложена технологическая схема компактирования, в которой за счет смазки контактных поверхностей можно избежать использования смазки в шихте.

Как известно, смазка в шихте улучшает ее плотность за счет облегчения межчастичных сдвигов на начальной стадии прессования от исходной пористости  $\nu = 0.8$  до  $\nu = 0.4$ . После этого уплотнение происходит только за счет объемной деформации частиц. Смазка на этом этапе оказывает влияние только на трение на контактных поверхностях. В то же время наличие смазки в шихте приводит к ряду нежелательных эффектов, так, она способствует закупорке пор на ранних стадиях прессования, что затрудняет истечение газов из порошкового тела. При дальнейшей деформации это приводит к возрастанию внутрипорового давления и необходимости значительного увеличения удельных усилий прессования при попытках достижения высокой плотности порошковой заготовки. Кроме этого, выгорание смазки при спекании приводит к росту пористости и снижению прочности межчастичных контактов. Поэтому была проведена оценка раздельного влияния контактного трения, межчастичного трения и эффекта дегазации на уплотняемость порошкового материала.

Установлено, что вакуумирование ведет к существенному снижению пористости при гидростатическом сжатии, что свидетельствует о значительном влиянии внутрипорового давления. Для оценки этого влияния был произведен расчет внутрипорового давления по соотношению Сегала В.М.

$$P/\sigma_s = P_0/\sigma_s - 2/3 \ln \nu + 2A(2\sqrt{3})^n (1-\nu) \left[ \frac{[(\nu_0(1-\nu)) / (\nu(1-\nu_0))]^{1/3}}{3n\sigma_s} \right]^n$$
 где  $P$  - гидростатическое давление;  $P_0$  - внутрипоровое давление;  $\nu_0, \nu$  - исходная и

конечная пористость;  $\sigma_s$  - условное исходное сопротивление течению твердой фазы;  $A, n$  - константы функции упрочнения.

Сравнение результатов деформирования в условиях гидростатического сжатия с прессованием без смазки показало, что конечная пористость без вакуумирования почти в два раза выше при прессовании без смазки по отношению к гидростатическому сжатию. Это свидетельствует о сильном влиянии трения о стенки пресс-формы на уплотняемость порошкового материала.

Проведенные исследования по изучению влияния вакуумирования на уплотняемость порошкового тела позволили достичь существенного повышения на 20-30% плотности брикета при дегазации полости пресс-формы.

Таким образом использование технологических процессов, состоящих в применении чистой шихты (без введения сухой смазки) и совмещении смазывания контактных поверхностей с вакуумированием уплотняемого конгломерата позволило получить детали высокой плотности (96-97%) однократным прессованием при удельных усилиях формования до 800 МПа.

В пятой главе на основании проведенных исследований дано описание технологии получения высокоплотных деталей запорной арматуры. Была принята следующая технологическая цепочка:

1. Приготовление шихты.
2. Прессование инфильтруемого каркаса и медных пропиточных брикетов.
3. Гомогенизирующее предварительное спекание каркаса.
4. Окончательное спекание - инфильтрация.
5. Деформирование (повторное прессование) в чистовой размер.
6. Отжиг.

Шихта для основных брикетов и брикетов для инфильтрацииготавливалась по стандартной процедуре. Поскольку ранее было определено, что квазиравновесный состав инфильтруемого брикета обеспечивает более высокие механические и технологические характеристики, брикет изготавливался из шихты следующего состава: железный порошок ПЖРВ 2.200.26 + 5% медного порошка ПМС-1+0.6% стеарата цинка.

Форма брикета для калибровки выбиралась из соображений, обеспечения необходимой величины радиальной деформации, которая составляла 8-10%. Для обеспечения оптимальной схемы течения материала при калибровке применялся составной формообразующий инструмент с "плавающими" элементами. При деформации фиксировалось перемещение верхнего пуансона, а также усилия на всех пуансонах с построением индикаторных диаграмм. По индикаторным диаграммам строились зависимости удельного усилия от перемещения  $R_{уд} = f(\Delta h)$ .

Установлены следующие особенности деформации кольцевых заготовок с фланцем - стадийность процессов деформации: стадия осадки тонкостенной части заготовки и стадия высадки фланца; резкий рост усилия деформации на второй стадии при заполнении углов пресс-формы. Данные особенности выражены менее ярко по сравнению с процессом деформации компактного материала, так как пластическое течение инфильтрованной заготовки характеризуется взаимной деформацией отдельных фаз и некоторым доуплотнением. Причиной такого явления является наличие по меньшей мере 2-3% пор в рассмотренных псевдосплавах с одной стороны и существенное различие в проч-

ностных и пластических свойствах материала каркаса (Fe) и инфильтрирующего материала (Cu).

Экспериментально определено, что процесс деформации имеет условно две стадии: первая - деформирование нижней части колец и вторая - деформирование фланца. При этом для детали "кольцо в корпус" первая стадия сводится к задаче осадки полого цилиндрического кольца с соотношением  $b/h < 1$  в матрице или осадке кольца с соотношением  $b/h > 1$ .

Анализ напряженно-деформированного состояния при штамповке фланца заготовок проведен методом верхней оценки (МВО). Сравнение теоретических и экспериментальных данных показало, что МВО даст весьма заниженные значения отношения  $P_n/2\tau_s$  при  $b/h < 5$ . Поэтому по результатам обработки экспериментальных данных была введена соответствующая аппроксимация, что позволило получить соотношение для определения силовых параметров процесса калибровки Fe-Cu ПС.

$- P_n/2\tau_s = 1/4 (2a^3 + a^2x^{c+1} + 2ax^{2c} + x^{3c-1})$ , где  $x = b/h$ , а и с - константы материала.

По разработанной технологии были изготовлены промышленные партии комплектующих деталей для ряда арматурных заводов Украины.

После сборки задвижки подвергались полному циклу заводских испытаний (на герметичность, износостойкость, коррозионную стойкость).

Испытания показали, что, применение Fe-Cu псевдосплавов целиком оправдано для изготовления уплотнительных элементов задвижек, которые при достаточно высокой прочности должны обладать коррозионной стойкостью и повышенной пластичностью. Получение деталей запорной арматуры с использованием открытых схем калибровки и последующего отжига позволило достичь оптимального соотношения прочностных и пластических свойств. Это дало возможность успешно производить завершающие деформационные операции (запрессовка, раскатка) при сборке герметизирующих узлов. Гидравлические испытания показали их абсолютную надежность. Испытания на износостойкость показали, что устойчивость после износа Fe-Cu ПС в 1.3-1.6 раза выше, чем у применяемых ранее литых сплавов.

При проведении коррозионных испытаний установлено, что детали из Fe-Cu ПС обладают такой же коррозионной стойкостью, как и бронзовые.

Снижение себестоимости при изготовлении колец по разработанной технологии составило 1.8-2.6 гривен на 1 кг изделий в ценах 1997 года.

## ОБЩИЕ ВЫВОДЫ

1. Экспериментально установлены зависимости прочностных и пластических свойств высокоплотных спеченых Fe-Cu ПС от режимов деформации и термообработки. Найдены рациональные режимы деформации, обеспечивающие повышение пластичности ПС на 50-60 %.

2. В результате комплексного анализа физических моделей процессов упрочнения Fe-Cu ПС установлена степень влияния режимов деформации на механические свойства материала и определены диффузионные константы процесса.

3. Выявлены закономерности достижения высокоплотного состояния порошковых материалов при варьировании контактных условий в сочетании с вакуумированием полости пресс-формы в процессе компактирования.

4. На основании анализа напряженно-деформированного состояния при деформации кольцевых заготовок получены зависимости параметров технологии от геометрии заготовки, в результате чего предложена новая технология поэтапной деформации кольцевых заготовок с внутренним и наружным фланцем.

5. Разработана комплексная технология штамповки и отжига Fe-Cu ПС, обеспечивающая повышение пластичности материала на 40-50 % при высоком уровне прочностных свойств ( $\sigma_s = 350$  МПа,  $\sigma_b = 520$  МПа).

6. Предложена технология компактирования с вакуумированием порошковых материалов при рациональных контактных условиях, в результате чего достигнута плотность заготовок до 97 % однократным прессованием без введения смазки в шихту.

7. Разработаны и опробованы новые конструкции формообразующего инструмента, обеспечивающие поэтапную деформацию сложных по форме заготовок, применение которого позволило реализовать в производственных условиях технологию калибровки кольцевых деталей запорной арматуры.

8. Предложен штамп для компактирования порошковых изделий с одновременным регулированием контактных условий и вакуумированием полости пресс-формы.

9. Разработаны технические условия и методика расчета комбинированных процессов калибровки и термообработки деталей запорной арматуры из Fe-Cu ПС. Внедрена технология получения герметизирующих элементов гидрозадвижек из вышеуказанных композиций, что позволило повысить надежность и долговечность запорных узлов. При этом снижение себестоимости 1 кг деталей составило 1,8-2,6 грн в ценах 1997 года.

## ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИИ ОТРАЖЕНО В РАБОТАХ

1. Кузьмин Л.Е. Механизмы деформационного упрочнения Fe-Cu псевдосплавов // Ресурсосберегающие технологии получения и обработки давлением материалов в машиностроении. Вестник Восточноукраинского университета. Выпуск №1. - Луганск: Изд-во ВУГУ. - 1997. - С.14-20.

2. Кузьмин Л.Е., Мархайчук П.И., Стоянов А.А. Парадный М.Е. Получение герметизирующих элементов запорной арматуры из порошковых композиций // Ресурсосберегающие технологии получения и обработки давлением материалов в машиностроении. Вестник Восточноукраинского университета. Выпуск №1. - Луганск: Изд-во ВУГУ. - 1997. - С.156-161.

3. Volf M. Leshchinsky, Gennady S. Kalyuzhny, Mark M. Lvovsky, Leonid Ef. Kuzmin. Optimization of Contact Conditions in the Process of Compacting Highly Dens: Products // Proceedings of PM<sup>2</sup> TEC'96 World Congress on Powder Metallurgy and Particulate Materials. - Princeton, N.J. - 1996.

4. Лещинский В.М., Вейнерт Х., Кузьмин Л.Е. Влияние контактных условий на уплотнение порошковой среды // Ресурсосберегающие технологии получения и обработки давлением материалов в машиностроении. Вестник Восточноукраинского университета. Выпуск №1. - Луганск: Изд-во ВУГУ. - 1997. - С.62-72.

5. Кузьмин Л.Е., Цыркин А.Т., Стоянов А.А. Парадный М.Е. Термоактивационный анализ изменения механических свойств инфильтрированных материалов на основе железа // Ресурсосберегающие технологии получения и обработки давлением материалов в машиностроении. Вестник Восточноукраинского университета. Выпуск №1. - Луганск: Изд-во ВУГУ. - 1997. - С.33-36.

6. Кузьмин Л.Е., Лещинский В.М., Стоянов А.А. Влияние технологии пластической деформации на размерную точность порошковых шестерен. // Материалы международной научно-технической конференции "Качество и долговечность зубчатых передач и редукторов". - Харьков. - 1995. - С.38.

### АНОТАЦІЯ

Кузьмін Л.Ю. Розробка, дослідження, та освоєння комплексних технологій деформування високощільних порошкових матеріалів. - Рукопис.

Дисертація на здобуття вченого ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.03.05-процеси та машини обробки тиском. Східноукраїнський державний університет, Луганськ, 1997.

Захищаються 6 наукових праць, які містять в собі експериментально-теоретичні дослідження відносно залежності міцностних та пластичностних властивостей Fe-Cu псевдосплавів від режимів деформації та термообробки; ступень впливу деформаційних режимів на механічні властивості матеріалу; закономірності набування високощільного стану порошкових матеріалів з варюванням контактних умов в сполученні з вакуумуванням порожнини пресформи в процесі ушільнення; залежності параметрів технології від геометрії заготовки.

Запропонована технологія компактування порошкових матеріалів при раціональних контактних умовах з вакуумуванням, в результаті якої досягнута щільність до 97% однократним пресуванням без введення мастила в шихту.

На підставі результатів дослідження розроблені та освоєні технології отримання герметизуючих елементів засувної арматури з Fe-Cu композицій.

Ключові слова: компактування, псевдосплав, щільність, контактні умови, вакуумування, засувна арматура, деформування.

### АННОТАЦИЯ

Кузьмин Л.Ю. Разработка, исследование, и освоение комплексных технологий деформации высокоплотных порошковых материалов. - Рукопись.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.03.05-процессы и машины обработки давлением. - Восточноукраинский государственный университет, Луганск, 1997.

Защищаются 6 научных работ, которые содержат экспериментально-теоретические исследования относительно зависимости прочностных и пласти-

ческих свойств Fe-Cu псевдосплавов от режимов деформации и термообработки; степень влияния деформационных режимов на механические свойства материала; закономерности достижения высокоплотного состояния порошковых материалов при варьировании контактных условий в сочетании с вакуумированием полости прессформы в процессе уплотнения; в зависимости параметров технологии от геометрии заготовки.

Предложена технология компактирования порошковых материалов при рациональных контактных условиях с вакуумированием, в результате которой достигнута плотность до 97% однократным прессованием без введения смазки в шихту.

На основе результатов исследования разработаны и освоены технологии получения герметизирующих элементов запорной арматуры из Fe-Cu композиций.

Ключевые слова: компактирование, псевдосплав, плотность, контактные условия, вакуумирование, запорная арматура, деформирование.

### ANNOTATION

Kuzmin L.Yef. Development, investigation & introduction of the complex technologies of deformation of highly dense powder materials into the practice. - Manuscript.

The thesis for the degree of Candidate of technical sciences (Ph. Dr.) on speciality 05.03.05 - Processes & machines for plastic metal working. - East-Ukrainian State University, Lugansk, 1997.

6 scientific works are presented to defend. They contain the experimental-theoretical investigation of the interrelation of strength and plasticity properties of Fe-Cu pseudoalloys from the regimes of deformation and heat treatment; the degree of influence of deformational regimes on mechanical characteristics of the material; regularities of obtaining high density state of the material when changing contact conditions combined with vacuum processing of mold cavity; interrelation between technological parameters of the process and preform configuration.

Compaction technology of powder materials using rational contact conditions together with vacuum processing has been proposed. It enables to achieve density of the product up to 97 % by single compaction avoiding application of technological lubricants in the mixture. On a basis of the investigation results the technology of manufacturing the seal elements of stop valves from Fe-Cu compounds has been developed and introduced into the practice.

Key words: compaction, pseudoalloys, density, contact conditions, vacuum processing, stop valves, deformation.



Подписано к печати 05.08.97. Формат 60x84 1/16

1.3 п.л. Тираж 100. Заказ №301.

---

Ротапринт ВУГУ. 348034, г.Луганск, кв.Молодежный, 20а.

ности свойств. Fe-Cu псевдосплавов от режима деформации и термической обработки; выявлены основные деформационные режимы на металлотехнических сплавах Fe-Cu; материалы, характеризующиеся достигшими высокоплотного состояния порошковых материалов при варьировании контактных условий в сочетании с вакуумированием полости прессформы в процессе уплотнения; в техничности разработок технологии от сложным материалам.

Предложена технология изготовления изделий из порошковых материалов при рациональных контактных условиях и вакуумировании, в результате которой достигнута плотность до 97% относительно исходных данных без введения сил  $N_1$  и  $N_2$ .

На основе результатов исследования разработаны и освоены технологические процессы термической обработки элементов заданной структуры из Fe-Cu сплавов.

Ключевые слова: конформирование, псевдосплав, плотность, контактные условия, вакуумирование, заданная структура, деформирование.

#### ANNOTATION

Kuzmin I. Yef. Development, investigation & introduction of the complex technologies of deformation of highly dense powder materials into the practice. - Manuscript.

The thesis for the Degree of Candidate of Technical Sciences (Ph. D.) on specialty 03.04.25 - Processes & machines for plastic metal working. - High Ukrainian State University, Lugansk, 1997.

6 scientific works are presented to defend. They contain the preliminary theoretical investigation of the interrelation of strength and plastic properties of Fe-Cu pseudosploys from the regimes of deformation and heat treatment; the study of influence of deformational regimes on mechanical characteristics of the materials; regularities of obtaining high density state of the material when changing contact conditions combined with vacuum processing of mold cavity; interrelation between technological parameters of the process and preform configuration.

Compaction technology of powder materials using rational contact conditions together with vacuum processing has been proposed. It enables to achieve density of the product up to 97% by single compaction avoiding application of technological aids into the mixture. On a basis of the investigation results the technology of manufacturing the seal elements of stop valves from Fe-Cu compounds has been developed and introduced into the practice.

Key words: compaction, pseudosploys, density, contact conditions, vacuum processing, stop valves, deformation.

Получено в печать 02.08.97. Формат 69x84 мм.

Л. С. н. л. Тираж 100 экз. №301.

Подписано БИУ. №8034, г. Луганск, за подписью \_\_\_\_\_



**AV 38.448**