

621.76
С 13

**ГОСУДАРСТВЕННОЕ НАУЧНО-ПРОИЗВОДСТВЕННОЕ
ОБЪЕДИНЕНИЕ ПОРОШКОВОЙ МЕТАЛЛУРГИИ
НАН БЕЛАРУСЬ**



УДК 621.762 .4

САВИЦКИЙ Василий Васильевич

**ПОЛУЧЕНИЕ ТОНКОСТЕННЫХ ПОРОШКОВЫХ ТРУБ
ШНЕКОВЫМ ФОРМОВАНИЕМ ПЛАСТИФИЦИРОВАННОГО
ПОРОШКА В ЦИЛИНДРИЧЕСКОЙ ЧАСТИ ЭКСТРУЗИОННОГО
ИНСТРУМЕНТА**

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

по специальности

05.16.06 – Порошковая металлургия и композиционные материалы

Минск, 2010

Работа выполнена в Учреждении образования «Витебский государственный технологический университет»

Научный руководитель Витязь Петр Александрович, академик НАН Беларуси, доктор технических наук, профессор, Первый заместитель Председателя президиума НАН Беларуси

Официальные оппоненты: Капцевич Вячеслав Михайлович, доктор технических наук, профессор, зав. кафедрой "Технология металлов", Учреждение образования «Белорусский государственный аграрный технический университет»



Азаров Сергей Михайлович, кандидат технических наук, ведущий научный сотрудник, Государственное научное учреждение "Институт общей и неорганической химии НАН Беларуси"

Оппонирующая организация Государственное научное учреждение «Физико-технический институт Национальной академии наук Беларуси»

Защита диссертации состоится 05 марта 2010 г. в 14⁰⁰ на заседании совета по защите диссертаций Д 02.40.01 в Государственном научно-производственном объединении порошковой металлургии по адресу: 220005, г. Минск, ул. Платонова, 41, тел. +(375 17) 292-82-71, факс +(375 17) 210-05-74, e-mail: gorokhov47@mail.ru

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке государственного научно-производственного объединения порошковой металлургии

Авторецензия

Ученый совет



3., 2010
010

б/и

КРАТКОЕ ВВЕДЕНИЕ

Экструзия широко используется при изготовлении из пластифицированных порошков изделий различного назначения. В порошковой металлургии выдавливанием получают пористые трубы, порошковую проволоку и другие изделия.

Пористые проницаемые трубы применяются в фильтрующих и теплообменных устройствах, в качестве звуко- и пламепреградителей, азраторов. Одним из способов повышения эксплуатационных свойств обычных пористых труб может стать уменьшение толщины их стенки. Такие изделия в сравнении с обычными проницаемыми трубами обладают очевидными преимуществами. Тонкостенные пористые трубы позволяют снизить сопротивление потоку фильтруемых жидкостей или газов и уменьшить потери энергии в гидравлических системах. Облегчается регенерация тонкостенных труб, благодаря чему увеличивается ресурс их работы. Кроме того, использование тонкостенных изделий позволяет уменьшить материалоемкость и соответственно сократить затраты на приобретение дорогостоящего сырья. Перечисленные преимущества делают использование тонкостенных труб экономически эффективным.

Исследование процесса формования пластифицированных смесей при экструзии заготовок в виде труб является важной задачей, решение которой позволит разработать производительную технологию их изготовления и создать эффективные пористые изделия с улучшенными эксплуатационными характеристиками. Полученные результаты могут использоваться при разработке технологических процессов получения длинномерных изделий различного профиля.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Связь с крупными научными программами и темами. Работа выполнялась в соответствии со следующими заданиями и программами:

- государственной программой прикладных научных исследований «Полимерные материалы и технологии» на период 2006–2010 годы (ГР № 20063216 от 16.11.2006 г.);
- научно-исследовательской работой «Поиск и разработка новых высокоэффективных процессов обработки и промышленной экологии» на период 2004–2006 годы (ГР № 20043303 от 27.09.2004 г.).

Цель и задачи исследования. Целью работы является создание производительного ресурсосберегающего процесса получения тонкостенных проницаемых труб шнековым формованием пластифицированного порошка в цилиндрической части экструзионного инструмента.

Для достижения поставленной цели потребовалось решить следующие задачи:

1. Разработать схему изготовления тонкостенных труб из пластифицированных парафином порошков бронзы, которая отражает особенности

процесса их формирования в экструзионном инструменте, найти основные параметры, определяющие условия получения тонкостенных пористых проницаемых изделий.

2. Разработать модель процесса экструзии порошковых тонкостенных труб на шнековом прессе, которая описывает формирование пластифицированного порошка в цилиндрической части экструзионного инструмента, позволяет определить напряжения в материале, выдавливаемом в зазор между цилиндрическим участком матрицы и неподвижной или подвижной оправкой, рассчитать оптимальную длину цилиндрической части формирующего инструмента.

3. Экспериментально исследовать влияние геометрических параметров формирующего инструмента на силовые характеристики процесса экструзии тонкостенных заготовок из пластифицированных порошков бронзы, определить их механические и технологические свойства, исследовать структуру и свойства готовых изделий.

4. Разработать технологию изготовления тонкостенных порошковых труб, обеспечивающую получение изделий с заданным комплексом свойств, и внедрить её в промышленное производство.

Объект исследований – технологический процесс получения пористых проницаемых тонкостенных труб из пластифицированных порошков бронзы методом экструзии на шнековом прессе.

Предмет исследования – параметры процесса на стадии формирования порошковых тонкостенных труб в цилиндрической части экструзионного инструмента и характеристики пористого материала в готовых изделиях.

Положения, выносимые на защиту.

1. Расчетная модель процесса формирования порошков бронзы, пластифицированных 9–12% парафина (по массе), для которых давление истечения составляет 18–25 МПа, причем, поскольку все межчастичное пространство заполнено парафином и при давлении 10–20 МПа пластифицированные порошки становятся несжимаемыми, формируемые материалы обладают упругими свойствами, характеризующимися модулями Ламе и составляющими для приведенных материалов 230–232 МПа – модуль объемного сжатия и 65–100 МПа – модуль сдвига, и при экструзии таких материалов действующие напряжения снижаются более чем в 2,2 раза, при этом модель отражает особенности экструзии тонкостенных заготовок и позволяет определить распределение действующих напряжений по длине цилиндрического участка матрицы, найти его оптимальную длину по известному давлению истечения пластифицированного порошка, упругим свойствам формируемого материала и геометрическим параметрам изделия.

2. Экспериментальные зависимости упругих свойств пластифицированных порошков (модулей Ламе) и плотности от давления прессования и содержания пластификатора в смеси, пределов прочности пластифицированных порошков, пределов текучести труб, находящихся под действием силы тяжести, давления истечения пластифицированных порошков, прибор и установка для проведения исследований и изготовления опытных

партий изделий, позволившие уточнить механизм уплотнения пластифицированных порошков, впервые определить упругие характеристики порошков бронзы, относительное поперечное упругое последствие которых составляет 0,21–0,28, относительное продольное упругое последствие – 0,061–0,073, коэффициент Пуассона – 0,35–0,39, модуль Юнга – 182–267 МПа, и на их основе получить данные о несжимаемости пластифицированного порошка бронзы при действующем давлении прессования, рассчитать модули Ламе и оптимальные размеры цилиндрического участка формирующего инструмента, причем пластификатор предохраняет частицы порошка от деформирования, гарантирует формирование труб с регулярной пористой структурой, отличной от структуры известных проницаемых изделий, а экструзия проницаемых труб при оптимальной длине цилиндрической части матрицы позволяет снизить силовые затраты.

3. Структура и свойства проницаемых труб, изготовленных при совместной экструзии трубы из пластифицированного порошка бронзы с оправкой из пластифицированного оксида алюминия и спеченных с четырьмя изотермическими выдержками, благодаря чему обеспечено формирование пористой структуры, в которой увеличен размер пор до 0,099 мм и пористость труб до 0,43 за счет наиболее удаленного контакта частиц порошка, обеспечиваемого пластификатором, заполнившим все межчастичное пространство, коэффициент проницаемости пористых изделий увеличен до $381,3 \cdot 10^{-13} \text{ м}^2$, а также устранена неравномерность пористости.

4. Технология формирования тонкостенных заготовок, включающая операции, при выполнении которых предотвращается деформирование тонкостенных труб, как при их формировании, так и при спекании, обеспечивается формирование регулярной пористой структуры, и внедренные тонкостенные пористые трубы, изготовленные в соответствии с технологическим процессом ТП 01165.715141.01, на опытную партию которых разработаны технические условия ТУ ВУ 300031282.049-2008, использованные в качестве фильтров для очистки масла и СОЖ в гидравлических системах металлорежущих станков, в результате применения которых устранена неравномерность проницаемости в изделиях, увеличена их пористость в сравнении с аналогами на 6–7 % и за счет этого повышена проницаемость труб примерно на порядок при сохранении тонкости очистки на уровне 30–35 мкм и повышении ресурса работы фильтров на 20 %.

Личный вклад соискателя.

Автором работы совместно с руководителем определена цель работы, задачи исследований, области применения тонкостенных проницаемых труб. Автором диссертации предложены пути решения поставленных задач, разработана эффективная схема экструзии тонкостенных труб, предложена расчетная модель формирования пластифицированного порошка в экструзионном инструменте, разработан прибор для проведения исследований упругих свойств пластифицированных порошков, выполнены экспериментальные исследования технологических и механических свойств пластифицированных порошков, рассчитаны модули Ламе исследуемых материалов, напряжения в

материале, находящемся в цилиндрической части формирующего инструмента, и определена её оптимальная длина, разработана типовая технология формования тонкостенных заготовок, в состав которой входят операции, препятствующие деформированию тонкостенных труб.

Совместно с докт. техн. наук Пятовым В. В. обосновано понятие тонкостенности труб, получен численный критерий изделий из пластифицированных порошков, разработаны режимы спекания тонкостенных заготовок из пластифицированного парафином порошка бронзы. При участии докт. техн. наук Клименкова С. С. изготовлена опытно-промышленная установка, использованная для определения силовых параметров экструзии и изготовления опытных партий проницаемых изделий различного назначения. Совместно с Силивончиком В. В. выполнен анализ расчетных зависимостей для определения напряжений в материале, находящемся в цилиндрической части формирующего инструмента.

Апробация результатов диссертации.

Основные положения и результаты работы докладывались и обсуждались на следующих конференциях, семинарах и выставках: XXX научно-технической и научно-методической конференции преподавателей и студентов (г. Витебск, 1997 г.), международной научно-технической конференции «Новые ресурсосберегающие технологии и улучшение экологической обстановки в легкой промышленности и машиностроении» (г. Витебск, 1998 г.), конференции, посвященной 60-летию механического факультета СПГУТД (г. Санкт-Петербург, 1998 г.), 41 научно-технической конференции преподавателей и студентов учреждения образования «Витебский государственный технологический университет» (г. Витебск, 2008 г.), 8-й международной научно-технической конференции «Новые материалы и технологии: порошковая металлургия, композиционные материалы, защитные покрытия, сварка» (г. Минск, 2008 г.).

Опубликованность результатов диссертации.

Результаты и основные положения диссертационной работы изложены в 11 научных работах. Среди них 5 статей в рецензируемых сборниках (всего 1,5 авторских листа), 2 статьи в научных сборниках, 2 тезисов докладов, 2 патента Республики Беларусь (всего 0,75 авторских листа).

Структура и объем диссертации.

Диссертационная работа состоит из введения, общей характеристики работы, пяти глав, заключения, библиографического списка и приложений. Общий объем диссертации составляет 180 страниц. Работа содержит 112 страниц печатного текста, 41 рисунок и схему на 15 страницах, 7 таблиц на 4 страницах, приложения на 38 страницах, библиографический список, включающий список использованных источников из 88 наименований на 9 страницах и список публикаций соискателя из 11 наименований на 2 страницах.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во **введении** обоснована актуальность темы диссертационной работы,

отмечена необходимость выделения тонкостенных проницаемых изделий в отдельную группу, определена основная цель работы, показана научная новизна и практическая значимость выполненных исследований.

В общей характеристике работы приведена связь работы с крупными научными программами и темами, сформулирована цель и задачи исследований, выделены основные положения, выносимые на защиту, личный вклад соискателя, апробация результатов работы, опубликованность, структура и объем диссертации.

В первой главе содержится аналитический обзор научных публикаций о состоянии теории прессования из порошков заготовок в виде труб и основных свойствах проницаемых материалов. К числу таких свойств относятся пористость и равномерность ее распределения по объему сформованной заготовки, размеры пор, тонкость фильтрации, равномерность проницаемости.

Показано, что существующими методами затруднительно изготавливать трубы с малой толщиной стенки, поскольку в большинстве случаев получаемые проницаемые изделия имеют неравномерную пористость по объему, которая снижает эксплуатационные характеристики труб. Одним из способов, который обеспечивает формирование труб с равномерным или заданным распределением пористости по объему формируемого изделия, является экструзия проницаемых изделий на шнековых прессах, осуществляемая в непрерывном режиме. Отмечена важная роль, которую имели работы Витязя П. А., Клименкова С. С., Пятова В. В. для внедрения шнекового формирования пластифицированных порошков в промышленное производство.

Приведены преимущества, которые обеспечивают проницаемые тонкостенные трубы, полученные шнековым формированием из пластифицированных порошков, и отмечена целесообразность выделения этих изделий в отдельный класс, обоснованная следующими основными факторами:

- при формировании тонкостенных труб необходимо сильно изменять свойства исходного порошка;
- тонкостенные заготовки, полученные из пластифицированных порошков, требуют разработки новых технологических процессов;
- течение пластифицированных порошков через цилиндрический зазор малого сечения при экструзии тонкостенной заготовки отличается рядом особенностей, требующих отдельного теоретического исследования.

Отмечено, что до настоящего времени отсутствует определение и численный критерий тонкостенности цилиндрических заготовок, полученных из порошковых материалов. В работе предложено к тонкостенным относить изделия, которые деформируются под собственным весом. Получен критерий тонкостенности в предположении, что труба, расположенная горизонтально, находится под действием силы тяжести и опасным является осевое горизонтальное сечение, в котором действуют напряжения от веса верхней части трубы. Зависимость имеет следующий вид

$$r + r_i \geq \frac{4\sigma_T}{\pi \rho g}, \quad (1)$$

где r , r_i – соответственно наружный и внутренний радиус трубы, σ_T – предел текучести материала, из которого изготовлена труба, ρ – плотность материала заготовки; g – ускорение свободного падения.

Отсутствие данных о пределах текучести пластифицированных порошков привело к необходимости определения соответствующих величин. Экспериментально определены значения толщины стенки трубы, при которых изделия деформируются после экструзии под действием собственного веса. На основании полученных результатов определены пределы текучести исследовавшихся пластифицированных порошковых материалов.

Приведенная выше зависимость позволила определить толщину стенки формуемой трубы, которая обеспечивает необходимые эксплуатационные свойства готового изделия. Кроме этого, по заданным размерам готового изделия может быть определена плотность формуемой трубы, обеспечивающая заданную пористость, или по заданному размеру трубы и ее плотности можно определить недостающий размер сформованной заготовки.

На основе выполненного обзора установлено, что для промышленного использования целесообразно применять пористые проницаемые трубы из сферических порошков бронзы с толщиной стенки от 1,6 до 3,2 мм. Однако их изготовление из чистых порошков существующими методами формования затруднительно, поскольку технически сложно обеспечить подачу порошка в узкий зазор формообразующего инструмента, причем вследствие арочного эффекта появляется брак в изделиях. Применение пластифицированных парафином порошков для изготовления тонкостенных заготовок в виде труб прессованием или экструзией не устраняет проблем при формовании изделий, так как после выхода из экструзионного инструмента труба начинает деформироваться под действием собственного веса. Применение традиционных методов спекания свободно насыпанного порошка в виде листов и их последующий изгиб и сварка (или пайка) места стыка существенно ухудшает эксплуатационные характеристики пористых изделий, например, равномерность проницаемости. Кроме этого деформирование спеченного листа приводит к искажению приобретенной пористой структуры, которая характеризуется наиболее близким расположением частиц порошка, полученным при их формовании.

Анализ существующих методов изготовления позволил разработать новую эффективную схему процесса экструзии тонкостенных труб, в соответствии с которой формование осуществляется при совместной экструзии трубы из пластифицированного порошка бронзы с оправкой из пластифицированного оксида алюминия.

В конце главы определена цель работы и обозначены задачи, которые необходимо решить в ходе выполнения исследований.

Во второй главе изложены методики, с помощью которых определены модули Ламе, исследованы пределы прочности и текучести пластифицированных порошков, их уплотняемость, упругое последствие прессовок под нагрузкой и после ее снятия, зависимости давления истечения пластифицированных порошков от количества продавливаний через

формующий инструмент, силовые параметры процесса экструзии, разработаны схемы экспериментальных приборов и опытно-промышленной установки для выполнения исследований и изготовления труб.

Для исследований использован порошок оловянно-фосфористой бронзы БрОФ10-1 ТУ26-130-76, рассеянный на фракции на ситовом анализаторе модели 029, который смешивали с парафином медицинским ГОСТ 23683-89 в пропорции, обеспечивающей заполнение пластификатором всего межчастичного пространства (9–12% по массе) и формирование определенной пористой структуры.

Модули Ламе рассчитаны на основе данных о модулях Юнга и коэффициентах Пуассона, которые определены по результатам экспериментальных исследований поперечного и продольного упругого последствия прессовок из исследуемых материалов в пределах давлений, сравнимых с давлением истечения пластифицированного порошка. Исследования выполнены с помощью прибора специальной конструкции, в котором при заданном давлении прессования определяли размеры прессовки из пластифицированного порошка под давлением и после снятия нагрузки.

Пределы прочности пластифицированных порошков определены путем измерения удельной прочности стержней, формируемых на капиллярном вискозиметре до момента их отрыва от канала мундштука. Из соотношения для свободной длины рассчитаны пределы прочности исследовавшихся материалов.

Пределы текучести пластифицированных порошков рассчитаны на основе полученного критерия тонкостенности и экспериментальных данных о минимальной критической толщине стенки трубы, при которой она деформируется под действием собственного веса. Для проведения исследований формовали трубы одинакового наружного диаметра с различной толщиной стенки и при температуре формования (32–35 °С) были определены заготовки, деформирующиеся под собственным весом. Плотность заготовок определена на основе результатов исследований уплотняемости порошков, содержащих различное количество пластификатора.

Для расчета оптимальной длины цилиндрической части матрицы экспериментально определено давление истечения пластифицированного порошка, величина которого зависит от числа продавливаний через мундштук вискозиметра. При многократном продавливании смеси на стадии ее подготовки обеспечивается равномерное распределение пластификатора в объеме порошка, что гарантирует стабильность процесса формования и свойств готовых изделий. Трение при формовании тонкостенных труб не исследовалось, использованы данные из научных литературных источников, в которых приведены зависимости коэффициентов трения от давления прессования для аналогичных пластифицированных материалов. Силовые параметры процесса экструзии замеряли с помощью тензометрии на опытно-экспериментальной установке, общий вид которой показан на рисунке 1. Установка обладает широкими технологическими возможностями, обеспечивает формование проницаемых изделий, сплошных профилей

различной формы, многослойных изделий, позволяет при изменении гео-



Рисунок 1 – Общий вид опытно-экспериментальной установки

метрических параметров матрицы замерять величину усилия, развиваемого шнеком и действующего на формирующий инструмент при реализации выбранных схем изготовления труб. На величину развиваемого шнековым прессом усилия оказывает влияние температура формируемого пластифицированного порошка.

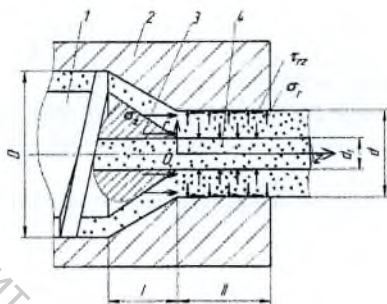
Экспериментально установлено, что для стабильного протекания процесса формования при оптимальных силовых затратах температура в зоне экструзии тонкостенных труб должна составлять 32–35 °С. Увеличение температуры нарушает стабильность процесса формования, при снижении температуры формования в два раза наблюдается увеличение силовых затрат на формование труб в 4 раза.

Тонкостенные трубы спекали в печи KS600/25 в среде водорода (ГОСТ 3022-80), подачу которого обеспечивали с помощью системы газоснабжения СГС-2 (ТУ 6-09-5375-88).

Для оценки свойств спеченных тонкостенных проницаемых труб использованы стандартные методики и приборы. Определение пористости образцов выполнено в соответствии с ГОСТ 18898-89 (ИСО 2738-87). Размеры пор образцов измерены по ГОСТ 26849-86 (ИСО 4003-77). Оценка проницаемости изделий выполнена по ГОСТ 25283-93. Микроструктура наружной и внутренней поверхности тонкостенных пористых труб исследована на сканирующем микроскопе «Mira» (фирмы «Tescan» Чехия) при увеличении 50 раз.

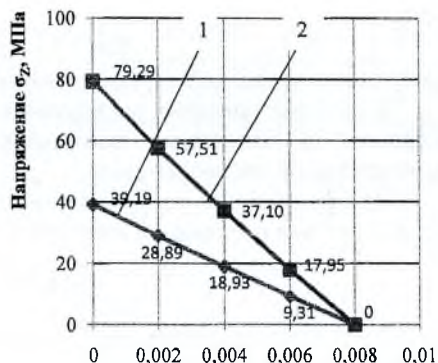
В третьей главе приведены результаты теоретических исследований процесса экструзии тонкостенных труб. Для создания расчетной модели процесса формования тонкостенных труб предложено считать формируемый порошковый материал, находящийся в цилиндрической части матрицы, обладающим упругими свойствами и состоящим из порошка и равномерно распределенного в нем пластификатора, заполняющего все межчастичное пространство.

Разработана эффективная схема формования тонкостенных труб, приведенная на рисунке 2, а. На рисунке 2, б показано сравнение напряжений, которые возникают в зоне формования тонкостенных труб при их экструзии с подвижной и неподвижной оправкой на примере формования на шнековом прессе тонкостенной трубы из порошка бронзы с парафином наружным диаметром 16 мм с толщиной стенки 1,5 мм. При реализации новой схемы формования напряжения в материале из-за отсутствия трения по внутренней поверхности трубы уменьшаются более чем в 2 раза.



а

1 – полый шнек; 2 – конусная насадка; 3 – матрица; 4 – оправка



б

Рисунок 2 – Расчетная схема для определения напряжений в материале и значения напряжений в формируемом материале при изготовлении тонкостенной трубы из БрОФ 10-1+ 12% парафина: 1 – с подвижной оправкой; 2 – с неподвижной оправкой

Для выполнения теоретических исследований использован обобщенный закон Гука, уравнение движения упругого тела в направлении экструзии и закон трения, связывающий нормальные и касательные напряжения.

Обобщенный закон Гука имеет вид

$$\begin{cases} \sigma_i = \lambda \Delta + 2\mu \varepsilon_i \\ \tau_{ij} = \mu \gamma_{ij} \end{cases} \quad (2)$$

где σ_i – нормальные напряжения, действующие по соответствующим направлениям r, θ, z ; λ, μ – коэффициенты Ламе (λ – модуль объемного сжатия; μ – модуль сдвига); Δ – объемная деформация порошка в зазоре формирующего инструмента; ε_i – деформация по соответствующим направлениям; τ_{ij} – касательные напряжения; γ_{ij} – углы сдвига в цилиндрических координатах.

Для описания движения формируемой трубы в направлении экструзии использовано дифференциальное уравнение следующего вида

$$\frac{\partial \tau_{rz}}{\partial r} + \frac{\partial \tau_{\theta z}}{\partial \theta} + r \frac{\partial \sigma_z}{\partial z} = \rho \frac{\partial^2 W_z}{\partial t^2}, \quad (3)$$

где ρ – плотность тела; W_z – перемещение частиц материала в направлении экструзии.

Трение в зоне деформации учитывается следующим образом

$$\tau_{rz} = f \sigma_r, \quad (4)$$

где f – коэффициент трения, величина которого для пластифицированных порошков в широком интервале давления прессования остается практически постоянной.

Для совместного решения приведенных уравнений и определения постоянной интегрирования введено граничное условие, имеющее следующий

вид

$$\text{при } z = l \quad \sigma_z = 0, \quad (5)$$

где σ_z – напряжение, действующее в направлении экструзии трубы.

В пределах принятых допущений выполнен расчет напряжений, которые возникают в материале, находящемся в зазоре между оправкой и цилиндрической частью матрицы.

При формовании труб с неподвижной оправкой расчетная зависимость для определения напряжений имеет вид

$$\sigma_z = \frac{6\lambda\mu + 4\mu^2}{f\lambda} A \left(e^{\frac{2f\lambda}{(\lambda+2\mu)(r-r_1)(1-z)}} - 1 \right), \quad (6)$$

где A – относительное поперечное упругое последствие (принято $A = \text{const}$); l – длина цилиндрического участка матрицы; r – радиус отверстия в матрице; r_1 – радиус оправки; z – координата, отсчитываемая от входа в цилиндрическую часть матрицы.

При совместной экструзии трубы с оправкой зависимость имеет вид

$$\sigma_z = \frac{6\lambda\mu + 4\mu^2}{f\lambda} A \left(e^{\frac{2f\lambda r}{(\lambda+2\mu)(r^2-r_1^2)(1-z)}} - 1 \right). \quad (7)$$

Полученные зависимости использованы для расчета оптимальной длины цилиндрической части матрицы. Оптимальной считается такая длина цилиндрической части матрицы, при которой напряжения в пластифицированном порошке соответствуют давлению истечения формующего материала. В противном случае высокие напряжения приводят к непроизводительным потерям силовых затрат в зоне формования и растрескиванию изделий, а при малых напряжениях нет возможности для выдавливания годной заготовки. Давление истечения для данного пластифицированного порошкового материала является величиной постоянной и зависит от количества введенного пластификатора. Расчет по определению оптимальной длины цилиндрической части матрицы выполнен с помощью табличного редактора (Microsoft Office Excel 2007). При расчете вводят значения модулей Ламе, величину относительного упругого последствия, коэффициента трения, геометрические параметры цилиндрической части формующего инструмента и находят теоретическое напряжение в материале для произвольного значения длины матрицы, которое сравнивают с известным значением давления истечения с помощью целевой функции. Значение функции находят как разность между теоретическим напряжением и экспериментальным значением давления истечения пластифицированного порошка. Расчет выполняют до тех пор, пока не будет выполнено условие, при котором значение целевой функции достигает нуля. Определение оптимальной длины цилиндрической части матрицы позволяет осуществлять формование тонкостенных проницаемых труб с минимальными силовыми затратами и уменьшает вероятность нарушения стабильности процесса формования.

В четвертой главе приведены результаты экспериментальных исследований. Выявлены отличия в характере уплотнения пластифицированных порошков, которые определяются содержанием

пластификатора. При содержании парафина, примерно равном объему межчастичных пор, пластифицированные порошки становятся несжимаемыми при давлении 10–20 МПа, причем пластификатор практически равномерно распределяется в объеме порошка и предохраняет частицы от деформирования, сохраняя сформованную пористую структуру

Исследованы продольное и поперечное упругое последствие прессовок из пластифицированных порошков под нагрузкой в пресс-форме и после снятия нагрузки. На основе экспериментальных данных рассчитаны относительное продольное и поперечное упругое последствие прессовок из порошков при давлении, соответствующем давлению их истечения. Результаты расчетов позволили определить в дальнейшем значения модуля Юнга и коэффициента Пуассона для пластифицированных парафином порошков бронзы и меди. На их основе рассчитаны модули Ламе, которые использованы при определении напряжений в формуемом материале и расчете оптимальной длины формирующей части матрицы. Результаты экспериментальных исследований и расчетов приведены в таблице 1. Экспериментально установлена зависимость давления истечения пластифицированных материалов от числа продавливаний через мундштук вискозиметра и найдена величина этого давления. Исследования показали, что продавливание порошков с пластификатором через мундштук вискозиметра на этапе предварительного смешивания компонентов обеспечивает равномерное распределение пластификатора в объеме порошка и как следствие равномерное распределение пористости в готовых изделиях, а также стабильность процесса экструзии на шнековом прессе.

Таблица 1 – Значения относительного продольного и поперечного упругого последствия, коэффициента Пуассона, модуля Юнга, модулей объемного сжатия и сдвига для прессовок с парафином

Материал порошка	Давление прессования, МПа	Относительное поперечное упругое последствие, ε'	Относительное продольное упругое последствие, ε	Коэффициент Пуассона, ν	Модуль Юнга, E , МПа	Модуль объемного сжатия, λ , МПа	Модуль сдвига, μ , МПа
ПМС-1 + 15 %	26	0,023	0,064	0,37	330	324	120
ПМС-1 + 18 %	21	0,022	0,059	0,38	265	295	95
БрОФ 10-1 + 9 %	20	0,028	0,073	0,39	182	232	65
БрОФ 10-1 + 12 %	18	0,021	0,061	0,35	267	230	100

Исследована прочность стержней из пластифицированных парафином порошков, и определена свободная длина, при которой происходит отрыв сформованного стержня от канала мундштука вискозиметра. На основе полученных значений рассчитаны пределы прочности пластифицированных порошков.

Определено влияние размеров формуемых труб на величину осевого усилия, развиваемого шнеком. При формировании труб из пластифицированных порошков за счет уменьшения степени обжата усилие, развиваемое шнеком при экструзии, сокращается на 20–23 %. Степень обжата уменьшается при использовании шнека, размеры которого сравнимы с размерами формуемой трубы. Однако производительность формования в этом случае падает более чем в два раза.

Найдены пределы текучести прессовок из порошков бронзы БрОФ 10-1 с 12 % парафина (по массе), а также меди, пластифицированной парафином в количестве 15 и 18 %, которые соответственно равны 7900; 10030 и 8580 Па.

Рассчитаны теоретические напряжения в пластифицированном порошке для двух схем формования тонкостенных труб: при экструзии трубы через зазор между цилиндрическим участком матрицы и неподвижной оправкой и при совместной экструзии трубы из пластифицированного порошка бронзы с оправкой из пластифицированного оксида алюминия. При выполнении расчета вводят значения модулей Ламе, относительного поперечного упругого последствия, коэффициента трения, длины цилиндрической части матрицы. Расчеты показали, что при одинаковой длине цилиндрического участка матрицы напряжения в материале, который находится в зазоре между цилиндрическим участком матрицы и подвижной оправкой, снижаются более чем в 2 раза. Кроме теоретических значений определены экспериментальные значения напряжений, возникающих в формуемом материале. Результаты показаны на рисунке 3. Точками на графиках отмечены экспериментальные значения напряжений, возникающих в материале при экструзии трубы размерами $D \times d = 16 \times 13$ мм по предложенным схемам формования. Сравнение теоретических и экспериментальных значений показывает, что расхождение между ними составляет от 20 до 30%. Экспериментально определен режим спекания тонкостенных заготовок из пластифицированного парафином порошка бронзы на оправках из пластифицированной окиси алюминия. Особенностью процесса спекания является необходимость выполнения изотермических выдержек при температурах 60°, 120°, 200° и 400 °С для полного удаления пластификатора из тонкостенной заготовки, оправки и засыпки, в которую за счет капиллярного эффекта переходит парафин при выполнении изотермических выдержек. Исследованы структура и свойства спеченных тонкостенных пористых заготовок в виде труб размером $D \times d \times l = 40 \times 35 \times 200$ мм, которые изготовлены из порошка сферической бронзы БрОФ 10-1 фракций $(-0,315 \dots +0,2)$ мм.

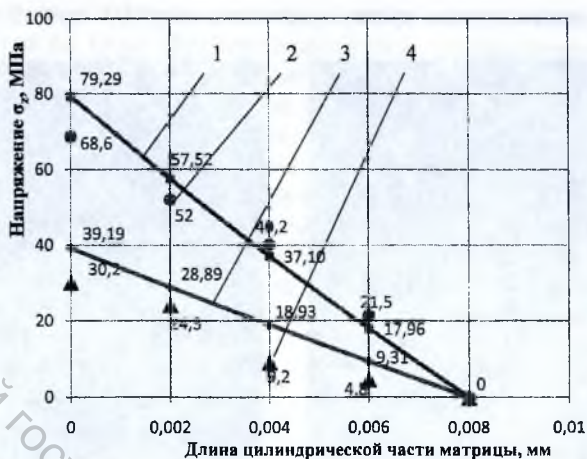


Рисунок 3 – Распределение напряжений в порошке БрОф 10-1+ 12 % парафина, экструдированном в виде трубы через матрицу: 1 – при неподвижной оправке (теория); 2 – то же (эксперимент); 3 – при подвижной оправке (теория); 4 – то же (эксперимент)

На рисунке 4 показаны микроструктуры наружной и внутренней поверхности тонкостенной пористой трубы, полученные на сканирующем микроскопе «Miga» (фирмы «Tescan» Чехия). Анализ изображений показывает, что введение в порошок пластификатора в количестве, достаточном для заполнения межчастичных пустот, и совместное формование трубы с оправкой обеспечивает получение регулярной пористой структуры и предотвращает деформацию частиц порошка. В соответствии со стандартными методиками определены размеры пор, коэффициент проницаемости спеченных заготовок, тонкость очистки. Получены следующие результаты: пористость трубы составляет 0,438; средний размер пор – 99,2 мкм; коэффициент проницаемости пористой структуры – $381,3 \cdot 10^{-13} \text{ м}^2$, номинальная тонкость очистки – 30–35 мкм, неравномерность проницаемости практически отсутствует. Равномерная проницаемость тонкостенных пористых труб гарантирует более высокие эксплуатационные характеристики готовых изделий в сравнении с трубами, которые получают в настоящее время в ГНПО ПМ (г. Минск) и ОАО «КИМПОР» (г. Красная Пахра) спеканием свободно насыпанного порошка в виде листа, его последующим изгибом и пайкой места стыка, или аргоно-дуговой сваркой трубы из трех элементов. При этом проницаемость примерно на порядок выше по сравнению с известными проницаемыми трубами из порошков бронзы аналогичного фракционного состава. Средний размер пор выше в сравнении с аналогичным параметром для известных труб (59 мкм), также как и номинальная тонкость очистки, составляющая для аналогичных изделий 25–30 мкм. Увеличение пористости, проницаемости и размера пор наблюдается вследствие того, что введение пластификатора в формуемые порошки в количестве, достаточном для

заполнения межчастичных пустот, позволяет получить при формировании

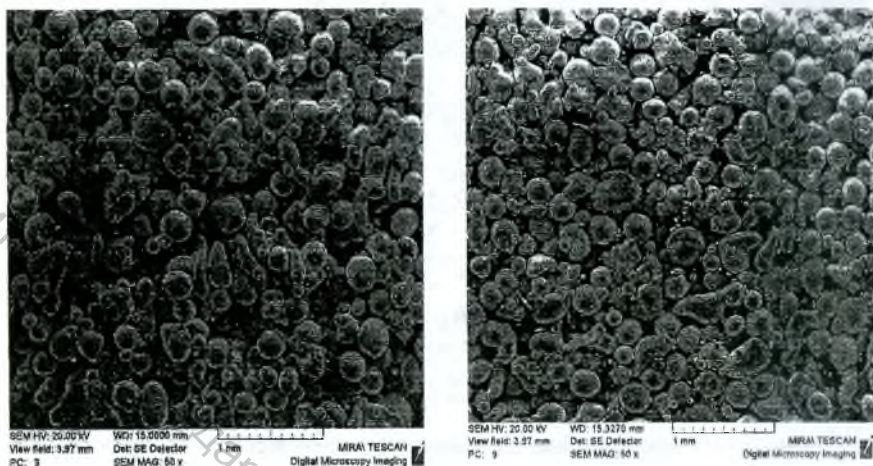


Рисунок 4 – Микроструктура наружной и внутренней поверхности тонкостенной проницаемой трубы из бронзы БрОФ 10–1 (x50)

пористую структуру, в которой частицы порошка расположены на наиболее удаленном расстоянии друг от друга. В известных трубах получить такого расположения частиц порошка относительно друг друга не удастся. Кроме этого благодаря равномерному распределению пластификатора в объеме порошка на стадии подготовки пластифицированной смеси и при ее экструзии через формирующий инструмент обеспечивается устранение неравномерности проницаемости.

Пятая глава посвящена практическому использованию результатов работы. На основе выполненных теоретических и экспериментальных исследований разработана типовая технология формирования тонкостенных заготовок, включающая кроме известных операций подготовки порошка бронзы операции подготовки смеси порошка оксида алюминия с парафином, формование оправки из пластифицированного оксида алюминия, совместное формование трубы с оправкой, благодаря чему предотвращается деформирование тонкостенной заготовки. Кроме этого спекание трубы выполняют на оправке в засыпке из оксида алюминия с четырьмя изотермическими выдержками для полного удаления пластификатора.

Типовая технология использована при разработке технологического процесса (ТП 01165.715141.01) получения из сферического порошка бронзы БрОФ 10–1 фракций $(-0,315...+0,2)$ мм проницаемых труб размером $D \times d \times l = 40 \times 35 \times 200$ мм (рисунок 5), которые применены в качестве фильтров для очистки масла и СОЖ в металлорежущих станках. На опытную партию тонкостенных труб разработаны технические условия ТУ ВУ 300031282.049-2008. Тонкостенные трубы позволили устранить неравномерность проницаемости в изделиях, увеличить пористость на 6–7 % и за счет этого повысить проницаемость труб примерно на порядок, а также увеличить ресурс

работы фильтров на 20 %. Опытные партии тонкостенных фильтров внедрены в производство на ООО «БелНаисСтройсервис». Экономический эффект от внедрения тонкостенных труб в количестве 20 шт. в качестве фильтров за счет сокращения импорта и улучшенных эксплуатационных свойств составил 1171819 (один миллион сто семьдесят одна тысяча восемьсот девятнадцать) рублей. Для ООО «Эреду» из проницаемых тонкостенных труб размерами $D \times d \times l = 12 \times 10 \times 300$ мм изготовлена опытная партия пористых глушителей шума (рисунок 6), которые использованы в пневмосистеме фрезерного станка с ЧПУ. Использование тонкостенных труб в качестве глушителей шума позволило уменьшить материалоемкость изделий в 2,4 раза и получить экономический эффект за счет сокращения импорта 296540 (двести девяносто шесть тысяч пятьсот сорок) рублей.

Общий экономический эффект от внедрения тонкостенных труб в качестве глушителей шума и фильтров в размере 1468359 (один миллион четыреста шестьдесят восемь тысяч триста пятьдесят девять) рублей получен за счет сокращения потребности в фильтрах, устранения неравномерности проницаемости, уменьшения материалоемкости изделий.



Рисунок 5 – Тонкостенные проницаемые трубы для фильтров



Рисунок 6 – Тонкостенные глушители шума

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Основные научные результаты диссертации

1. Показана целесообразность выделения в отдельную группу труб с малой толщиной стенки, которые обладают меньшей материалоемкостью в сравнении с обычными проницаемыми трубами, создают меньшее сопротивление потоку жидкости или газа, легче регенерируются.

Предложена расчетная модель процесса непрерывного формования тонкостенных заготовок на шнековом прессе из пластифицированных 9–12% (по массе) парафина порошков бронзы, содержание которого обеспечивает заполнение межчастичного пространства, и эффективная схема ее реализации – экструзия изделия при совместном формовании трубы с оправкой. Теоретически исследовано поведение пластифицированного материала в экструзионном инструменте в зазоре между матрицей и оправкой. Получены зависимости для расчета напряжений в пластифицированном порошке, находящемся в зазоре между матрицей и подвижной или неподвижной оправкой, в которые входят коэффициенты Ламе, относительное поперечное

упругое последствие пластифицированного порошка, геометрия формирующего инструмента, коэффициент трения порошка о поверхность матрицы и оправки и длина цилиндрической части матрицы. Выполнен расчет напряжений в формируемом материале и определена оптимальная длина экструзионного инструмента. Показано, что совместное формирование тонкостенной трубы с оправкой позволяет более чем в два раза уменьшить напряжения в материале, находящемся в цилиндрической части формирующего инструмента. Полученные зависимости использованы для расчета распределения напряжений в материале и при выборе оптимальной длины цилиндрической части матрицы, обеспечивающей формирование изделий с минимальными силовыми затратами, при давлении прессования соответствующем давлению истечения формируемых материалов, не превышающем 18–25 МПа [1–2].

Предложено определение и критерий тонкостенности заготовок в виде труб из пластифицированных порошков. Получена зависимость для определения численного значения критерия тонкостенности, в соответствии с которой размеры заготовки r и r_1 связаны с пределом текучести материала порошка σ_T , плотностью заготовки ρ и ускорением свободного падения g соотношением $r + r_1 \geq \frac{4\sigma_T}{\pi\rho g}$ [3].

2. По данным результатов экспериментальных исследований зависимости поперечного и продольного упругого последствия порошковых прессовок от давления прессования рассчитаны модули Юнга и коэффициенты Пуассона пластифицированных порошков, на основе которых определены модули Ламе исследовавшихся материалов. Для выполнения исследований разработана соответствующая методика и изготовлен специальный прибор. Для пластифицированных 9 и 12% парафина порошков бронзы значения модуля Юнга и коэффициента Пуассона составляют 0,39; 0,35 и 182; 267 МПа соответственно, расчетные значения модулей Ламе составляют: модуль объемного сжатия – 230–232 МПа; модуль сдвига – 65; 100 МПа [4].

3. Разработана методика исследования зависимости давления истечения порошков, объемное содержание пластификатора в которых соответствует объему межчастичных пор, от числа продавливаний через мундштук вискозиметра и найдена его величина для исследуемых материалов. Показано, что для пластифицированных парафином порошков бронзы и меди после пятого продавливания по отношению к первому давление истечения снижается в 2–4 раза и составляет 18–25 МПа. Методика использована в технологии формирования тонкостенных труб для ускорения процесса смешивания компонентов пластифицированной смеси и их гомогенизации.

Разработана методика определения предела текучести пластифицированных материалов, находящихся под действием только силы тяжести. Полученные данные использованы для расчета напряжений, соответствующих пределу текучести исследуемых пластифицированных порошков. Величина пределов текучести перечисленных материалов изменяется от 7080 Па – для пластифицированного 12 % парафина порошка

бронзы до 10520 Па – для порошка меди с 15 % парафина. Найдены пределы прочности формуемых материалов по результатам исследований свободной длины стержней из пластифицированных порошков. В зависимости для расчета входит плотность прессовки, которая определена по результатам исследований уплотняемости пластифицированных порошков. Максимальной прочностью обладает порошок меди с 15 % (по массе) парафина (10520 Па), минимальной – порошок бронзы с 12 % парафина (7080 Па). С увеличением содержания парафина прочность пластифицированных порошков падает на 18–25 %.

Разработана методика определения развиваемого шнеком общего усилия и действующего на формующий инструмент. Экспериментальные данные получены с помощью тензометрии. Исследована уплотняемость пластифицированных порошков и получены уточненные данные о механизме их уплотнения. Оказалось, что введение пластификатора в объеме равном объему межчастичных пустот, обеспечивает несжимаемость таких материалов при давлении 10–20 МПа, предотвращает деформацию частиц порошка и сохраняет сформованную пористую структуру [2–4].

4. На основе проведенных исследований разработана типовая технология получения тонкостенных заготовок, включающая, кроме известных операций подготовку пластифицированного парафином оксида алюминия и формование из него оправок, совместную экструзию труб с оправками и спекание заготовок на оправках, благодаря чему предотвращается деформирование тонкостенных заготовок. Проведена детальная разработка отдельных операций технологии изготовления тонкостенных заготовок при выполнении смешивания порошка с пластификатором и спекания изделий, содержащих парафин. Исследованы структура и свойства спеченных тонкостенных труб. Полученные данные показали, что реализация предложенной технологической схемы формования тонкостенных заготовок из пластифицированного парафином порошка бронзы, количество которого достаточно для заполнения межчастичного пространства, позволила увеличить размер пор до 0,099 мм и пористость труб до 0,43 за счет наиболее удаленного контакта частиц порошка, увеличить коэффициент проницаемости пористых изделий до $381,3 \cdot 10^{-13} \text{ м}^2$ и устранить неравномерность пористости [5,6–9].

Рекомендации по практическому использованию результатов

Разработана технология формования тонкостенных заготовок, особенностью которой является совместное формование трубы из пластифицированного порошка бронзы с оправкой из пластифицированного оксида алюминия и спекание трубы на этой оправке, осуществляемое в засыпке из оксида алюминия с четырьмя изотермическими выдержками, благодаря чему предотвращается деформирование тонкостенных труб, как при их формовании, так и при спекании и обеспечивается формирование регулярной пористой структуры. Разработан технологический процесс 01165.715141.01 получения из пластифицированного парафином порошка бронзы марки БрОФ 10–1 фракций (–0,315...+0,2) мм проницаемых тонкостенных труб размером $D_{\text{хд}}=40 \times 35 \times 200$ мм с улучшенными эксплуатационными характеристиками. На

БІБЛІЯТЭКА

УА "ВІЦПЕСКІ ДЗЯРЖАЎНЫ

опытную партию изделий разработаны технические условия ТУ ВУ 300031282.049-2008. Изделия использованы в качестве фильтров для очистки масла и СОЖ в гидравлических системах металлорежущих станков. Применение тонкостенных фильтров позволило устранить неравномерность проницаемости в изделиях, увеличить их пористость до 0,43 и за счет этого повысить проницаемость труб примерно на порядок, а также увеличить ресурс работы фильтров на 20%. Опытные партии фильтров из тонкостенных труб внедрены в производство на ООО «БелНаисСтройсервис». Экономический эффект от внедрения тонкостенных труб за счет сокращения импорта и улучшенных эксплуатационных свойств фильтров составил 1171819 рублей.

Тонкостенные трубы из порошка БрОФ 10-1 фракций (-0,100...+0,063) мм, полученные по разработанной технологии, использованы при изготовлении глушителей шума и внедрены в ООО «Эреду». Экономический эффект от внедрения опытной партии глушителей шума за счет сокращения импорта и снижения в 2,4 раза материалоемкости изделий составил 296540 рублей.

Для реализации технологии формования тонкостенных заготовок разработаны технические решения, на которые получены патенты [10-11].

Список публикаций по теме диссертации:

Статьи в рецензируемых журналах и сборниках

1 Витязь, П. А. Пористые изделия на основе тонкостенных проницаемых труб / П. А. Витязь, В. В. Савицкий // Известия Национальной академии наук Беларуси. Серия физико-технических наук. – 2009. – № 2. – С. 20-24.

2 Савицкий, В. В. Расчет напряжений, возникающих в пластифицированном порошковым материале при его деформации в цилиндрической части формирующего инструмента / В. В. Савицкий, В. В. Силивончик // ВЕСТНИК ПОЛОЦКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО УНИВЕРСИТЕТА. ПРИКЛАДНЫЕ НАУКИ. Серия В. – Полоцк : УО «ПГУ», 2006. – № 12. – С. 37-41.

3 Пятов, В. В. Критерий тонкостенности порошковых труб / В. В. Пятов, В. В. Савицкий // Сборник научных статей : Вестник Учреждения образования «Витебский государственный технологический университет». Одиннадцатый выпуск. – Витебск : УО «ВГТУ», 2006. – С. 65-69.

4 Савицкий, В. В. Методика исследования упругих свойств пластифицированных порошков и прибор для проведения исследований / В. В. Савицкий // Сборник научных статей : Вестник Учреждения образования «Витебский государственный технологический университет». Двенадцатый выпуск. – Витебск : УО «ВГТУ», 2007. – С. 83-87.

5 Савицкий, В. В. Технология изготовления тонкостенных труб из пластифицированных порошков / В. В. Савицкий // Сборник научных статей : Вестник учреждения образования «Витебский государственный технологический университет». Двенадцатый выпуск. – Витебск : УО «ВГТУ», 2007. – С. 97-102.

Статьи в научных сборниках и тезисы докладов

6 Пятов, В. В. Пластификация порошковых материалов, формуемых

экструзией / В. В. Пятов, А. С. Ковчур, О. Н. Ахтанин, В. В. Савицкий // Сборник научных статей «Современные энергоресурсосберегающие и экологобезопасные технологии в машиностроении и легкой промышленности». – Витебск : ВГТУ, 1998. – С. 42–46.

7 Пятов, В. В. Спекание порошковых прессовок, содержащих парафин / В. В. Пятов, А. С. Ковчур, О. Н. Ахтанин, В. В. Савицкий // Сборник научных статей «Современные энергоресурсосберегающие и экологобезопасные технологии в машиностроении и легкой промышленности». – Витебск : ВГТУ, 1998. – С. 47–50.

8 Савицкий, В. В. Технология изготовления пористых длинномерных тонкостенных труб из пластифицированных порошков экструзией на шнековых прессах / В. В. Савицкий // В кн. «Новые материалы и технологии: порошковая металлургия, композиционные материалы, защитные покрытия, сварка» : материалы докладов 8-й международной научно-технической конференции / Минск : ГНПО ПМ НАН Беларуси, 2008. – С. 54–56.

9 Савицкий, В. В. Оптимизация технологии изготовления тонкостенных труб из пластифицированных порошков / В. В. Савицкий // Сборник материалов докладов 41 научно-технической конференции преподавателей и студентов университета : Учреждение образования «Витебский государственный технологический университет». – Витебск : УО «ВГТУ», 2008. – С. 174–176.

Патенты

10 Связующее для экструзии порошковых материалов : патент № 5109 Респ. Беларусь, С1 ВУ, МПК 7 С 08L 29/04, С 08K 5/053 / О. Н. Ахтанин, К. С. Матвеев, В. В. Пятов, В. В. Савицкий, А. Н. Красновский ; заявитель и патентообладатель Учреждение образования «Витебский государственный технологический университет». – № а 19980022 ; заявл. 01.06.98 ; опубл. 30.06.03 // Официальный бюллетень Государственного патентного ведомства Республики Беларусь. – 2003. – № 2. – С. 167.

11 Экструдер для переработки отходов пенополиуретана : патент 170 U Республика Беларусь ВУ, С 08G 18/00. / А. Н. Буркин, К. С. Матвеев, В. В. Савицкий, А. К. Новиков, О. В. Стайнов; заявитель и патентообладатель Витебский государственный технологический университет. – № u 19990140 ; заявл. 28.12.99 ; опубл. 30.09.2000 // Официальный бюллетень Государственного патентного ведомства Республики Беларусь. – 2000. – №3. – С. 164–165.

В. В. Савицкий

**Атрыманне танкасенных парашковых труб шнэкавым фармаваннем
пластфікаванага парашку ў цыліндрычнай частцы экструзійнага
інструмента**

Ключавыя словы: танкасенныя трубы, фільтры, глушыцелі шуму, прапушчальнасць, порыстасць, крытэрыі танкасеннасці, шнэкавае фармаванне, цыліндрычная частка матрыцы, рухомая апраўка, пруткае паслядзеянне, модулі Ламе, пластфікаваны парашок бронзы, трываласць парашковых загатавак, напружанні ў пластыфікаваным матэрыяле.

Мэтай работы з'яўляецца атрыманне танкасенных прапушчальных труб на аснове тэарэтычных і эксперыментальных даследаванняў фармавання пластфікаваных парашкоў у цыліндрычнай частцы экструзійнага інструмента.

Метады даследавання і апаратура: на аснове палажэнняў тэорыі пруткасці для распрацаваных схем фармавання танкасенных труб выканан разлік напружанняў, якія ўзнікаюць ў пластфікаваным парашку бронзы, знаходзячымыся ў зазоры паміж апраўкай і цыліндрычнай часткай матрыцы.

Эксперыментальныя даследаванні пруткага паслядзеання, трываласці і цякучасці пластфікаваных парашкоў і параметраў моцы экструзіі выкананы на аснове распрацаваных метадыч пры дапамозе вырабленых прыбораў і вопытна-прамысловай устаноўкі. Уласцівасць і структура гатовых вырабаў даследаваны ў адпаведнасці з ДАСТ і ISO.

Атрыманыя вынікі: распрацавана разліковая мадэль працэса фармавання пластфікаванага парашку бронзы, атрыманы залежнасці для знаходжання напружанняў ў фармуемым матэрыяле і разліку аптымальнай працягласці цыліндрычнай частцы матрыцы. Рэалізацыя схемы сумеснага фармавання трубы з пластфікаванага парашку бронзы з апраўкай з пластфікаванага аксіда алюмінія дазволіла зменшыць больш чым у два разы напружанні ў фармуемым матэрыяле.

Даследаваны ўласцівасці фармуемых матэрыялаў і гатовых вырабаў. У танкасенных труб атрыманы сярэдні размер пор 0,099 мм, порыстасць труб 0,43 за лік найбольш аддаленага кантакту часткінак парашку, каэфіцыент прапушчальнасці павялічаны да $381,3 \cdot 10^{-13} \text{ м}^2$, ліквідавана нераўнамернасць прапушчальнасці.

Ступень выкарастання: Распрацаван тэхналагічны працэс атрымання танкасенных прапушчальных труб, якія выкарастаны ў прамысловай вытворчасці. Эканамічны эфект ад выкарыстання распрацовак склаў 1468359 рублёў.

Галіна выкарыстання: парашковая металургія, машынабудаванне, станкабудаванне, хімічная і нафтахімічная прамысловасць і інш.

РЕЗЮМЕ

САВИЦКИЙ Василий Васильевич

Получение тонкостенных порошковых труб шнековым формованием пластифицированного порошка в цилиндрической части экструзионного инструмента

Ключевые слова: тонкостенные трубы, фильтры, глушители шума, проницаемость, пористость, шнековое формование, цилиндрическая часть матрицы, подвижная оправка, упругое последствие, модули Ламе, пластифицированный порошок бронзы, прочность порошковых заготовок, напряжения в пластифицированном порошке.

Целью работы является получение тонкостенных проницаемых труб на основе теоретического и экспериментального исследования формования пластифицированных порошков в цилиндрической части экструзионного инструмента.

Методы исследования и аппаратура: на основе положений теории упругости для предложенных схем формования тонкостенных труб выполнен расчет напряжений, которые возникают в пластифицированном порошке бронзы, находящемся в зазоре между оправкой и цилиндрической частью матрицы.

Экспериментальные исследования упругого последствия, пределов прочности и текучести пластифицированных порошков и силовых параметров экструзии выполнены на основе оригинальных методик при помощи изготовленных приборов и опытно-промышленной установки. Свойства и структура готовых изделий исследованы в соответствии с ГОСТ и ISO.

Полученные результаты и их новизна: разработана расчетная модель процесса формования пластифицированного порошка бронзы, получены зависимости для определения напряжений в формируемом материале и расчета оптимальной длины цилиндрической части матрицы. Реализация схемы совместного формования трубы из пластифицированного порошка бронзы с оправкой из пластифицированного оксида алюминия позволила уменьшить более чем в два раза напряжения в формируемом материале.

Исследованы свойства формируемых материалов и готовых изделий. В тонкостенных трубах получен средний размер пор 0,099 мм, пористость труб – 0,43 за счет наиболее удаленного контакта частиц порошка, коэффициент проницаемости пористых изделий увеличен до $381,3 \cdot 10^{-13} \text{ м}^2$, устранена неравномерность проницаемости.

Степень использования: Разработан технологический процесс получения тонкостенных проницаемых труб, которые внедрены в промышленное производство. Экономический эффект от внедрения разработок составил 1468359 рублей.

Область применения: порошковая металлургия, машиностроение, станкостроение, химическая и нефтехимическая промышленность и др.

S A M M A R Y

SAVITSKI Vasil Vasiljevich

Producing of thin-walled powder pipes by means of screw extrusion of plasticized powder in cylindrical part of extrusion die

Key words: thin-walled pipes, filters, noise-reducing mufflers, permeability, porosity, screw extrusion, cylindrical part of die, movable mandrel, elastic aftereffect, Lamé constants, plasticized bronze powder, strength of powder preforms, tensions in plasticized powder.

The purpose of the work is producing of thin-walled permeable pipes based on both theoretical and experimental researches of forming of plasticized powders in cylindrical part of extrusion die.

Research methods and equipment: on the basis of elasticity theory, tensions in plasticized bronze powder in the gap between mandrel and cylindrical part of die are calculated for proposed models of thin-walled pipes forming.

Experimental researches of elastic aftereffect, ultimate strength and yield point of plasticized powders and power characteristics of extrusion are executed on a basis of original techniques by means of a purpose-built devices and trial equipment. Properties and structure of finished products are tested according to GOST and ISO standards.

Findings and their novelty: calculation model of forming of plasticized bronze powders is developed; equations which allow to find tensions in formed material and to define optimal length of cylindrical part of die are worked out. Realization of simultaneous forming of plasticized bronze powder pipe with a mandrel made from plasticized aluminum oxide allows reducing tensions in formed material more than twice.

Properties of formed materials and finished products are tested. The average pore size in thin-walled pipes is 0,099 mm; pipes porosity is 0,43 because of the most distant contacts between powder particles; permeability index of powder products is increased to $381,3 \cdot 10^{-13} \text{ m}^2$; irregularity of permeability is removed.

Efficiency: thin-walled pipes and manufacturing process are developed and introduced in industrial production with total saving rate of 1468359 roubles.

Application field: powder metallurgy, mechanical engineering, machine-tool building industry, the chemical and petrochemical industry, etc.



Библиотека ВГУ



Научное издание

САВИЦКИЙ Василий Васильевич

**ПОЛУЧЕНИЕ ТОНКОСТЕННЫХ ПОРОШКОВЫХ ТРУБ
ШНЕКОВЫМ ФОРМОВАНИЕМ ПЛАСТИФИЦИРОВАННОГО
ПОРОШКА В ЦИЛИНДРИЧЕСКОЙ ЧАСТИ ЭКСТРУЗИОННОГО
ИНСТРУМЕНТА**

Автореферат диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

по специальности 05.16.06 – Порошковая металлургия
и композиционные материалы

Подписано в печать 26.01.10.

Формат 60х84 1/16. Бумага офсетная.

Отпечатано на ризографе. Гарнитура Таймс.

Усл. печ. л. 0,75. Уч.-изд. л. 1,86. Тираж 75. Заказ 23.

Издатель и полиграфическое исполнение:

Учреждение образования

«Витебский государственный технологический университет».

Лицензия № 02330/0494384 от 16.03.2009.

Московский пр-т, 72. 210035, Витебск.