

**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ  
УЧРЕЖДЕНИЕ ОБРАЗОВАНИЯ  
«ВИТЕБСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

УДК 621.762  
№ ГР 20042286  
Инв. №



**«Утверждаю»**

Проректор по научной работе  
УО «ВГТУ»  
С.М.Литовский

2005г

**ОТЧЕТ**

**О НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЙ РАБОТЕ**

**«РАЗРАБОТКА ТЕОРИИ И МЕТОДИКИ РАСЧЕТА  
КОНСТРУКТИВНЫХ ПАРАМЕТРОВ ФОРМУЮЩИХ  
ЭЛЕМЕНТОВ ШНЕКОВОГО ОБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ  
ЭКСТРУЗИИ ПОРОШКОВЫХ МАТЕРИАЛОВ»**

(заключительный)

2004-Г/Б-330

Научный руководитель

С.С. Клименков

Начальник НИСа

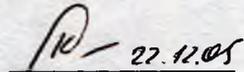
С.А. Беликов

Витебск 2005



## Список исполнителей

Руководитель проекта,  
г.н.с, д.т.н., проф.

  
(подпись, дата)

Клименков С.С.  
(введение, глава 2,  
заключение)

Н.с., ст. преподаватель

  
(подпись, дата)

Голубев А.Н. (разделы  
1.1, 1.3, 1.4)

С.н.с., к.т.н., доц.

  
(подпись, дата)

Ходьков В.М. (раздел  
1.2)

Нормоконтролер

  
(подпись, дата)

Матвеева Н.Н.

## Реферат

Отчет 59 с., 33 рис., 10 табл., 35 источников.

### ЭКСТРУЗИЯ, РЕОЛОГИЯ, ПЛАСТИФИЦИРОВАННЫЕ ПОРОШКОВЫЕ КОМПОЗИЦИИ, МЕТОДИКА РАСЧЕТА ФОРМУЮЩЕГО ИНСТРУМЕНТА

Цель проведенных исследований – выравнивание профиля скоростей потока и напряжений сдвига в формообразующем инструменте при экструзии пластифицированных металлических порошков, путем разработки средств воздействия на центральные и периферийные слои потока порошка, а также разработка теории и методики расчета конструктивных параметров формующего инструмента с учетом свойств экструдруемой композиции.

В ходе выполнения работы проведен литературный обзор по теории экструдирования. Среди рассмотренных математических моделей и методик расчета выделяют следующие: методика расчета производительности методом рабочей точки на основе реологических моделей ньютоновской и неньютоновской жидкости; упрощенная методика расчета производительности экструдера, в которой вместо вязкости применяется объемный вес материала; теория экструдирования, построенная на применении к перерабатываемому материалу реологической модели, соответствующей телу Бингама-Шведова.

Выполнен литературный и патентный обзор оборудования для экструзии, включая основные типы экструдеров, шнеков и шнековых насадок. Составлена классификация экструдеров и шнеков по ряду основных классификационных признаков.

Выполнен анализ поведения пластифицированной порошковой композиции в формующем инструменте экструдера при наличии шнековых торцевых насадок. Получены зависимости, связывающие реологические свойства пластифицированных порошков, технологические параметры экструзии и геометрию инструмента с основными параметрами процесса экструзии.

Проведено экспериментальное апробирование основных известных теоретических предположений о характере распределения потоков в работающем экструдере. Дано описание изготовленных макетов экспериментальных установок и результатов пробных экспериментов. Полученные эксперименты в целом свидетельствуют об адекватности разработанных моделей реальным процессам, происходящим в работающем экструдере.

На основании проведенных экспериментов уточнена методика расчета и конструирования экструзионной матрицы и дозирующей части шнека с учетом формы и размеров торцевой поверхности.

# Содержание

<b>ВВЕДЕНИЕ</b>	<b>6</b>
<b>1 АНАЛИТИЧЕСКИЙ ОБЗОР ТЕОРИИ ЭКСТРУДИРОВАНИЯ ПЛАСТИФИЦИРОВАННЫХ КОМПОЗИЦИЙ И ПРИМЕНЯЕМОГО ИНСТРУМЕНТА</b>	<b>8</b>
<b>1.1 Литературный обзор по теории экструдирования пластифицированных композиций</b>	<b>8</b>
1.1.1 Анализ реологических моделей, применяемых для изучения процесса экструзии расплавов полимеров	8
1.1.2 Применение реологических моделей для определения производительности экструзии методом рабочей точки	10
1.1.3 Упрощенная модель экструзии без учета реологических свойств материала	13
1.1.4 Применение реологических моделей для экструзии пластифицированных порошковых композиций	17
<b>1.2 Литературный и патентный обзор особенностей конструкций и применения шнековых торцевых насадок для экструдирования пластифицированных композиций</b>	<b>19</b>
1.2.1 Одночервячные прессы	19
1.2.2 Двухчервячные прессы	23
1.2.3 Бесчервячные экструдеры	24
1.2.4 Прочие виды экструдеров	26
1.2.5 Особенности конструкций шнеков и экструзионного инструмента	29
<b>1.3 Анализ поведения пластифицированной порошковой композиции в формующем инструменте экструдера с учетом формы и размеров шнековых торцевых насадок</b>	<b>33</b>
1.3.1 Сущность рассматриваемой модели	33
1.3.2 Расчетная схема	34
<b>1.4 Вывод зависимостей, связывающих реологические свойства пластифицированных порошков, технологические параметры экструзии и геометрию формующего инструмента с напряжениями сдвига и скоростью движения в каналах формующего инструмента</b>	<b>36</b>
1.4.1 Формула Э. Томсена	36
1.4.2 Формула В. Джонсона и Х. Кудо	36
1.4.3 Формула Г. Я. Гуна	37

1.4.4 Формула Б. Авитцура _____	37
---------------------------------	----

## **2 РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ ОПТИМИЗАЦИИ КОНСТРУКТИВНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ФОРМУЮЩЕЙ ОСНАСТКИ ДЛЯ ЭКСТРУЗИИ ПЛАСТИФИЦИРОВАННЫХ КОМПОЗИЦИЙ \_\_\_\_\_ 39**

### **2.1 Исследование влияния формы и размеров торцевой поверхности дозирующей части шнека на реологию порошковой композиции \_\_\_\_\_ 39**

2.1.1 Описание макетной установки \_\_\_\_\_ 39

2.1.2 Анализ предварительных результатов \_\_\_\_\_ 41

### **2.2 Разработка методики расчета конструктивных элементов формующей зоны экструдера с учетом формы и размеров дозирующей части шнека \_\_\_\_\_ 43**

2.2.1 Описание экспериментальной установки \_\_\_\_\_ 43

2.2.2 Методика проведения эксперимента \_\_\_\_\_ 46

2.2.3 Результаты эксперимента \_\_\_\_\_ 47

### **2.3 Оптимизация конструктивных параметров формующего инструмента для различных порошковых композиций и технологических режимов \_\_\_\_\_ 48**

### **2.4 Составление базы данных формующей оснастки в зависимости от свойств порошковой композиции и технологических режимов \_\_\_\_\_ 52**

2.4.1 Описание экспериментальной установки \_\_\_\_\_ 52

2.4.2 Описание эксперимента \_\_\_\_\_ 53

2.4.3 Результаты эксперимента \_\_\_\_\_ 53

## **ЗАКЛЮЧЕНИЕ \_\_\_\_\_ 57**

## **СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ \_\_\_\_\_ 58**

## ВВЕДЕНИЕ

Современное машиностроение характеризуется новыми требованиями к качеству оборудования, – снижение материалоемкости и массы оборудования, повышение точности, новые конструкторские разработки предполагают использование при создании оборудования разнообразных, зачастую уникальных деталей и материалов. В тоже время, растущие мировые потребности в производстве материалов и конструкций с повышенными эксплуатационными характеристиками поставили задачу создания производительного оборудования с возможностью быстрой переналадки на выпуск новых видов продукции. Одной из технологий, удовлетворяющих таким требованиям, является технология экструзии пластифицированных порошковых композиций. Небольшие производственные расходы на весь цикл изготовления изделий из порошка в сочетании с возможностью придания им свойств, удовлетворяющих выдвигаемым практикой требованиям, выдвинули технологию экструзии порошков в разряд наиболее эффективных промышленных процессов.

При конструировании экструзионного оборудования большое внимание уделяют методикам расчета конструктивных элементов формующего инструмента. Цель такого расчета – сохранение целостности экструдированного изделия при его максимальной плотности. Разрушение изделия, либо появление критических дефектов связано с возможностью возникновения на выходе из матрицы сил, которые стремятся исказить профиль изделия. Величина этих сил зависит от профиля скорости потока порошка по периметру канала матрицы и связана со сдвиговыми деформациями и пульсацией напряжений в формующем инструменте. Пульсации напряжений периодически повторяются за каждый оборот шнека и вызывают неоднородность сдвиговых деформаций в направлении экструдирования. При недостаточной пластической прочности неоднородность деформаций может привести к развитию дефектов изделия.

В настоящее время основной подход к конструированию и расчету формующего инструмента экструзионных машин заключается в проведении предварительного расчета характеристик инструмента на основании упрощенной реологической модели, с последующей экспериментальной доводкой геометрических параметров инструмента на базе данных проведенных испытаний и показаний приборов контроля.

Как показали результаты предварительного изучения литературы по тематике исследования, модели, применяющиеся для описания процесса экструзии, малопригодны для корректного расчета конструктивных параметров формующего инструмента, т.к. не учитывают наличия пульсации напряжений и буферной зоны между торцом шнека и матрицей, что приводит к образованию застойных зон и изменению кривой зависимости скорости потока от напряжений сдвига.

Конечная цель исследований – выравнивание профиля скоростей потока и напряжений сдвига в формообразующем инструменте при экструзии пластифицированных металлических порошков, путем разработки средств воздействия на центральные и периферийные слои потока порошка, а также разработка теории и методики расчета конструктивных параметров формующего инструмента с учетом свойств экструдруемой композиции. При этом построенная модель должна учитывать форму и размеры торцевой части шнека, за счет чего возможен оптимальный выбор сочетания геометрических размеров шнека и формующего инструмента с целью достижения стабилизации процесса экструзии и повышения качества изделий.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Швецов Г. А. Технология переработки пластических масс, 1988.
2. Завгородний В.К. Модернизация оборудования для изготовления изделий из пластмасс, 1963.
3. Завгородний В.К. Оборудование предприятий по переработке пластмасс, 1972.
4. Завгородний В.К. Механизация и автоматизация переработки пластических масс, 1970.
5. Белоусов Н. И. Кабели и провода, Т.Ш. – М.-Л. изд. Энергия, 1964.
6. Басов Н. И., Казанков Ю. В., Любартович В. А. Расчет и конструирование оборудования для производства и переработки полимерных материалов. – Москва: Химия, 1986.
7. Полтев М. К. Охрана труда в машиностроении. – Москва: Высшая школа, 1980.
8. Юдин Е. Я., Белов С. В. Охрана труда в машиностроении. – Москва: Машиностроение, 1983.
9. Мак-Келви Д. М. Переработка полимеров. – Москва, 1965.
10. Роман О. В. Теория и практика прессования металлических порошков. – В кн.: Современные проблемы порошковой металлургии. Киев: Наукова думка, 1970.
11. Бальшин М. Ю. Порошковая металлургия. – М.: Машгиз, 1948.
12. Бальшин М. Ю. Порошковое металловедение. – М.: Металлургиздат, 1948.
13. Меерсон Г. А. Порошковая металлургия. 1965, № 5.
14. Федорченко И. М., Андриевский Р. А. Основы порошковой металлургии. Киев: изд – во АН УССР, 1961.
15. Каташинский В. П., Виноградов В. А., Рухайло М. С. Исследование линий скольжения в сыпучей среде. – Порошковая металлургия, 1973, № 115.
16. Макаров Э. С. К вопросу формирования металлических порошков в условиях плоской деформации. – М.: Машиностроение, 1973, № 10.
17. Кунин Н. Ф., Юрченко Б. Д. Порошковая металлургия, 1965, № 2.
18. Дорофеев Ю. Г. Работа уплотнения пористых материалов при прессовании. - Порошковая металлургия, 1967, № 3.
19. Winttrberg F., Compacting techniges, Rev. univ. mines, 1972.
20. Varshavsky A., A note on powder copression equations. „Trans. Asme”, 1971.
21. Жданович Г. М. Современное состояние теории процессов формования. – Ленинград, 1975.
22. Самсонов Г. В., Приходько Л.И. Состояние и перспективы развития работ по технологии прессования порошков. – Киев, 1975.
23. Жданович Г. М. Теория прессования металлических порошков. – М., 1969.
24. Радомысельский И. Д. Порошковая металлургия, 1966.

25. Северденко В.П., Ложечников Е. Б. Прокатка ленты из металлических порошков. – Мн.: Наука и техника, 1964.
26. Меерсон Г. А. Вопросы порошковой металлургии. – Киев: изд – во АН УССР, 1955.
27. Степаненко А. В., Ложечников Е. В., Кулагин В. И., Бендииков А. Г. Устройство для экструдирования пластифицированных порошков. – Оpubл. в Б. И., 1985.
28. Мартынова И. Ф., Штерн М. Б. Уравнение пластичности твердого тела, учитывающее истинные деформации материала основы. – Порошковая металлургия, 1978.
29. Дегтярев И. С., Колмогоров В. Л. Диссипация мощности и кинематические соотношения на поверхности разрыва скоростей в сжимаемом жестко – пластическом материале. – Журнал прикладной механики и технической физики, 1972.
30. Ивлев Д. Д., Быковцев Г. И. Теория упрочняющегося пластического тела. – М.: Наука, 1971.
31. Штерн М. Б. Определяющие уравнения для уплотняющихся пластичных пористых тел. – Порошковая металлургия, 1981.
32. Штерн М. Б., Сердюк Г. Г., Максименко Л. А., Трухан Ю. В. Феноменологические теории прессования порошков. – Киев, Наукова думка, 1982.
33. Косторнов А. Г., Райченко А. И. Реологические исследования пластифицированной порошковой шихты в условиях сдвига. – Порошковая металлургия, 1966, № 5.
34. Витязь П. А., Клименков С. С., Алексеев И. С. Реологические свойства порошковых смесей. – ВТИЛП, 1984.
35. Самсонов Г. В., Плющ Г. В., Орденко В. Б., Прядко Г. А. Исследование процесса мундштучного прессования порошковых твердых сплавов. – Порошковая металлургия, 1968.

