

Министерство образования республики Беларусь  
Учреждение образования  
«ВИТЕБСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

УДК 621.762

№ госрегистрации 2001394

Инв. № \_\_\_\_\_



УТВЕРЖДАЮ

Проректор по науке УО «ВГТУ»

С.М. Литовский

\_\_\_\_\_ 2004 г.

**ОТЧЕТ**

о научно-исследовательской работе

**"Разработать научные и технологические основы экструзии  
высокопластифицированных порошковых композиций"**

Этап 4

**Разработать технологию изготовления порошковых  
шнуров для газотермического нанесения покрытий**

*Промежуточный*

Научный руководитель: к.т.н., доц.

Начальник НИСа

В.В. Пятов

С.А. Беликов

## СПИСОК ИСПОЛНИТЕЛЕЙ

Руководитель работы, к.т.н., доц.

В.В. Пятов

Исполнители:

Аспирант

П.В. Станкевич

Аспирант

П.М. Фомин

Младший научный сотрудник

И.В. Пятова

## РЕФЕРАТ

Отчет промежуточный 20 с., 3 рис., 51 источник. ШНУР ПОРОШКОВЫЙ, НАПЫЛЕНИЕ, ПОКРЫТИЯ ГАЗОТЕРМИЧЕСКИЕ, ЭКСТРУЗИЯ, МУНДШТУЧНОЕ ПРЕССОВАНИЕ, НЕПРЕРЫВНОЕ ФОРМОВАНИЕ, ПЛАСТИФИЦИРОВАННАЯ ПОРОШКОВАЯ КОМПОЗИЦИЯ, ВОССТАНОВЛЕНИЕ ДЕТАЛЕЙ.

Объектом исследования являются порошковые шнуровые материалы для газотермического нанесения покрытий. Описаны основные методы получения таких материалов, их химический состав и технологические свойства, способы и устройства для формования шнуров, исследованы процессы мундштучного и шнекового формования пластифицированных порошковых композиций.

**Цель работы** — теоретическое и экспериментальное исследование процесса экструзии пластифицированных порошков и создание на этой основе технологии изготовления порошковых шнуров для газотермического нанесения покрытий.

В процессе выполнения работы был проведен аналитический обзор технологий изготовления порошковых шнуров, используемых в мировой практике. Отмечено, что в Республике Беларусь отсутствует промышленное производство шнуровых материалов и, в то же время, метод газотермического нанесения покрытий используется достаточно широко. Такая ситуация вынуждает либо применять для напыления менее эффективные материалы (обычную проволоку и порошки), либо покупать шнуровые материалы за рубежом.

В результате проведенных теоретических и экспериментальных исследований разработана новая экологически безопасная ресурсосберегающая технология, опирающаяся на ряд изобретений сотрудников УО «ВГТУ». Эта технология может стать основой производства отечественных порошковых шнуровых материалов. Предложены оригинальные составы порошковых композиций, усовершенствованы методы формования и устройства для их реализации.

Изготовлена экспериментальная партия шнуров, прошедшая испытания на Витебском моторемонтном заводе. Исследование свойств полученных покрытий позволяет утверждать, что они не уступают лучшим зарубежным аналогам и требуют значительно меньших затрат.

## СОДЕРЖАНИЕ

СПИСОК ИСПОЛНИТЕЛЕЙ .....	2
РЕФЕРАТ .....	3
ВВЕДЕНИЕ .....	5
ГЛАВА 1. АНАЛИЗ ПРОБЛЕМ И ДОСТИЖЕНИЙ В ОБЛАСТИ ФОРМОВАНИЯ ПОРОШКОВЫХ ШНУРОВ .....	6
1.1. Способы экструзии порошковых материалов .....	6
1.1.1. Мундштучное прессование .....	6
1.1.2. Формование шнеком .....	7
ГЛАВА 2. ТЕОРЕТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ПРОЦЕССА ДЕФОРМАЦИИ МАТЕРИАЛА ПРИ ФОРМОВАНИИ ШНУРА МЕТОДОМ ЭКСТРУЗИИ .....	11
2.1. Допущения и ограничения .....	11
2.2. Уплотнение пластифицированного порошка .....	12
2.2.1. Уплотнение материала в канале .....	12
2.2.2. Уплотнение пластифицированного порошка в цилиндрической прессформе .....	15
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ .....	16

## ВВЕДЕНИЕ

Прогрессивной ресурсосберегающей технологией является восстановление деталей машин нанесением на изношенные поверхности нового металлического слоя вместо замены всей детали. После такой операции деталь восстанавливает свои размеры и форму, а эксплуатационные свойства ее могут даже улучшиться. Восстановление проводят наплавкой или напылением нового слоя.

Наиболее распространенным является газотермический метод напыления, при котором материал подают в зону нагрева, диспергируют струей газа и осаждают на обрабатываемой поверхности. В зависимости от источника теплоты различают электродуговую металлизацию, газопламенное, детонационное и плазменное напыление. В зону нагрева распыляемый материал подают в виде проволоки, порошка или специально изготовленного порошкового шнура. Последний способ наиболее универсален и постепенно вытесняет остальные. Порошковый шнур представляет собой органическую связку, заправленную частицами необходимого для напыления материала. При распылении органика сгорает, а частицы наполнителя попадают на восстанавливаемую поверхность, упрочняя ее.

Порошковые шнуры формуют методами, основанными на экструзии: мундштучным прессованием или с использованием специализированных устройств. Из последних наибольшее распространение получили устройства, реализующие т. н. *conform*-метод, при котором порошок уплотняется в канале вращающегося диска, прижатого неподвижным башмаком, под действием сил трения.

В Республике Беларусь отсутствует промышленное производство шнуровых материалов и, в то же время, метод газотермического нанесения покрытий используется достаточно широко. Такая ситуация вынуждает либо применять для напыления менее эффективные материалы (обычную проволоку и порошки), либо покупать шнуровые материалы за рубежом.

Проведенные теоретические и экспериментальные исследования позволили разработать технологию изготовления порошковых шнуров, заключающуюся в приготовлении связующего состава, заправке его необходимыми для напыления порошками, экструзии шнура на специально оборудованном шнековом прессе и сушке изделия. Было изготовлено оригинальное устройство для формования шнуров методом экструзии, конструкция которого признана изобретением [1]. Параллельно проведены исследования возможности использования местных природных ресурсов для наполнения шнуров необходимыми элементами [2] – [3].

$$k = \frac{f - p_0}{p_0 - e} \exp\left\{\frac{L_0}{d}\right\} \quad (2.20)$$

Теперь можно провести все расчеты по проектированию установки для мундштучного формования: определить максимальное усилие прессования и выбрать пресс, найти усилие, разрывающее контейнер в радиальном направлении и рассчитать толщину его стенки, определить геометрию матрицы и т.д.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Пат. 4116 С2 ВУ, МПК В 22F 3/20. Устройство для формования порошковых шнуров / А.Н. Красновский, В.В. Пятов, О.Н. Ахтанин, К.С. Матвеев, В.В. Савицкий. — № а 19980683; Заявлено 20.07.98; Опубл. 30.09.01 // Официальный бюллетень Государственного патентного ведомства Республики Беларусь.— 2001.— № 3. — С. 111.
2. Разработка и исследование процессов изготовления композиционных материалов и изделий на основе сырьевых запасов РБ и отходов производства: Отчет о НИР 99-ВПД-013; № ГР 1999285 / С.С. Клименков, В.М. Ходьков, В.В. Пятов, О.Н. Ахтанин, В.В. Савицкий. — Витебск: ВГУ, 1999.
3. Разработка технологии получения металлических порошков для восстановления деталей машин: отчет о НИР 187 / С.С. Клименков, В.В. Пятов и др. — ВГУ, 1995.
4. А.с. 557875 СССР. Устройство для прокатки порошков / В.П. Северденко, А.В. Степаненко, Л.А. Исаевич. — 1977. — Бюл. № 18.
5. Виноградов Г.А., Радомысельский И.Д. Прессование и прокатка металлокерамических материалов. — М.-Киев: Машгиз, 1963. — 200 с.
6. Степаненко А.В., Исаевич Л.А. Непрерывное формование металлических порошков и гранул. — Мн.: Наука и техника, 1980. — 256 с.
7. Афенченко О.Г. Клиновое прессование металлических порошков // Порошковая металлургия. — 1964. — № 4.
8. А. с. 1627322 СССР, МКИ В 22 F 3/10. Устройство для получения спеченных порошковых изделий / С.С. Клименков, К.С. Матвеев, В.В. Пятов, А.Н. Красновский. — № 4477065/02; Заявлено 20.06.88; Опубл. 15.02.91, Бюл. № 6 // Открытия. Изобретения. — 1991. — № 6. — С. 35.
9. Степаненко А.В., Исаевич Л.А., Веремейчик А.А. Непрерывное формование труб из металлических порошков // Порошковая металлургия. — 1983. — № 11. — С. 12 — 17.
10. А.с. 664751 СССР. Способ формования трубных заготовок из порошков / В.П. Северденко, А.В. Степаненко, Л.А. Исаевич. — БИ. — 1979. — № 20.
11. А.с. 952439 СССР. Устройство для непрерывного формования труб из порошка / А.В. Степаненко, Л.А. Исаевич, А.А. Веремейчик. — БИ. — 1982. — № 31.
12. Wassink R.J. Klein. Continuous hot pressing of reactive materials. — High Temp. — High Pressure, 1971, 3. — № 4. — p. 411 — 418.
13. Okimoto Kunio, Shima Susumu, Oyane Moria. Соединение под давлением прессовок из металлических порошков. — Сосэй то како, J. Jap. Soc. Technol. Plast., 1977, 18. — № 195. — p. 319 — 324.
14. Груздев И.Э., Мирзоев Р.Г., Янков В.И. Теория шнековых устройств. — Л.: Изд-во ЛГУ, 1978. — 144 с.
15. Дмитриев Л.М. Устройства для переработки пластических масс литьем под давлением. — М., 1964.

16. Ильинский Д.Я. Расчет и конструирование червячных машин для легкой промышленности. — М., 1965.
17. Королев К.М. Исследование ленточных шнековых прессов пластического формования керамических изделий. — М.: Машиностроение, 1960. — 210 с.
18. Геррманн Х. Шнековые машины в технологии. — Л.: Химия, 1975. — 230 с.
19. Каплун Я.Б. Формующее оборудование экструдеров. — М.: Машиностроение, 1969.
20. Лукинов М.И. Производство керамических дренажных труб. — М.: Стройиздат, 1981. — 216 с.
21. Производство керамических канализационных труб / Зайонц Р.М. и др. — М.: Стройиздат, 1971.
22. Производство электрических кабелей и проводов с резиновой и пластмассовой изоляцией / О.Ш. Бабицкий и др. — М.: Высшая школа, 1972. — 400 с.
23. Сторож Б.Д., Грабчук Б.Л., Заверуха О.В. Формование многослойных изделий из материалов на основе тугоплавких соединений на вакуумном прессе // В кн.: Развитие методов формования изделий из порошков. — Киев: Наук. Думка, 1976. — С. 151 — 155.
24. Сторож Б.Д., Кислый П.С. Исследование особенностей процесса формования пластифицированной порошковой шихты на вакуумном червячном прессе // Развитие методов формования изделий из порошков. — Киев: изд-во АН УССР, 1976. — С. 142 — 150.
25. Исследование особенностей процесса формования ППМ на вакуумном червячном прессе / Б.Д. Сторож, П.С. Кислый // В кн.: Развитие методов формования изделий из порошков. — Киев: Институт проблем материаловедения АН УССР. — 1976. — С. 142 — 151.
26. Алексеев И.С. Разработка процесса непрерывного формования пористых длинномерных изделий из порошковых материалов методом экструзии шнеком: Дисс. ... канд. техн. наук: 05.16.05. — Мн., 1985.
27. Кулагин В.И. Разработка теории и технологии непрерывного формования сплошных профилей: Дисс. ... канд. техн. наук: 05.16.05.— Мн., 1985.
28. Жемчужный М.И. Разработка способов и технологии формования из порошковых композиций изделий с переменными свойствами: Дисс. ... канд. техн. наук: 05.16.05. — Мн., 1986.
29. Пятов В.В. Разработка процесса непрерывного формования пористых изделий сложного профиля экструзией порошков на шнековом прессе: Дисс. ... канд. техн. наук: 05.16.06. — Мн., 1988. — 187 с.
30. Красновский А.Н. Разработка технологии непрерывного формования изделий из порошковых материалов и композиций: Дисс. ... канд. техн. наук: 05.16.05. — Мн., 1990.
31. А. с. 1671414 СССР, МКИ В 22 F 3/20. Устройство для непрерывного формования порошковых материалов / С.С. Клименков, В.В. Пятов, А.М. Лапшин. — № 4680557/02; Заявлено 18.04.89; Оpubл. 23.08.91, Бюл. № 31 // Открытия. Изобретения. — 1991. — № 31. — С. 37 — 38.
32. А.с. 1199447 СССР, МКИ В 22 F 3/02. Устройство для непрерывного прессования порошков / А.В. Степаненко, С.С. Клименков, И.С. Алексеев, В.И. Кулагин. — БИ. — 1987 — № 47.
33. А. с. 1577924 СССР, МКИ В 22 F 3/02; В 30 В 15/02. Устройство для непрерывного прессования порошков / А.Н. Красновский, А.В. Карпушко, В.В. Савицкий, В.В. Пятов, В.В. Петухов // БИ. — 1990. — № 26.
34. А. с. 1176695 СССР, МКИ В 22 F 3/02. Устройство для исследования внешнего и межчастичного трения порошка / С.С. Клименков, В.В. Пятов, К.В. Шульков. — № 3716890/22-02; Заявлено 29.03.84. — ДСП.
35. А. с. 1374566 СССР, МКИ В 22 F 3/20. Устройство для прессования порошков / С.С. Клименков, В.В. Пятов, В.В. Петухов, А.Н. Красновский. — № 4038867/31-02; Заявлено 18.03.86. —

ДСП.

36. А. с. 1548946 СССР, МКИ В 22 F 3/20. Устройство для экструзии пластифицированных порошковых материалов / А.Н. Красновский, В.В. Петухов, В.В. Пятов, В.В. Савицкий, А.В. Карпушко, К.С. Матвеев. — № 4414017/31-02; Заявлено 21.04.88. — ДСП.
37. А. с. 1555966 СССР, МКИ В 22 F 3/20. Устройство для экструзии непластифицированных металлических порошков / А.Н. Красновский, В.В. Пятов, В.В. Савицкий, А.В. Карпушко, К.С. Матвеев. — № 4486633/31-02; Заявлено 26.09.88. — ДСП.
38. А. с. 1694350 СССР, МКИ В 22 F 3/20. Способ непрерывного формования изделий из порошковых материалов / В.В. Пятов, К.С. Матвеев, А.Н. Красновский, В.В. Савицкий, А.В. Карпушко. — № 4427339/02; Заявлено 16.05.88; Оpubл. 30.11.91, Бюл. № 44 // Открытия. Изобретения. — 1991. — № 44. — С. 42.
39. А. с. 1619567 СССР, МКИ В 22 F 3/20. Устройство для непрерывной экструзии порошковых материалов / В.В. Пятов, В.В. Савицкий, К.С. Матвеев, А.Н. Красновский, А.С. Шандриков, А.В. Карпушко. — № 4705357/02; Заявлено 15.06.89. — ДСП.
40. А. с. 1341034 СССР, МКИ В 22 F 3/20; В 30 В 15/02. Устройство для экструзии порошка / А.В. Степаненко, С.С. Клименков, В.В. Пятов, В.В. Петухов. — № 4059263/31-02; Заявлено 21.04.86; Оpubл. 30.09.87, Бюл. № 36 // Открытия. Изобретения. — 1987. — № 36. — С. 91.
41. А. с. 1659179 СССР, МКИ В 22 F 3/20. Устройство для экструзии порошковых композиций / А.Н. Красновский, К.С. Матвеев, В.В. Пятов, А.Л. Коваленко, А.М. Лапшин. — № 4719618/02; Заявлено 14.07.89; Оpubл. 30.06.91, Бюл. № 24 // Открытия. Изобретения. — 1991. — № 24. — С. 53.
42. А. с. 1806898 СССР, МКИ В 22 F 3/20. Устройство для непрерывного формования порошковых материалов / В.В. Пятов, А.Н. Красновский, К.С. Матвеев, А.Л. Коваленко, А.М. Лапшин. — № 4795708/02; Заявлено 26.02.90; Оpubл. 07.04.93, Бюл. № 13 // Открытия. Изобретения. — 1993. — № 13. — С. 61.
43. А. с. 1823288 СССР, МКИ В 22 F 3/20. Устройство для непрерывного формования изделий из порошков / В.В. Пятов, К.С. Матвеев, В.В. Савицкий, А.Н. Красновский, А.М. Лапшин, А.С. Шандриков. — № 4827638/02; Заявлено 21.05.90. — ДСП.
44. А. с. 1785143 СССР, МКИ В 22 F 3/20. Устройство для экструзии пластифицированных порошковых материалов / В.В. Пятов, К.С. Матвеев, А.Н. Красновский, В.В. Савицкий, А.М. Лапшин, А.С. Шандриков. — № 4795709/02; Заявлено 26.02.90. — ДСП.
45. А. с. 1671413 СССР, МКИ В 22 F 3/20. Устройство для непрерывного прессования порошка / А.В. Степаненко, А.Н. Красновский, В.В. Пятов, К.С. Матвеев, А.Л. Коваленко. — № 4659627/02; Заявлено 06.03.89; Оpubл. 23.08.91, Бюл. № 31 // Открытия. Изобретения. — 1991. — № 31. — С. 37.
46. А. с. 1600142 СССР, МКИ В 22 F 3/20. Устройство для экструдирования изделий из порошков / В.В. Пятов, А.Н. Красновский, К.С. Матвеев, В.В. Савицкий, А.В. Карпушко. — № 4635863/31-02; Заявлено 12.12.88. — ДСП.
47. А. с. 1577924 СССР, МКИ В 22 F 3/02 ; В 30 В 15/02. Устройство для непрерывного прессования порошков / А.Н. Красновский, А.В. Карпушко, В.В. Савицкий, В.В. Пятов, В.В. Петухов. — № 4387905/31-02; Заявлено 09.03.88; Оpubл. 15.07.90, Бюл. № 26 // Открытия. Изобретения. — 1990. — № 26. — С. 48.
48. А. с. 1656773 СССР, МКИ В 22 F 3/02. Устройство для формования длинномерных заготовок из порошка / В.В. Пятов, А.Н. Красновский, К.С. Матвеев, А.М. Лапшин, А.Л. Коваленко. — № 4767825/02; Заявлено 09.11.89. — ДСП.
49. А. с. 1323234 СССР, МКИ В 22 F 3/20; В 30 В 12/00. Устройство для экструдирования полых изделий из порошка / П.А. Витязь, С.С. Клименков, И.С. Алексеев, В.В. Пятов, В.В. Савиц-

кий. — № 4017331/22-02; Заявлено 22.01.86; Опубл. 15.07.87, Бюл. № 26 // Открытия. Изобретения. — 1987. — № 26. — С. 50.

50. Пятов В.В., Ковчур А.С. Теоретический анализ процесса непрерывного формования порошков // Вестник Витебского государственного технологического университета: Сб. ст. — Витебск: ВГУ, 1995. — С. 62 — 64.

51. Пятов В.В., Ковчур А.С. Анализ напряженно-деформированного состояния при формовании пластифицированного порошкового материала // Сборник научных трудов ВГУ: Ч.2. — Витебск: ВГУ, 1995. — С. 31 — 34.

