

Министерство образования республики Беларусь

Учреждение образования

«ВИТЕБСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

УДК 621.762

№ госрегистрации 20163071

Инв. № _____



ОТЧЕТ


О НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЙ РАБОТЕ

*Разработать теоретические и технологические основы экструзии
многофункциональных композиционных материалов*

2017-Г/Б-337


(заключительный)

Научный руководитель: д.т.н., проф.


29.10.2017

В. В. Пятов

Начальник НИЧ


29.12.2017

С. А. Беликов

Библиотека ВГТУ




Витебск 2017

СПИСОК ИСПОЛНИТЕЛЕЙ

Научный руководитель НИР

д.т.н., проф.


29.12.17 

Пятов В. В.

(подпись, дата)

Исполнители

д.т.н., проф.

29.12.17 

Пятов В. В. (разделы 1-5)

(подпись, дата)

ст. преп.

29.12.17 

Голубев А. Н. (разделы 4-5)

(подпись, дата)


студ.

29.12.17 

Ширяев П. С. (раздел 5)

(подпись, дата)

Нормоконтролер

29.12.17 

Жерносек С. В.

(подпись, дата)



РЕФЕРАТ

Отчет заключительный 154 с., 79 таблиц, 59 рис., 199 источников.

ТЕОРИЯ, ТЕХНОЛОГИЯ, ЭКСТРУЗИЯ, ФОРМОВАНИЕ, ТРЕНИЕ, ШНЕК.

Объектом исследования является процесс шнековой экструзии пластичной среды.

Цель работы — разработка теории и технологии экструзии сжимаемых сред.

Построена теоретическая модель процесса деформации пластичной среды шнеком и формующим инструментом, проведен анализ этой модели и установлены связи между свойствами материала, силовыми параметрами процесса его деформации и геометрией формующего инструмента. Исследована термодинамика процесса шнековой экструзии и кинематика течения изотропных и анизотропных сред.

Разработана методика исследований триботехнических и реологических свойств сжимаемой пластичной среды, позволяющая измерить все необходимые для проектирования нового оборудования характеристики материала. Измерены коэффициенты трения и бокового давления пластифицированных порошков. Исследована уплотняемость сжимаемых пластичных сред при одноосном сжатии и более сложных напряженных состояниях. Изучены особенности структурной прочности пластифицированных порошковых композиций.

Проведенные исследования позволили составить методику выполнения конструкторских расчетов по проектированию шнека и формующего инструмента. Разработана типовая технология шнековой экструзии пластичных сжимаемых композиций и конструкция образцового шнекового экструдера, реализующего возможности этой технологии. Выработаны научно обоснованные рекомендации по проектированию силовых шнековых машин.

Результаты исследований могут быть использованы при разработке ресурсосберегающих технологий формования сжимаемых сред — пластифицированных металлических и керамических порошков, полимеров, отходов гальванического производства, обувной промышленности и других измельченных материалов.

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	6
1 Состояние теории и технологии экструзии	7
1.1 Состояние теории экструзии пластичной сжимаемой среды	8
1.1.1 Физические модели деформируемых сред	8
1.1.2 Деформация пластичной среды шнеком	11
1.1.3 Деформация материала инструментом	13
1.2 Состояние технологии экструзии пластичных сред	14
1.2.1 Пластификация измельченных материалов	14
1.2.2 Основные способы реализации экструзии	17
1.2.3 Удаление пластификатора и спекание изделий	22
1.2.4 Технологические свойства необратимо сжимаемых сред	24
2 Теоретическое исследование экструзии	28
2.1 Уплотнение пластичной среды шнеком	29
2.2 Распределение напряжений в поперечном сечении канала	31
2.3 Экструзия уплотненного материала	33
2.4 Кинематика экструзии анизотропной среды	36
2.5 Термодинамика процесса шнековой экструзии	39
3 Основы расчета шнековых машин	50
3.1 Расчет шнека	50
3.2 Энергосиловые расчеты	60
3.3 Теплотехнические расчеты	64
3.4 Расчет диапазона допустимых скоростей вращения шнека	72
3.5 Расчет прессформы для экструзии	73
4 Исследование технологических свойств среды	75
4.1 Методика исследований и измерительные приборы	75
4.1.1 Триботехнические исследования	75
4.1.2 Реологические исследования	77
4.1.3 Исследование уплотняемости среды	78
4.1.4 Исследование бокового давления	80
4.1.5 Исследование структурной прочности материала	82
4.2 Результаты экспериментальных исследований	83
4.2.1 Уплотняемость пластифицированных порошковых композиций	84
4.2.2 Измерение триботехнических характеристик	88
4.2.3 Коэффициенты бокового давления	98
4.2.4 Реологические свойства пластифицированных порошков	102

4.2.5 Диапазон рабочих скоростей шнека	105
4.2.6 Измерение коэффициента окружного проскальзывания материала	112
4.2.7 Экспериментальная проверка возможностей экструдирования изделий из полимерсодержащих материалов	116
5 Основы проектирования технологических процессов и оборудования	121
5.1 Проектирование формующего инструмента	122
5.2 Проектирование привода и опорных узлов	126
5.3 Возможности применения трехмерных САПР для проектирования формующего инструмента	128
5.4 Расчет технологических параметров	130
5.5 Типовая технология экструзии порошковых сред	133
5.6 Типовая конструкция шнековой машины для реализации технологии	137
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	140
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ	141

ВВЕДЕНИЕ

Экструзия — традиционный метод формования вязко-пластичных сред. Горячая вязкая масса продавливается пуансоном или шнеком через фильеру, затем материал охлаждается и застывает. Технология хорошо освоена химической [1–2] и электротехнической [3] промышленностью.

Формование упруго-пластичных сред, находящихся в твердом состоянии, изучено хуже. Обычно экструзии подвергают измельченные материалы, в которые добавляют связующе-пластифицирующие добавки, получая композицию с нужными технологическими свойствами. Так, шнековой экструзией пластифицированных металлических и керамических порошков получают длинномерные изделия — теплообменники, фильтры, шнуры для нанесения покрытий [4]. Освоены технологии переработки отходов гальванического [5] и обувного [6–10] производств.

В отечественной и зарубежной промышленности существует устойчивый спрос на разнообразные шнековые устройства. Разработкой экструзионных технологий и оборудования в Республике Беларусь занимаются ученые Витебского государственного технологического университета, которыми за последние 30 лет спроектировано, изготовлено и поставлено заказчикам около 40 уникальных шнековых машин [11–27] различного назначения.

Проектирование новых экструзионных технологий сейчас осуществляется на основе накопленного разработчиками опыта, так как методики проведения проектных расчетов пока не созданы. Отсутствие научно обоснованной технологии проектирования шнековых устройств приводит к большим затратам на создание новых процессов. Кроме того, накопленный членами коллектива опыт со временем уходит вместе с этими людьми. Опыт, в отличие от знаний, трудно передавать новым поколениям исследователей. В результате такое прогрессивное направление, как шнековая экструзия, находится под угрозой исчезновения.

Разработка теории экструзии пластичной сжимаемой среды позволит уменьшить затраты на проектирование новых технологических процессов и оборудования. Теория свяжет физические и технологические свойства среды с силовыми параметрами процесса деформации и геометрией формирующего инструмента. Это даст возможность разработать научно обоснованные методики выполнения конструкторских расчетов и перейти от метода проб и ошибок к научному методу проектирования экструзионного оборудования.

Цель настоящего исследования — создать теорию шнековой экструзии сжимаемых пластичных сред, а затем на этой основе разработать образцовую технологию проектирования новых экструзионных процессов и шнековых машин.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

- 1 Володин, В. П. Экструзия профильных изделий из термопластов. — Санкт-Петербург: Профессия, 2005. — 480 с.
- 2 Ким, В. С. Теория и практика экструзии полимеров. — Москва : Химия, 2005. — 568 с.
- 3 Производство кабелей и проводов / Н. И. Белоруссов и др. — Москва : Энергоиздат, 1981. — 632 с.
- 4 Пятов, В. В. Теоретические и технологические основы холодной экструзии порошковых материалов. — Витебск: УО «ВГТУ», 2002. — 237 с.
- 5 Шелег, В. К. Переработка гальваноотходов / В. К. Шелег, А. С. Ковчур, В.В. Пятов. — Витебск: УО «ВГТУ», 2004. — 185 с.
- 6 Термомеханический рециклинг композиции из отходов подошвенных пенополиуретанов шнековой экструзией / К. С. Матвеев, В. В. Пятов // Энерго- и материалосберегающие экологически чистые технологии: материалы VIII междунар. научно-тех. конф. — Ч.2 — Гродно: ГрГУ, 2010. — С. 304–309.
- 7 Пат. 5320 С08 ВУ, МПК С 08G 18/00. Экструдер для термомеханического рециклинга отходов интегральных полиуретанов / Матвеев К. С., Новиков А. К., Пятов В. В., Бровко С. В., Матвеев А. К., Голубев А. Н. — № и 20080790; Заявлено 23.10.08; Оpubл. 30.06.09 // Официальный бюллетень Государственного патентного ведомства Республики Беларусь. — 2009. — № 3.
- 8 Пат. ВУ 5953, МПК В 29С 47/00, С 08G 18/00. Шнековый экструдер для переработки полимерсодержащих отходов / Новиков А. К., Матвеев К. С., Пятов В. В., Голубев А. Н., Бровко С. В., Куксенюк Т. С. — Оpubл. 28.02.2010.
- 9 Пат. ВУ 6093, МПК В 29С 47/92. Экспериментальный экструдер для переработки полимерных отходов / Новиков А. К., Матвеев К. С., Бровко С. В., Пятов В. В., Голубев А. Н., Матвеев А. К. — Оpubликован 30.04.2010.
- 10 Пат. ВУ 16053, МПК С 08G 18/00, С 08G 71/00. Способ переработки отходов жестких полиуретанов / Матвеев К. С., Пятов В. В., Новиков А. К., Егорова Е. А., Солтовец Г. Н., Матвеев А. К. — Оpubликован 30.06.2012.
- 11 Разработка и исследование процесса получения длинномерных спеченных труб: Отчет о НИР. — № ГР 01.83.0031788 / С. С. Клименков, В. В. Пятов и др. — Витебск: ВТИЛП, 1984. — 319 с.
- 12 Разработка технологии и изготовление установки для переработки отходов обувного производства: Отчет о НИР. — № ГР 1997379 / В. В. Савицкий, В. В. Пятов и др. — Витебск: ВГТУ, 1997. — 40 с.

- 13 Разработка технологии формования порошкового шнура для плазменной наплавки: Отчет о НИР. — № ГР 1997803 / О. Н. Ахтанин, В. В. Пятов и др. — Витебск: ВГТУ, 1997. — 20 с.
- 14 Разработка и изготовление опытного образца экструдера для переработки отходов обувного производства: Отчет о НИР. — № ГР 19971228 / В. В. Савицкий, В. В. Пятов и др. — Витебск: ВГТУ, 1997. — 119 с.
- 15 Создать технологию и оборудование для производства сварочных электродов в защитной оболочке: Отчет о НИР. — № ГР 19971233 / С. С. Клименков, В. В. Пятов и др. — Витебск: ВГТУ, 1998. — 313 с.
- 16 Исследование процесса непрерывного формования многокомпонентных пластифицированных порошковых композиций для изготовления гибкого порошкового шнура, используемого для газотермического нанесения покрытий: Отчет о НИР. — № ГР 1998833 / В. В. Пятов, О. Н. Ахтанин. — Витебск: ВГТУ, 1998. — 52 с.
- 17 Разработка технологии получения профилактики для обуви из отходов полиуретана методом экструзии: Отчет о НИР. — № ГР 1998831 / Д. Р. Амирханов, В. В. Пятов и др. — Витебск: ВГТУ, 1998. — 70 с.
- 18 Исследование процесса рециклинга полиуретана и стелечного картона, разработка оборудования для получения термопластичных композиций: Отчет о НИР. — № ГР 19982465 / В. В. Пятов и др. — Витебск: ВГТУ, 1999. — 68 с.
- 19 Разработка и исследование процессов изготовления композиционных материалов и изделий на основе сырьевых запасов Республики Беларусь и отходов производства: Отчет о НИР. — № ГР 1999285 / С. С. Клименков, В. В. Пятов и др. — Витебск: ВГТУ, 1999. — 136 с.
- 20 Разработать и освоить технологию изготовления медных контактодержателей, облицовочных пластин электроконтактов и электродов для контактной сварки из отходов гальванического производства: Отчет о НИР. — № ГР 19992069 / С. Г. Ковчур, В. В. Пятов и др. — Витебск: ВГТУ, 2000. — 73 с.
- 21 Разработка технологии и оборудования для переработки полимерсодержащих отходов обувной промышленности: Отчет о НИР. — № ГР 2007858 / В. В. Пятов и др. — Витебск: УО «ВГТУ», 2007. — 58 с.
- 22 Внедрение технологии и оборудования для переработки полимерсодержащих отходов обувной промышленности: Отчет о НИР. — № ГР 20082895 / В. В. Пятов и др. — Витебск: УО «ВГТУ», 2008. — 47 с.
- 23 Исследование степени диспергирования полимерсодержащих отходов упаковки при рециклинге на шнековом оборудовании: Отчет о НИР. — № ГР 20081260 / В. В. Пятов и др. — Витебск: УО «ВГТУ», 2008. — 60 с.

- 24 Разработать, исследовать и внедрить на ООО «Дубль-МК» технологию получения композиционного армированного стелечного материала с использованием отходов интегральных пенополиуретанов: Отчет о НИР. — № ГР 20081928 / В. В. Пятов и др. — Витебск: УО «ВГТУ», 2008. — 67 с.
- 25 Разработка и внедрение технологии получения композиционного стелечного материала: Отчет о НИР. — № ГР 431 / В. В. Пятов и др. — Витебск, 2010. — 42 с.
- 26 Разработка технологии получения подошвенного материала из отходов производства: Отчет о НИР. — № ГР 379 / В. В. Пятов и др. — Витебск, 2010. — 47 с.
- 27 Исследование процесса получения композиционных материалов из отходов производства и разработка оборудования для формования подошвенных материалов: Отчет о НИР. — № ГР 05-63/01-10 / В. В. Пятов и др. — Витебск, 2011. — 60 с.
- 28 Иванченко, А. И. Расчет одночервячных прессов. — Киев, 1962. — 120 с.
- 29 Каплун, Я. Б. Формующее оборудование экструдеров. — Москва : Машиностроение, 1969.
- 30 Лукинов, М. И. Производство керамических дренажных труб. — Москва : Стройиздат, 1981. — 216 с.
- 31 Производство керамических канализационных труб / Зайонц Р. М. и др. — М.: Стройиздат, 1971.
- 32 Кашкаев, И. С. Производство глиняного кирпича / И. С. Кашкаев, Е. Ш. Шейман. — Москва : Высшая школа, 1978.
- 33 Ничипоренко, С. П. О формовании керамических масс в ленточных прессах. — Киев: Наук. думка, 1971. — 75 с.
- 34 Плющ, Г. В. Исследование закономерностей мундштучного прессования металлокерамических твердых сплавов: Дисс... канд. техн. наук. — Киев, 1970.
- 35 Самсонов, Г. В. Тугоплавкие соединения / Г. В. Самсонов, И. М. Виноцкий. — Москва : Металлургия, 1976. — 558 с.
- 36 Клименков, С. С. Теория и технология экструдирования реологических порошковых композиций методом шнекового прессования, создание оборудования и внедрение в народное хозяйство: Дисс. ... д.т.н. — Минск, 1991. — 436 с.
- 37 Бальшин, М. Ю. Порошковая металлургия. — Москва : Машгиз, 1938. — 288 с.
- 38 Каспаров, А. М. Советские твердые и сверхтвердые сплавы и способы их применения. — Москва : Цветметиздат, 1932. — 120 с.
- 39 Брохин, И. С. Формование порошков твердосплавных смесей методом выдавливания // В кн.: Твердые сплавы. — М.: ВНИИТС, 1959. — С. 100–101.

- 40 Злобин, Г. П. Формование изделий из порошков твердых сплавов. — Москва : Metallurgy, 1980. — 224 с.
- 41 Порошковая металлургия. Материалы, технология, свойства, области применения / И. М. Федорченко. — Киев: Наук. думка, 1985. — 624 с.
- 42 Макаров, Б. В. Пластификация ферритовых порошков // Порошковая металлургия.— 1979.— № 11. — С. 6–9.
- 43 Гарднер, Н. Р. Экструзия металлокерамических порошков // Новое в порошковой металл. — Москва : Metallurgy, 1970.
- 44 Живов, Л. И. Экструзия титановых сварочных электродов // Цветные металлы. — 1968. — № 2. — С. 84–85.
- 45 Szartzwelder, J. H. Extrusion of aluminum powder compacts // Int. J. Powder Metallurgy, 1967. — v. 3. — № 3. — p. 53–57.
- 46 Sheppard T. and Greasley. Densification and pressure requirements during extrusion of atomized aluminum powder // Powder Metallurgy. — 1972. — v. 15. — № 29. — p. 17.
- 47 Sheppard T. and Greasley. Structure and properties of some tin bronzes produced by extrusion of atomized powder // Powder Metallurgy. — 1978. — v. 21. — № 3. — p. 155.
- 48 Андриевский, Р. А. Фильтры и пористые изделия. — Москва : ЦИТЭИН, 1963.
- 49 Chare P. J. M. and Sheppard T. Powder Extrusion as a Primary Fabricating Process for Al-Fe Alloys // Powder Metallurgy. — 1973. — v. 16. — № 32. — p. 437.
- 50 Shaker, H. D. Cold extrusion of powder material. Material flow and workpiece properties. “Proceeding 18th International Machine Tool Design and Research Conference”. — London, September. — 1977. — p. 233.
- 51 Косторнов, А. Г., Райченко, А. И. Реологические исследования пластифицированной порошковой шихты // Порошковая металлургия. — 1966. — № 5. — С. 21–22.
- 52 Райченко, А. И., Косторнов, А. Г. Реологические исследования пластифицированной порошковой шихты // Порошковая металлургия. — 1966. — № 6. — С. 11–12.
- 53 Косторнов, А. Г., Райченко, А. И. Реологические исследования пластифицированной порошковой шихты // Порошковая металлургия.— 1966.— № 12.— С. 10–11.
- 54 Уилкинсон, У. Л. Неньютоновские жидкости. — Москва : Мир, 1964. — 216 с.
- 55 Рейнер, М. Деформация и поток. — Москва : ИЛ, 1964.
- 56 Берихардт, Э. Переработка термопластических материалов. — Москва : Госхимиздат, 1962. — 747 с.
- 57 Виноградов, Г.В., Малкин, А.Я. Реология полимеров.— Москва : Химия, 1977.— 438 с.
- 58 Виноградов, Г., Догадини, Б., Прозоровская, Н. Вязкостные свойства эластомера на при-

- мере дивинил-стерильного каучука // «Коллоидный журнал», 1968.
- 59 Каргин, В. А., Слонимский, Г. Л. Краткие очерки по физико-химии полимеров. — Москва : Химия, 1967. — 231 с.
- 60 Косторнов, А. Г., Райченко, А. И. Свойства пластифицированной порошковой смеси и закономерности ее экструзии // В кн.: Порошковая металлургия. — Мн.: Выш. школа, 1996. — С. 96–104.
- 61 Друянов, Б. А., Вартанов, К. Б. Вязкопластическое течение сжимаемого порошкового материала // Порошковая металлургия. — 1984. — № 8. — С. 24–27.
- 62 Гун, Г. Я. Математическое моделирование процессов обработки металлов давлением. — Москва : Металлургия, 1983. — 352 с.
- 63 Колмогоров, В. Л. Механика обработки металлов давлением. — Москва : Металлургия, 1986. — 688 с.
- 64 Айзенкольб, Ф. Порошковая металлургия. — Москва : Металлургиздат, 1959.
- 65 Федорченко, И. М., Андриевский, Р. А. Основы порошковой металлургии. — Киев: Изд-во АН УССР, 1963.
- 66 Раковский, В. С. Основы порошкового металловедения. — Москва, 1962.
- 67 Дорофеев, Ю. Г. Уравнения уплотнения пористых материалов // В кн.: Использование метода динамической металлокерамики в стружковой и порошковой металлургии. — Ростов, 1966. — С. 21–25.
- 68 Жданович, Г. М. Теория прессования металлических порошков. — Москва : Металлургия, 1969. — 264 с.
- 69 Бальшин, М. Ю. Об определении контактного сечения и некоторых механических свойств пористых, порошковых и волокнистых материалов // Порошковая металлургия в новой технике. — М.: Наука, 1968. — С. 51–55.
- 70 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.
- 71 Груздев, И. Э., Мирзоев, Р. Г., Янков, В. И. Теория шнековых устройств. — Ленинград : Изд-во ЛГУ, 1978. — 144 с.
- 72 Багаугдинов, И. И., Пелеев, А. И. Применение шнеков в мясной промышленности. — Москва : ЦНИИТЭИминмясомолпрома, 1971.
- 73 Шляхтер, Г. Н. Исследование двухстадийного пресса. — Дис. к.т.н. — Москва, 1970.
- 74 Исследование особенностей процесса формования ППМ на вакуумном червячном прессе / Б. Д. Сторож, П. С. Кислый // В кн.: Развитие методов формования изделий из порошков. —

Киев: ИПМ АН УССР. — 1976. — С. 142–151.

75 Акимов, М. И. О движении тяжелой точки по винтовой линии на шероховатой поверхности // «Записки горного института». — Ленинград, 1936. — т. 10. — С. 1–21.

76 Алтынбеков, Ф. Е. Исследование процесса транспортирования сыпучих грузов вертикальным быстроходным шнеком. — Дис. к.т.н. — Ленинград, 1968. — 116 с.

77 Григорьев, А. М. Винтовые конвейеры. — Москва : Машиностроение, 1972. — 184 с.

78 Рыбаков, И. Я. Теория и расчет вертикальных шнеков // Торфяная промышленность. — 1951. — № 8.

79 Прессы пищевых и кормовых производств / Под ред. А. Я. Соколова. — Москва : Машиностроение, 1973. — 288 с.

80 Салазкин, К. А., Кольман-Иванов, Э. Э. Таблеточные машины. — Москва : Машиностроение, 1966.

81 Расчет усилия червячного пресса для формования изделий из пластифицированных порошковых масс / Б. Д. Сторож, П. С. Кислый. В кн.: Развитие методов формования изделий из порошков. — Киев, 1976 — С. 62–71.

82 Бернхард, Т. Э. Переработка термопластичных материалов. — Москва : Химия, 1965. — 747 с.

83 Дорофеев, Ю. Г. Динамическое горячее прессование пористых материалов. — Москва : Наука, 1968. — 120 с.

84 Дорофеев, Ю. Г. Динамическое горячее прессование пористых порошковых заготовок. — Москва : Metallургия, 1977. — 216 с.

85 Ковальченко, М. С. Теоретические основы горячей обработки пористых материалов давлением. — Киев: Наукова думка, 1980. — 238 с.

86 Дорофеев, В. Ю., Лозовой, В. И. Некоторые особенности уплотнения порошкового материала при горячей штамповке с элементами экструзии // Порошковая металлургия. — 1985. — № 3. — С. 11–14.

87 Уплотнение материалов в жестких конических и цилиндрических матрицах / Г. Л. Петросян и др. // Порошковая металлургия. — 1982. — № 5. — С. 22–27.

88 Петросян, Г. Л., Мусаелян, Г. В., Петросян, Х. Л. Исследование процесса выдавливания спеченного пористого материала через коническую матрицу // Порошковая металлургия. — 1985. — № 3. — С. 19–23.

89 Петросян, Г. Л. и др. Исследование напряженно-деформированного состояния осесимметричной осадки пористых материалов методом конечных элементов. — Изв. АН АрмССР, 1980. — № 1 (33). — С. 65–76.

- 90 Петросян, Г. Л. Формование пористых труб и стержней // Докл. АН АрмССР, 1977. — № 3 (14). — С. 176–181.
- 91 Петросян, Г. Л. О теории пластичности пористых тел // Изв. ВУЗов. Машиностроение, 1977. — № 5. — С. 10–13.
- 92 Скороход, В. В., Тучинский, Л. И. Условие пластичности пористых тел // Порошковая металлургия, 1978. — № 11. — С. 83–87.
- 93 Расчет процесса экструзии порошковой заготовки через коническую матрицу / Осадчий В. А. и др. — Известия ВУЗов: черная металл. — 1985. — № 11. — С. 81–84.
- 94 Райченко, А. И. К вопросу об экструзии пластично-вязкой порошковой смеси // Порошковая металлургия. — 1967. — № 9. — С. 6–9.
- 95 Райченко, А. И. Задачи, связанные с непрерывным прессованием труб из порошков // Порошковая металлургия. — 1964. — № 6. — С. 17–21.
- 96 Райченко, А. И. Задачи, связанные с выдавливанием труб из вязко-пластичной шихты // Порошковая металлургия. — 1965. — № 8. — С. 23–34.
- 97 Injection molding for near-net-shape PM components / Hadfield D. // Metals and Mater. — 1985. — 1. — № 10. — p. 609–612.
- 98 Injection molding of metal powders-present state and development perspectives / Kaczmar Jacek.: Crundlag., Herstell und Eigenschaft pulverment. Werkst. 8 Int. pulwermet. Tag., Dresden, 24-26 Sept. 1985. Bd 1: Hauptvotr. paster - Kurfess. — s. 1., a., 75.
- 99 Прессование тугоплавких соединений в вакуумной шнек-машине / П. С. Кислый, М. А. Кузенкова, А. Х. Бадян, Б. Д. Сторож, А. Н. Кашук // В кн.: Теория и практика прессования порошков. — Киев: изд-во АН УССР, 1975.
- 100 Попильский, Р. Я., Пивинский, Ю. Е. Прессование порошковых керамических масс. — Москва : Металлургия, 1983. — 176 с.
- 101 Кудря, Н. А., Романова, Н. И. Исследование и экспериментальная проверка нового пластификатора для производства твердых сплавов // Научные труды Всесоюзного НИИ тугоплавких металлов и твердых сплавов. — 1977. — № 17. — С. 53–61.
- 102 Kortovich C. S. Technical report AFML-TR-69-101, Wright-Paterson Air Force Base, Ohio, June 1969.
- 103 Moyer K. H. Modern developments in Powder metallurgy, Vol. 5, Plenum press, New York, 1971, p. 85.
- 104 Высокотемпературные неметаллические нагреватели / П. С. Кислый, А. Х. Бадян, В. С. Киндышева, Ф. С. Габриян. — Киев: Наук. думка, 1981. — 160 с.
- 105 Корниенко, П. А., Пугин, В. С. Механические свойства пластификаторов // Порошковая

- металлургия. — 1969. — № 1. — С. 34–36.
- 106 Корниенко, П. А., Пугин, В. С. Исследование влияния синтетического пластификатора на свойства пористых металлокерамических материалов // В кн.: Порошковая металлургия. Сб. докладов. — Минск : Вышш. школа, 1966. — С. 207–214.
- 107 Плющ, Г. В., Слезко, А. И. Применение поверхностно-активных веществ в процессе мундштучного прессования твердых сплавов. — Порошковая металлургия. — 1970. — № 2. — С. 11–12.
- 108 Грибовский, П.О. Горячее литье керамич. изделий — Госэнергоиздат, 1961.
- 109 Кислый, П. С., Самсонов, Г. В. Основы процесса мундштучного прессования труб и стержней из порошков тугоплавких соединений // Порошковая металлургия. — 1962. — № 3. — С. 31–48.
- 110 Либенсон, Г. А. Производство спеченных изделий. — Москва : Металлургия, 1982. — 256 с.
- 111 Булычев, В. П., Тюрленев, В. И. Роль пластификатора при мундштучном прессовании заготовок из карбида циркония // Пор. металлургия. — 1982. — с. 21–27.
- 112 Худокормов, Д. Н., Керженцева, Л. Ф., Шелехина, В. М. Влияние способа введения пластификатора в дисперсные порошки на их свойства // В кн.: Порошковая металлургия. — 1980. — вып. 4.
- 113 Пористые порошковые материалы и изделия из них / П. А. Витязь, В. М. Капцевич, В. К. Шелег. — Минск : Вышш. шк., 1987. — 164 с.
- 114 Степаненко, А. В. Непрерывное формование труб из металлических порошков // Порошковая металлургия. — 1983. — № 11. — С. 12–17.
- 115 А. с. 664751 СССР. Способ формования трубных заготовок из порошков / В. П. Северденко, А. В. Степаненко, Л. А. Исаевич. — БИ. — 1979. — № 20.
- 116 А. с. 952439 СССР. Устройство для непрерывного формования труб из порошка / А. В. Степаненко, Л. А. Исаевич, А. А. Веремейчик. — БИ. — 1982. — № 31.
- 117 Wassink R. J. Klein. Continuous hot pressing of reactive materials. — High Temp. — High Pressure, 1971, 3. — № 4. — p. 411–418.
- 118 Okimoto Kunio и др. Соединение под давлением прессовок из металлических порошков. — J. Jap. Soc. Technol. Plast., 1977, 18. — № 195. — p. 319–324.
- 119 Дмитриев, Л. М. Устройства для переработки пластических масс литьем под давлением. — Москва, 1964.
- 120 Геррман, Х. Шнековые машины в технологии. — Ленинград : Химия, 1975. — 230 с.
- 121 Ильинский, Д. Я. Расчет и конструирование червячных машин для легкой промышлен-

ности. — Москва, 1965.

122 Королев, К. М. Исследование ленточных шнековых прессов пластического формования керамических изделий. — Москва : Машиностроение, 1960. — 210 с.

123 Производство электрических кабелей и проводов с резиновой и пластмассовой изоляцией / О. Ш. Бабицкий и др. — Москва : Высшая школа, 1972. — 400 с.

124 Шенкель Г. Шнековые прессы для пластмасс. — М.: Мир, 1965. — 293 с.

125 Бокшицкий, М. Н., Гурфинкель, Ф. Я. Формующий инструмент экструзионных машин. — Москва, 1965.

126 Сторож, Б. Д., Грабчук, Б. Л., Заверуха О. В. Формование многослойных изделий из материалов на основе тугоплавких соединений на вакуумном прессе // Сб. ст. — Киев: Наук. Думка, 1976. — С. 151–155.

127 Сторож, Б. Д., Кислый, П. С. Исследование особенностей процесса формования пластифицированной порошковой шихты на вакуумном червячном прессе // Развитие методов формования изделий из порошков. — Киев, 1976. — С. 142–150.

128 Алексеев, И. С. Разработка процесса непрерывного формования пористых длинномерных изделий из порошковых материалов методом экструзии шнеком: Дисс. ... канд. техн. наук: 05.16.05. — Минск, 1985.

129 Кулагин, В. И. Разработка теории и технологии непрерывного формования сплошных профилей: Дисс. ... канд. техн. наук: 05.16.05. — Минск, 1985.

130 Жемчужный, М. И. Разработка способов и технологии формования из порошковых композиций изделий с переменными свойствами: Дисс. ... канд. техн. наук: 05.16.05. — Минск, 1986.

131 Красновский, А. Н. Разработка технологии непрерывного формования изделий из порошковых материалов и композиций: Дисс. к.т.н: 05.16.05. — Минск, 1990.

132 А.с. 1199447 СССР, МКИ В 22 F 3/02. Устройство для непрерывного прессования порошков / А. В. Степаненко и др. — БИ. — 1987. — № 47.

133 Остапчук Ю. Г., Язловицкий М. Л. Дисковые экструдеры. — Киев, 1972.

134 Патент США № 4552520, МКИ В 22 F 3/02, 1985.

135 Пятов, В. В., Алексеев, И. С., Карпушко А. В. Теоретический анализ процесса ротационного прессования // Tendencje rozwojowe w technologii maszyn: Сб. ст. — Zielona Gora, 1991. — С. 50–55.

136 Джонсон, В., Кудо, Х. Механика процесса выдавливания металлов. — Москва : Металлургия, 1965.

137 Береснев, Б. И., Трушин, Е. В. Процесс гидроэкструзии. — Москва : Наука, 1976.

- 138 Колпашников, А. И., Вялов, В. А. Гидропрессование металлов. — Москва, 1973.
- 139 Прозоров, Л. В. Прессование стали и тугоплавких сплавов. — Москва, 1969.
- 140 Мальцев, М. В., Доронькин, Е. Д., Езерский, К. И. Гидростатическая обработка тугоплавких металлов. — Москва, 1978.
- 141 Швецов, Г. А., Алимова, Д. У., Барышникова, М. Д. Технология переработки пластических масс. — Москва : Химия, 1988. — 512 с.
- 142 Грифф, А. Технология экструзии пластмасс. — Москва, 1965.
- 143 Фишер, Э. Экструзия пластических масс. — Москва : Химия, 1970. — 340 с.
- 144 Новые процессы деформации металлов и сплавов / А. П. Коликов, П. И. Полухин, А. В. Крупин и др. — Москва : Высшая школа, 1986. — 351 с.
- 145 Степаненко, А. В., Исаевич, Л. А., Харлан, В. Е. Обработка давлением порошковых сред. — Минск : Навука і тэхніка, 1993. — 167 с.
- 146 Плющ, Г. В. Удаление пластификатора из твердосплавных изделий, полученных методом мундштучного прессования // В кн.: Технология получения новых материалов. — Киев, 1972. — с. 104–111.
- 147 Федорченко, И. М., Косторнов, А. Г. Исследование свойств материалов, полученных экструзией и спеканием пластифицированных порошковых смесей // Порошковая металлургия. Сб. докл. VIII Всесоюз. конф. по прогрессивным методам производства деталей из порошков. — Мн.: Вышш. школа, 1966. — С. 179–185.
- 148 Кислый П. С. Спекание заготовок, полученных методом мундштучного прессования порошков тугоплавких соединений // Порошковая мет. — 1962. — № 5.
- 149 Харченко, В. К., Струк, Л. И. Некоторые данные о влиянии температуры на прочность и пластичность тугоплавких соединений // Порошковая металлургия. — 1962. — № 2. — С. 86–91.
- 150 Слепцов, В. М., Щербина, О. Д., Трунов, Г. В. Удаление связки из образцов нитрида кремния. — Порошковая металлургия. — 1975. — № 7. — С. 99–101.
- 151 Усовершенствованные вакуумные печи для депарафинизации, предварительного спекания и агломерации / Ренни Эрик Т. // Британская промышленность и техника. — 1985, 60. — № 1. — С. 31–32.
- 152 Плющ, Г. В., Прядко, Г. А. Удаление пластификатора из твердосплавных заготовок // Порошковая металлургия. — 1970. — № 5. — с. 50–55.
- 153 Скороход, В. В. Об электропроводности дисперсных смесей проводников с непроводниками // Инж.-физ. журнал. — 1959. — № 8. — С. 51–58.
- 154 Изготовление изделий сложной конфигурации из термопластичных шликеров / Ф. Д.

Оболенцев, В. Г. Борщ // Пор. металл. — 1985. — № 3. — С. 15–18.

155 Скороход, В. В., Солонин, С. М., Чернышев Л. И. Исследование механизма спекания высокопористых материалов с улетучивающимся порообразователем // Порошковая металлургия. — 1974. — № 11. — с. 42–47.

156 А. с. 1193891 СССР, МКИ В 22 F 3/16; Н 01 F 1/08; С 22 С 33/02. Способ спекания пресованных заготовок из пластифицированных ферромагнитных порошков / С.С. Клименков, В.В. Пятов. — № 3618339/22-02; Заявлено 11.07.84.— ДСП.

157 Чайников, Н. А. Исследование коэффициента трения при прессовании металлических порошков // Порошковая металлургия. — 1979. — № 10. — С. 35–38.

158 Чайников, Н. А. Расчетный коэффициент внешнего трения при прессовании металлических порошков. — Порошковая металлургия. — 1981. — № 5. — С. 11–15.

159 Меерсон, Г. А., Рассказов, И. И., Чулков, В. П. Экспериментальное исследование процесса прессования порошкообразных материалов // Порошковая металлургии. — 1970. — № 1. — С. 21–29.

160 Кипарисов, С. С., Либенсон, Г. А. Порошковая металлургия. — Москва : Металлургия, 1991. — 432 с.

161 Беркович, И. И. и др. Исследование трения и сопротивления сдвигу порошков железа и алюминия. — Порошковая металлургия. — 1971. — № 11.

162 Виноградов, Г. А., Каташинский, В. П. Теория листовой прокатки металлических порошков и гранул. — Москва : Металлургия, 1979.

163 Устройства для определения коэффициента трения дисперсных материалов / Бесчастная Н. В. и др. // В кн.: Порошковая металл. — Пермь, 1979. — С. 63–68.

164 Коновалов, Е. Г., Жданович, Г. М. Измерения коэффициентов бокового давления при прессовании порошков железа с наложением ультразвуковых колебаний // В кн.: Пластичность и обработка металлов давлением. — Минск : Наука и техника, 1968. — С. 25–30.

165 Роман, О. В., Перельман, В. Е. Теоретический анализ зависимости давления на стенки матрицы от плотности прессуемого материала. — В кн.: Материалы IX Всес. конф. по порошковой металлургии. — Рига: Знание, 1968. — С. 73–79.

166 Верейкина, А. А., Руденко, В. Н., Самсонов, Г. В. Приспособление для определения предела прочности на сжатие образцов из тугоплавких соединений при высоких температурах. — Завод. лаб., 1960. — № 5. — С. 620–621.

167 Ребиндер, П. А. Физико-химическая механика. — Москва : Знание, 1958.

168 Ничипоренко, С. П. Физико-химическая механика дисперсных структур в технологии строительной керамики. — Киев: Наук. думка, 1968. — 76 с.

- 169 Ребиндер, П. А., Семенов, Н. А. О методе погружения конуса для характеристики структурно-механических свойств пластично-вязких тел // Доклады АН СССР. — т. 64. — № 6. — 1949. — С. 835.
- 170 Классен, П. В., Гришаев, И. Г. Основы техники гранулирования. — Москва : Химия, 1982. — 272 с.
- 171 Корниенко, П. А., Пугин, В. С. Структурно механические свойства пластификаторов // Порошковая металлургия.— 1968.— №1.— С. 101–103.
- 172 Корниенко, П. А., Пугин, В. С. Исследование структурно-механических свойств пластификаторов // Порошковая металлургия. — 1967. — № 6. — С. 8–15.
- 173 Ничипоренко, С. П. Основные вопросы теории процессов обработки и формования керамических масс. — Киев: АН УССР, 1960.
- 174 Пятов, В. В., Ковчур, А. С. Теоретический анализ процесса непрерывного формования порошков // Сб. ст. — Витебск: ВГТУ, 1995. — С. 62–65.
- 175 Пятов, В. В., Ковчур, А. С. Анализ напряженно-деформированного состояния при формовании пластифицированного порошкового материала // Сборник научных трудов ВГТУ: Ч.2. — Витебск: ВГТУ, 1995. — С. 31–34.
- 176 Пятов, В. В., Ковчур, А. С. Экструзия композитных материалов, армированных дискретными волокнами // Сб. ст. — Витебск: ВГТУ, 1998. — С. 60–65.
- 177 Исследование геометрии очага деформации при формовании материалов вращающимся шнеком / А. В. Степаненко, С. С. Клименков, А. Н. Красновский, В. В. Пятов; Деп. в ЦНИИ-ЭИ № 4960 // РЖ: Металлургия. — 1989. — № 2. — С. 153.
- 178 Пятов, В. В., Ковчур, А. С. Динамика экструзии изотропного материала // Сборник научных трудов ВГТУ: Ч.2. — Витебск: ВГТУ, 1995. — С. 37–39.
- 179 Интегралы и ряды. Специальные функции / А. П. Прудников и др. — М.: Наука, 1983. — 752 с.
- 180 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.
- 181 Пятов, В. В. Прибор для комплексного исследования свойств порошковых материалов // Сб. ст. — Витебск: ВГТУ, 1998. — С. 51–54.
- 182 Пятов, В. В. Исследование трения пластифицированных металлических порошков // Трение и износ. — 2004. — Т. 25. — № 1. — С. 104–107.
- 183 Klemm, V., Sobek, D. Grundlag Herstell und Eigenschaften pulvermet. Werkst. 8 Int. pulvermet. Tag., Dresden, 1985.

- 184 Gerritsen, A. H. // Powder Tech.— № 1. — 1985.— №1.— p. 61–70.
- 185 Пат. 5665 С1 ВУ, МПК 7 G 01L 7/00. Способ определения коэффициента бокового давления / В. В. Пятов, О. Н. Ахтанин, С. С. Клименков, А. Н. Голубев. — № а 19990668; Заявлено 06.01.98; Опубл. 30.09.03 // Офиц. бюллетень Государственного патентного ведомства Республики Беларусь.— 2003.— № 5.
- 186 Пятов, В. В. Использование трибометра для измерения коэффициентов бокового давления пластифицированных металлических порошков // Трение и износ. — 2004. — Т. 25. — № 2. — С. 223–225.
- 187 А. с. 1274848 СССР, МКИ G 01 N 11/00. Устройство для определения структурно-пластической прочности пластифицированных порошковых материалов / П. А. Витязь, С. С. Клименков, В. В. Пятов, К. В. Шульков. — № 3855518/22-02; Заявл. 11.02.85; Опубл. 08.08.86 // Открытия. Изобретения. — 1986. — № 45. — С. 46.
- 188 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; Опубл. 30.09.87, Бюл. № 36 // Открытия. Изобретения. — 1987. — № 36. — С. 91.
- 189 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; Опубл. 30.06.91, Бюл. № 24 // Открытия. Изобретения. — 1991. — № 24. — С. 53.
- 190 А. с. 1146893 СССР, МКИ В 22 F 1/00. Способ пластифицирования порошковых материалов / С. С. Клименков, И. С. Алексеев, В. В. Пятов. — № 3591513/22-02; Заявлено 11.01.83. — ДСП.
- 191 А. с. 1638905 СССР, МКИ В 22 F 3/20. Устройство для гранулирования порошковых материалов / А. Н. Красновский, К. С. Матвеев, А. М. Лапшин, В. В. Пятов, А. Л. Коваленко. — № 4736272/02; Заявлено 11.09.89. — ДСП.
- 192 А. с. 1664462 СССР, МКИ В 22 F 3/20, 3/02. Способ получения заготовок экструзией порошковых композиций и устройство для его осуществления / А. Н. Красновский, К. С. Матвеев, В. В. Пятов, В. В. Савицкий, А. С. Шандриков, А. М. Лапшин. — № 4710690/31-02; Заявлено 26.06.89; Опубл. 23.07.91, Бюл. № 27 // Открытия. Изобретения. — 1991. — № 27. — С. 53.
- 193 Спекание порошковых прессовок, содержащих парафин / В. В. Пятов, А. С. Ковчур, О. Н. Ахтанин, В. В. Савицкий // Современные энергоресурсосберегающие и экологобезопасные технологии в машиностроении и легкой промышленности: Сб. ст. — Витебск: ВГТУ,

1998. — С. 47–50.

194 А. с. 1153455 СССР, МКИ В 22 F 3/10, 3/24. Способ обработки пластифицированных заготовок из металлических порошков / С. С. Клименков, В. В. Пятов, И. С. Алексеев, М. И. Жемчужный. — № 3650036/22-02; Заявлено 24.06.83. — ДСП.

195 Ганин, Н. Б. Проектирование и прочностной расчёт в системе КОМПАС-3D V13 / Н. Б. Ганин. — Москва : Издательство «ДМК-пресс», 2011. — 320 с.

196 Голованов, Н.Н. Геометрическое моделирование: учебник для учреждений высшего профессионального образования / Н. Н. Голованов. — Москва : Издательский центр «Академия», 2011. — 272 с.

197 Пятов, В.В., Голубев, А.Н., Ашуров, Ш.Й. Прикладная САПР для расчета и проектирования деталей и узлов экструдера // Материалы Международной научно-технической конференции «Переработка отходов текстильной и легкой промышленности: теория и практика», 30 ноября 2016 г. — Витебск : УО «ВГТУ», 2016. С. 82-85.

198 Бровко, С. В. Технология и оборудование для переработки полимерсодержащих отходов // Сборник статей XLII Научно-технической конференции преподавателей, сотрудников, аспирантов, магистрантов и студентов УО «ВГТУ» / С. В. Бровко, В. В. Пятов. — Витебск : УО «ВГТУ», 2009.

199 Куксёнок, Т. С. Особенности конструкции специализированного экструдера для переработки композиционных материалов // Сборник статей XLII Научно-технической конференции преподавателей, сотрудников, аспирантов, магистрантов и студентов УО «ВГТУ» / Т. С. Куксёнок, А. К. Новиков. — Витебск : УО «ВГТУ», 2009.

