

**ОПИСАНИЕ
ИЗОБРЕТЕНИЯ
К ПАТЕНТУ**
(12)

РЕСПУБЛИКА БЕЛАРУСЬ



НАЦИОНАЛЬНЫЙ ЦЕНТР
ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ
СОБСТВЕННОСТИ

(19) **ВУ** (11) **24760**

(13) **С1**

(45) **2025.12.20**

(51) МПК

C 09D 123/06 (2006.01)

C 23C 4/10 (2016.01)

C 23C 4/129 (2016.01)

**(54) ПОРОШКОВЫЙ СОСТАВ ДЛЯ ГАЗОПЛАМЕННОГО НАПЫЛЕНИЯ
ПОЛИМЕРНЫХ АБРАЗИВНЫХ ПОКРЫТИЙ**

(21) Номер заявки: а 20240227

(22) 2024.10.29

(71) Заявитель: Государственное научное учреждение "Объединенный институт машиностроения Национальной академии наук Беларуси" (ВУ)

(72) Авторы: Белоцерковский Марат Артёмович; Грищенко Анастасия Олеговна; Жорник Виктор Иванович; Таран Игорь Иванович (ВУ)

(73) Патентообладатель: Государственное научное учреждение "Объединенный институт машиностроения Национальной академии наук Беларуси" (ВУ)

(56) ВУ 24050 С1, 2023.

RU 2766332 С1, 2022.

RU 2387736 С2, 2010.

ВУ 24327 С1, 2024.

(57)

Порошковый состав для газопламенного напыления полимерных абразивных покрытий, содержащий порошок сверхвысокомолекулярного полиэтилена с диаметром частиц 60-140 мкм в качестве полимерной основы, порошок карбида кремния с диаметром частиц 250-600 мкм в качестве наполнителя, алмазосодержащую шихту ША-А или монтмориллонит с диаметром частиц 10-100 нм в качестве модификатора и аэросил А-300 в качестве вспомогательного вещества при следующем содержании компонентов, об. %:

порошок карбида кремния	30-60
алмазосодержащая шихта ША-А или монтмориллонит	0,3-0,5
аэросил А-300	0,5-1,0
порошок сверхвысокомолекулярного полиэтилена	остальное.

Изобретение относится к области газотермического нанесения абразивных покрытий из порошковой шихты на основе термопластичных полимеров и может быть использовано при изготовлении абразивного инструмента для переработки сельскохозяйственной продукции, в машиностроении, деревообработке, химической промышленности.

Композиты инструментального назначения на полимерной основе составляют половину от общего количества производимых абразивных изделий [1]. Отличительной положительной особенностью технологии получения инструмента для абразивной очистки на полимерной основе является возможность его производства при значительно (в 1,5-3 раза, а в некоторых случаях на порядок) более низких температурах, чем на металлической и керамической основах. Помимо того, абразивный инструмент на полимерной основе за счет присущих высокомолекулярным соединениям, по сравнению с металлическими и керамическими связками, эластичности и упругости обладает более выраженной способностью к самозатачиванию.

ВУ 24760 С1 2025.12.20

Известен композиционный порошкообразный состав для газопламенного напыления покрытий [2], содержащий порошок оксида алюминия 40-80 мас. %, полиамида 20-60 мас. % и ультрадисперсных алмазов до 0,5 мас. % к общей массе порошковой композиции. Газопламенное напыление составов проводили с использованием кислорода, метилацетиленовой фракции (МАФ) и сжатого воздуха. В результате газопламенного напыления формируются твердые, высокоплотные покрытия толщиной до 1,0 мм. Наиболее прочными и твердыми покрытиями, по мнению авторов, являются покрытия, состав которых состоит из 60 мас. % оксида алюминия (наполнителя), 40 мас. % полиамида (полимерная матрица) и 2 мас. % ультрадисперсных алмазов. Недостатком данного изобретения является высокое содержание наполнителей, что приводит к высокой хрупкости покрытия. Кроме того, использование МАФ в качестве горючего газа и кислорода в качестве окислителя значительно повышает теплоту сгорания горючей смеси, что приводит к деструкции полимерной матрицы.

Известен состав композиционной шихты для газотермического напыления полимерных покрытий [3], содержащий порошок сверхвысокомолекулярного полиэтилена (СВМПЭ) с диаметром частиц 80-120 мкм, порошок оксида алюминия Al_2O_3 с диаметром частиц 40-50 мкм, что составляет 0,4-0,6 от диаметра частиц порошка карбида кремния SiC, и порошок одного из тугоплавких соединений ZrO_2 , SiO_2 или SiC с диаметром частиц 50-300 нм. Оксид алюминия Al_2O_3 , используемый в качестве наполнителя, смешивают с порошком СВМПЭ в количестве 10-30 мас. % для упрочнения и повышения износостойкости полимерного покрытия. Порошок одного из тугоплавких соединений ZrO_2 , SiO_2 или SiC, используемый в качестве модификатора в количестве 5 мас. %, обуславливает повышение объемной доли кристаллической фазы полимерного покрытия. В результате газотермического напыления таким порошковым составом формируются износостойкие покрытия, обладающие адгезией к металлической или керамической основе, коррозионной и химической стойкостью. Однако оксид алюминия Al_2O_3 , как наполнитель, не обеспечивает повышение прочности на удар полимерного покрытия, и его количество не позволяет достичь высоких показателей абразивной способности покрытий. Кроме того, введение небольшого количества наноразмерного порошка тугоплавкого соединения ZrO_2 , SiO_2 или SiC нецелесообразно, так как такое его содержание не увеличивает степень кристалличности полимерного покрытия и не обеспечивает повышение его адгезии к металлической или керамической поверхности.

Наиболее близким, принятым в качестве прототипа к предлагаемому изобретению является композиционный порошковый состав для газопламенного напыления полимерных покрытий [4], в котором содержится порошок сверхвысокомолекулярного полиэтилена с диаметром частиц 100-140 мкм в качестве полимерной основы, порошок карбида кремния с диаметром частиц 10-40 мкм в качестве наполнителя и порошок шихты алмазосодержащей ША-А со средним размером частиц 10 нм в качестве модификатора при следующем содержании компонентов, об. %: порошок карбида кремния - 5-40; порошок шихты алмазосодержащей ША-А - 0,1-0,5; порошок сверхвысокомолекулярного полиэтилена - остальное.

Основным недостатком данного состава являются относительно небольшие размеры абразивных частиц и их малое количество, что не позволяет использовать покрытия при изготовлении абразивного инструмента. Кроме того, также низкая текучесть порошковой шихты данного состава затрудняет его нанесение при газопламенном напылении.

Задачей изобретения является получение порошкового состава для газопламенного напыления полимерных абразивных покрытий, обеспечивающего стабильность процесса газопламенного напыления при изготовлении инструмента и достаточно высокую производительность при шлифовании полученным инструментом различных материалов.

Поставленная задача достигается тем, что предлагаемый порошковый состав для газопламенного напыления полимерных абразивных покрытий содержит порошок сверхвысо-

ВУ 24760 С1 2025.12.20

комолекулярного полиэтилена с диаметром частиц 60-140 мкм в качестве полимерной основы, порошок карбида кремния с диаметром частиц 250-600 мкм в качестве наполнителя, алмазосодержащую шихту ША-А или монтмориллонит с диаметром частиц 10-100 нм в качестве модификатора и аэросил А-300 в качестве вспомогательного вещества при следующем содержании компонентов, об. %:

порошок карбида кремния	30-60
алмазосодержащая шихта ША-А или монтмориллонит	0,3-0,5
аэросил А-300	0,5-1,0
порошок сверхвысокомолекулярного полиэтилена	остальное.

В предлагаемом порошковом составе для газопламенного напыления полимерных абразивных покрытий в качестве полимерной основы используют порошок СВМПЭ, например, GUR 4120 UHMWPE фирмы Celanese (Германия) с молекулярной массой $4,4 \times 10^6$ г/моль, средним диаметром частиц 120 мкм. В качестве наполнителя используют порошок абразивного материала, который является главным элементом, свойства, размеры и количество которого определяют функциональное назначение инструмента - пластическое деформирование обрабатываемого материала. Поскольку эффективность процесса абразивной обработки в целом зависит от эффективности резания каждым единичным зерном, принято [5], что наибольшую производительность обеспечивают зерна размером не менее 250 мкм. В качестве абразивного наполнителя выбирали наиболее распространенные абразивные материалы, имеющие относительно низкую стоимость: электрокорунд, карбид кремния, эльбор, кубический нитрид бора.

Структурным наноразмерным модификатором полимерной основы служат порошки наноуглерода, или монтмориллонита, или алмазосодержащей шихты ША-А (ТУ РБ 100056180.003-2003) со средним диаметром частиц 10 нм. Монтмориллонит (иначе наноглина) - глинистый минерал, относящийся к подклассу слоистых силикатов. Этот минерал обладает способностью к сильному набуханию благодаря своему строению и имеет ярко выраженные сорбционные свойства. Модифицированный монтмориллонит (так называемая органоглина, модификация состоит в замене межслоевых катионов на заряженные органические молекулы) используется в качестве наполнителя для полимерных нанокмпозитов [6]. Производитель НПП "БЛОК" (РФ, Москва), торговая марка ВР-500А-РН. Порошки наноразмерных модификаторов, являющиеся одним из компонентов предлагаемого композиционного состава в качестве структурного модификатора, обеспечивают повышение доли кристаллической фазы полимерной основы, что, в свою очередь, приводит к повышению адгезии покрытия к металлической поверхности и его износостойкости.

Используемый в качестве модификатора порошок аэросила А-300 служит для улучшения тиксотропии, реологических свойств (сыпучести) порошковых смесей, образующих покрытие. Кроме того, повышает устойчивость смесей к перепадам температур, придает эффект сгущения, позволяет увеличить прочность и термоустойчивость [7]. Аэросил - это высокодисперсный, высокоактивный, аморфный, пирогенный диоксид кремния (SiO_2), получаемый пламенным гидролизом четыреххлористого кремния (SiCl_4) высокой чистоты. Аэросил пожаро- и взрывобезопасен, не оказывает общетоксического действия, представляет собой очень чистый аморфный непористый диоксид кремния с размером частиц от 5 до 40 нм. Цифры в наименовании (аэросил А-300) обозначают величину удельной поверхности ($\text{м}^2/\text{г}$) - одну из главных характеристик данного материала (ГОСТ 14922-77 АЭРОСИЛ. Технические условия).

Порошок сверхвысокомолекулярного полиэтилена (СВМПЭ) сушили в электропечи СНОЛ [8] при температуре 80 °С в течение 15-20 мин, порошок абразивного наполнителя - при температуре 150 °С в течение 10 мин. Порошок структурного модификатора - аэросил А-300 не сушат. Затем исходные компоненты в определенных объемах перемешивали в лабораторной мельнице VLM-6 [9]. В результате перемешивания получают

ВУ 24760 С1 2025.12.20

композиционный порошковый состав для газопламенного напыления полимерных абразивных покрытий (далее - порошковый состав).

Для проведения сравнительных испытаний текучести порошковых составов и свойств получаемых полимерных абразивных покрытий с различным соотношением компонентов на адгезию, прочность при ударе, производительность шлифования в качестве подложек для покрытий использовали пластины стали Ст3 толщиной 3 мм. Для подготовки поверхности стальной пластины к напылению применяли струйно-абразивную обработку дробью колотого чугуна ДЧК. Газопламенное напыление полимерного покрытия на подложки осуществляли термораспылителем модели ОИМ 050 при расходах пропана и воздуха 1,15 и 23,5 м³/ч и давлениях 0,19 и 0,46 МПа соответственно [10]. Диаметр выходной дюзы порошкового питателя - 1,8 мм.

Текучесть порошка (способность перемещаться под действием силы тяжести) оценивалась временем истечения определенной навески (50 г) через калиброванное отверстие (диаметр 2,5 мм) по ГОСТ 20899-98 с помощью тестера сыпучести (текучести) порошков и гранул PTG-S5 [11].

Прочность сцепления полимерных покрытий со стальной пластиной определяли методом нормального отрыва с использованием адгезиметра покрытий ELCOMETER 506 (производство Elcometer Ltd, Великобритания) [12]. Для каждого состава проводили по три измерения.

Производительность шлифования полимерными абразивными покрытиями определялась на трибометре по кинематической схеме "вал - колодка" в режиме сухого трения методом искусственных баз [13]. В качестве контртела использовался вал, изготовленный из стали 40Х с твердостью поверхности HRC 45, шероховатостью $R_a = 0,32$. Удельная нагрузка на образец с покрытием составляла 0,5 МПа. Скорость трения составляла 0,25 м/с. Производительность шлифования определяли по значениям интенсивности изнашивания I (мкм/км) поверхности вала [13].

Прочность при ударе покрытий определялась по ГОСТ 4765-73 на приборе Константа У-2М. Сущность метода состоит в определении стойкости покрытия к разрушению или отслаиванию при деформации, вызванной падающим грузом на большой площади. Метод основан на определении максимальной высоты, при падении с которой груз определенной массы не вызывает механических повреждений покрытия (сколов, отслоений, трещин), видимых с использованием 4-кратной лупы.

Для проведения сравнительных испытаний была приготовлена композиционная порошковая смесь, указанная в прототипе: 40 об. % SiC со средним диаметром частиц 40 мкм; порошок модификатора ША-А в количестве 0,3 об. %, остальное - СВМПЭ с молекулярной массой $4,4 \times 10^6$ г/моль. Текучесть данной смеси после трех измерений составила 38,5 с/50 г. Покрытие, нанесенное на сталь Ст3, имело следующие свойства: адгезия - 6,4 МПа; производительность шлифования - $5,2 \times 10^{-7}$; прочность при ударе - 100 см.

Порошковые составы, которые использовали для нанесения полимерных покрытий с целью проведения сравнительных испытаний, представлены в табл. 1.

Таблица 1

BY 24760 C1 2025.12.20

Номер примера	Состав порошковых смесей*, об. %			
	SiC	ША-А	Монтмориллонит ВР-500А-РН	Аэросил А-300
1	20	0,05	-	0,5
2	30	-	0,05	0,5
3	30	0,3	-	1,0
4	30	-	0,3	1,0
5	40	0,5	-	0,8
6	30	0,3	-	0,8
7	40	0,3	-	0,8
8	50	-	0,5	1,0
9	60	0,5	-	1,5
10	70	0,5	-	1,0

* Остальное - сверхвысокомолекулярный полиэтилен с молекулярной массой $4,4 \times 10^6$ г/моль.

Пример 1.

Полимерный порошок СВМПЭ с диаметром частиц 120-140 мкм сушили в электропечи СНОЛ при температуре 80 °С в течение 15-20 мин, порошок наполнителя SiC с диаметром частиц 300-400 мкм сушили в электропечи СНОЛ при температуре 150 °С в течение 10 мин. Затем порошок СВМПЭ, порошок наполнителя SiC в количестве 20 об. % к объему смеси, порошок модификатора ША-А в количестве 0,05 об. %, порошок аэросила А-300 в количестве 0,5 об. % перемешивали в лабораторной мельнице VLM-6. Текучесть данной порошковой смеси, определенная с помощью тестера сыпучести (текучести) порошков и гранул PTG-S5, составила 29,5 с/50 г. Из подготовленного таким образом порошкового состава на поверхность стальной подложки газопламенным методом аппаратом ОИМ 050 с производительностью 2,4 кг/ч нанесли покрытие со следующими свойствами: адгезия - 6,8 МПа; производительность шлифования - $7,8 \times 10^{-7}$; прочность при ударе - 100 см.

Пример 2.

Подготовку порошкового состава проводили по примеру 1, но к порошку СВМПЭ добавляли SiC в количестве 30 об. %, в качестве наноразмерного модификатора добавляли порошок монтмориллонита в количестве 0,05 об. %, порошок аэросила А-300 в количестве 0,5 об. %. Текучесть данной порошковой смеси составила 29,5 с/50 г. Из подготовленного таким образом порошкового состава на поверхность стальной подложки газопламенным методом с производительностью 2,5 кг/ч нанесли покрытие со следующими свойствами: адгезия - 6,9 МПа; производительность шлифования - $7,9 \times 10^{-7}$; прочность при ударе - 109 см.

Пример 3.

Подготовку порошкового состава проводили по примеру 1, к порошку СВМПЭ добавляли SiC в количестве 30 об. %, в качестве наноразмерного модификатора добавляли порошок ША-А в количестве 0,3 об. %, порошок аэросила А-300 в количестве 1,0 об. %. Текучесть данной порошковой смеси составила 25,0 с/50 г. Из подготовленного таким образом порошкового состава на поверхность стальной подложки газопламенным методом с производительностью 2,7 кг/ч нанесли покрытие со следующими свойствами: адгезия - 6,9 МПа; производительность шлифования - $7,9 \times 10^{-7}$; прочность при ударе - 109 см.

Пример 4.

Подготовку порошкового состава проводили по примеру 1, к порошку СВМПЭ добавляли SiC в количестве 30 об. %, в качестве наноразмерного модификатора добавляли порошок монтмориллонита в количестве 0,3 об. %, порошок аэросила А-300 в количестве 1,0 об. %. Текучесть данной порошковой смеси составила 25,0 с/50 г. Из подготовленного таким образом порошкового состава на поверхность стальной подложки газопламенным методом с про-

BY 24760 C1 2025.12.20

изводительностью 2,7 кг/ч нанесли покрытие со следующими свойствами: адгезия - 6,8 МПа; производительность шлифования - $7,8 \times 10^{-7}$; прочность при ударе - 110 см.

Пример 5.

Подготовку порошкового состава проводили по примеру 1, к порошку СВМПЭ добавляли SiC в количестве 40 об. %, в качестве наноразмерного модификатора добавляли порошок ША-А в количестве 0,5 об. %, порошок аэросила А-300 в количестве 0,8 об. %. Текучесть данной порошковой смеси составила 26,0 с/50 г. Из подготовленного таким образом порошкового состава на поверхность стальной подложки газопламенным методом с производительностью 2,8 кг/ч нанесли покрытие со следующими свойствами: адгезия - 6,5 МПа; производительность шлифования - $9,1 \times 10^{-7}$; прочность при ударе - 113 см.

Пример 6.

Подготовку порошкового состава проводили по примеру 1, к порошку СВМПЭ добавляли SiC в количестве 30 об. %, в качестве наноразмерного модификатора добавляли порошок ША-А в количестве 0,3 об. %, порошок аэросила А-300 в количестве 0,8 об. %. Текучесть данной порошковой смеси составила 26,0 с/50 г. Из подготовленного таким образом порошкового состава на поверхность стальной подложки газопламенным методом с производительностью 2,8 кг/ч нанесли покрытие со следующими свойствами: адгезия - 6,9 МПа; производительность шлифования - $8,0 \times 10^{-7}$; прочность при ударе - 106 см.

Пример 7.

Подготовку порошкового состава проводили по примеру 1, к порошку СВМПЭ добавляли SiC в количестве 40 об. %, в качестве наноразмерного модификатора добавляли порошок ША-А в количестве 0,3 об. %, порошок аэросила А-300 в количестве 0,8 об. %. Текучесть данной порошковой смеси составила 26,0 с/50 г. Из подготовленного таким образом порошкового состава на поверхность стальной подложки газопламенным методом с производительностью 2,9 кг/ч нанесли покрытие со следующими свойствами: адгезия - 6,5 МПа; производительность шлифования - $9,2 \times 10^{-7}$; прочность при ударе - 111 см.

Пример 8.

Подготовку порошкового состава проводили по примеру 1, к порошку СВМПЭ добавляли SiC в количестве 50 об. %, в качестве наноразмерного модификатора добавляли порошок монтмориллонита в количестве 0,5 об. %, порошок аэросила А-300 в количестве 1,0 об. %. Текучесть данной порошковой смеси составила 25,0 с/50 г. Из подготовленного таким образом порошкового состава на поверхность стальной подложки газопламенным методом с производительностью 3,0 кг/ч нанесли покрытие со следующими свойствами: адгезия - 5,5 МПа; производительность шлифования - $11,1 \times 10^{-7}$; прочность при ударе - 112 см.

Пример 9.

Подготовку порошкового состава проводили по примеру 1, к порошку СВМПЭ добавляли SiC в количестве 60 об. %, в качестве наноразмерного модификатора добавляли порошок ША-А в количестве 0,5 об. %, порошок аэросила А-300 в количестве 1,5 об. %. Текучесть данной порошковой смеси составила 23,0 с/50 г. Из подготовленного таким образом порошкового состава на поверхность стальной подложки газопламенным методом с производительностью 3,1 кг/ч нанесли покрытие со следующими свойствами: адгезия - 5,2 МПа; производительность шлифования - $12,6 \times 10^{-7}$; прочность при ударе - 114 см.

Пример 10.

Подготовку порошкового состава проводили по примеру 1, к порошку СВМПЭ добавляли SiC в количестве 70 об. %, в качестве наноразмерного модификатора добавляли порошок ША-А в количестве 0,5 об. %, порошок аэросила А-300 в количестве 1,0 об. %. Текучесть данной порошковой смеси составила 25,0 с/50 г. Из подготовленного таким образом порошкового состава на поверхность стальной подложки газопламенным методом с производительностью 3,0 кг/ч нанесли покрытие со следующими свойствами:

ВУ 24760 С1 2025.12.20

адгезия - 5,1 МПа; производительность шлифования - $12,9 \times 10^{-7}$; прочность при ударе - 94 см.

В табл. 2 сведены результаты испытаний шихты на текучесть, производительность напыления, напыленных покрытий на адгезию, износостойкость, производительность шлифования и прочность при ударе.

Таблица 2

Номер примера	Текучесть, с/50 г	Производ. напыления, кг/ч	Адгезия*, МПа	Производ. шлифования, 1×10^{-7}	Прочность при ударе, см
Прототип	38,5	1,9	6,4	5,2	100
1	29,5	2,4	6,8	7,8	100
2	29,5	2,5	6,9	7,9	109
3	25,0	2,7	6,9	7,9	109
4	25,0	2,7	6,8	7,8	110
5	26,0	2,8	6,5	9,1	113
6	26,0	2,8	6,9	8,0	106
7	26,0	2,9	6,5	9,2	111
8	25,0	3,0	5,6	11,1	112
9	23,0	3,1	5,2	12,6	114
10	25,0	3,0	5,1	12,9	94

* Среднечисленные значения по составу (образцу).

Из приведенных в табл. 2 данных видно, что присутствие карбида кремния SiC до 60 об. % в качестве наполнителя в полимерной основе СВМПЭ приводит к значительному повышению производительности шлифования, а также прочности при ударе. Однако дальнейшее увеличение количества абразивного наполнителя снижает прочность при ударе покрытий, что обусловлено охрупчиванием. Кроме того, полимерное покрытие с концентрацией карбида кремния SiC свыше 40 об. % не имеет высокой прочности сцепления с поверхностью стального образца.

Наибольшую текучесть, а соответственно производительность напыления, имеют составы, содержащие 0,5-1,0 об. % аэросила А-300. Увеличение аэросила более заявленных пределов (пример 9) снижает адгезию покрытий.

Наибольшую производительность напыления, прочность сцепления напыленного покрытия со стальной поверхностью, прочность при ударе, абразивную способность проявляют составы, содержащие порошок карбида кремния - 30-60 об. %; порошок алмазосодержащей шихты ША-А - 0,3-0,5 об. %; порошок аэросила А-300 - 0,5-1,0 об. %; СВМПЭ - остальное, до 100 об. %.

Предлагаемые порошковые составы для газопламенного напыления полимерных абразивных покрытий и получаемые из них покрытия перспективны при изготовлении инструмента для абразивной обработки широкого спектра материалов, включая сельскохозяйственные продукты (корнеплоды, зерна злаков), дерево и древесноподобные материалы, пластик, стекловолокно, мягкие металлы, эмалированные и окрашенные поверхности.

Источники информации:

1. ШУМЯЧЕР В.М. и др. Теория, технология и практика совершенствования абразивных инструментов. Санкт-Петербург: Изд-во Лань, 2019, 212 с.
2. ВУ 14389 С1, 2011.
3. RU 2387736 С2, 2010.

BY 24760 C1 2025.12.20

4. BY 24050 C1, 2023.
5. ГАРШИН А.П. и др. Материаловедение в 3 т. Том 3. Технология конструкционных материалов: абразивные инструменты. Москва: Изд-во Юрайт, 2018, 385 с.
6. МАГЕРРАМОВ А.М. и др. Диэлектрические свойства нанокompозитов полипропилен/наноглина типа Na⁺-монтмориллонит в режиме нагрева-охлаждения. Журнал технической физики, 2017, т. 87, вып. 9, с. 1367-1371.
7. ЧУКИН Г.Д. Химия поверхности и строение дисперсного кремнезема. Москва: Типография Паладин, ООО "Принта", 2008, 172 с.
8. Низкотемпературные промышленные электропечи SNOL [найдено 2024.08.16]. Найдено на [<https://www.snol.by/products/industry-low-temperature-fumaces/>].
9. Универсальные настольные мельницы RT [найдено 2024.08.16]. Найдено на [<https://vilitek.ru/products/nozhevye-melnicy-periodicheskogo-dejstvija/universalnye-nastolnye-melnitsy/>].
10. БЕЛОЦЕРКОВСКИЙ М.А. и др. Разработка газопламенного термораспылителя для нанесения полимерных покрытий. Сб. научных трудов "Актуальные вопросы машиноведения" VI Белорусского конгресса по теоретической и прикладной механике "Механика-2013". Минск, 2013, т. 2, с. 465-467.
11. Тестер сыпучести порошков и гранул PTG-S5 [найдено 2024.08.16]. Найдено на [<https://aixlab.ru/catalog/control-farm-kachestva/testery-sypuchesti/38868/>].
12. Elcometer Inspection Equipment - Coatings Industry [найдено 2024.08.16]. Найдено на [<https://www.youtube.com/channel/UCEnqea9WvlqXxtM6Ygiw/>].
13. Обеспечение износостойкости изделий. Метод оценки триботехнических свойств материалов на основе полимеров. Методические рекомендации МР 74-82. Москва: ВНИИМАШ, 1982.