

Анализ методов изготовления материалов для узлов трения и возможности повышения износостойкости

Analysis of methods for the development of materials for friction units and the possibility of improving wear resistance

Юсубов Ф.Ф.

докторант, Кафедра «Механика», Азербайджанский Государственный Университет
Нефти и Промышленности, г. Баку
e-mail: fikratyusub@gmail.com

Yusubov F.F.

Doctoral Student, Department of Mechanical Engineering, Azerbaijan State Oil and
Industrial, Baku
e-mail: fikratyusub@gmail.com

Аннотация

В данной статье проведен сравнительный анализ современных методов изготовления фрикционных материалов, и были выделены способы повышения износостойкости. Также была оценена роль компонентов в композициях и выбор режимов изготовления в зависимости от материалов. Сравнение проводилось не только на основе материалов, полученных в лабораторных условиях, а также путем изучения материалов, используемых в промышленности. Были проанализированы методы, использованные для приготовления фрикционных материалов, таких как порошковая металлургия и литье замешиванием, и изучены параметры режима. Исследовано влияние режима приготовления и компонентов на повышение износостойкости в металлических и неметаллических композициях. Проанализированы эффекты взаимодействия и показатели эксплуатации пар трения, применяемых в различных отраслях промышленности.

Ключевые слова: трение, износ, порошковая металлургия, композиты, смешивание, измельчение, синтез, прессование.

Abstract

In this article, a comparative analysis of modern methods in development of friction materials was carried out and possibility of improving wear resistance were investigated. The role of the components in the compositions and the selection of development regimes depending on the materials were also evaluated. The comparison was not carried out only with materials obtained in laboratory conditions, but also by studying the materials used in industry. The methods used to develop friction materials, such as powder metallurgy and stir-casting, were analyzed and regime parameters were studied. The influence of the development regimes and components on the increase of wear resistance in metallic and non-metallic compositions was investigated. Interaction effects and characterization of operations of friction pairs used in various industries are analyzed.

Keywords: friction, wear, powder metallurgy, composites, mixing, grinding, synthesis, pressing

Есть множество методов для приготовления композиционных материалов, как горячего экструзия, инъекция литья, синтез с искровой плазмы и др. Но в последние годы наиболее распространенными методами получения фрикционных материалов и вообще композиций являются литье замешиванием и металлургические методы. Оба метода имеют свои преимущества и недостатки (табл. 1). Однако в зависимости от состава композиции эти особенности могут быть эффективными или наоборот.

Литье замешиванием больше используется при изготовлении металлических матричных композиций. Этот способ осуществляется в дисперсионной фазе на основе сплава и проводится на принципе смешивания одновременно с литьем [1].

Метод порошковой металлургии широко используется в изготовлении как в металлических, так и в полимерных композициях. В порошковой металлургии процесс изготовления порошка может осуществляться в несколько этапов: механическое легирование, горячее или холодное прессование и т.д. (рис. 1).

Поскольку каждый из этих методов проверен на основе свойств материалов, которые должны быть подготовлены, поэтому наше исследование предоставило общие методологии для типов материалов.

Таблица 1

Сравнения литьезамешиванием и методы порошковой металлургии [2]

Методы	Достоинства	Недостатки
Литьезамешиванием		Сложность процесса обработки
	Экономическая эффективность	Распределение наночастиц неоднородно
	Простота технических средств	Слабая связь между матрицей и наночастицами
	Высокая производительность	Наличие ограниченной области применения
Порошковая металлургия	Хорошая связь между матрицей и наночастицами	
	Хорошее распределение наночастиц	Высокая сложность
	Простое управление структурой матрицы	Высокопористые поры
		Дорогая цена

Технология приготовления органических фрикционных материалов.

Технология производства органических фрикционных материалов состоит из следующих этапов [3]:

1. Сухое смешивание.
2. Горячее прессование.
3. Отверждения.
4. Завершение.

Сухое смешивание. Для обеспечения макроскопической однородности смешивания проводится в измельченного типа миксере. Желаемая скорость перемешивания составляет 3000 об/мин. Последовательность смешивания начинается с интеграции порошковых ингредиентов друг в друга, за которыми следуют органические и неорганические волокна. Время смешивания варьируется в зависимости от характеристики (вида, формы и размера) порошка [4].

Триботехнические показатели фрикционных пар, применяемых в различных отраслях промышленности (поверхность трения и рабочая температура объема – T_A и T_h)

Материал	Удельная нагрузка P_a , N/cm ²	Рабочая температура		Коэффициент трения
		T_A	T_h	
Асбест-каучук; медь, спеченный на основе алюминия, шкура, модифицированная дерево-сталь пара	≤ 80	60-200	≤ 120	0,30
Комбинированное связующее асбест-фрикционного; медь и другие матричный спеченный-стальная и чугунная пара	≤ 150	≤ 400	≤ 250	0,25-0,28
Спеченный на основе железа; композит; углерод-графит, пара асбест-смола сталь и чугун	≤ 600	≤ 1200	600-800	0,22
Спеченный на основе медь и алюминий; пара асбест-смола и сталь	≤ 350	≤ 100	≤ 100	$\leq 0,10$
Спеченный на основе железо-пара сталь и с титановыми сплавами	0-700	≤ 120	≤ 100	$\leq 0,10$
Спеченный сталь и с титановыми сплавами – пара с сталь	≤ 1000	≤ 60	≤ 40	0,2

Горячее прессование. На этом этапе смешанные порошки кладутся в пресс-форму и размещаются в печи. Затем пресс-форму помещают в формовочную машину, которая может подвергаться нагреву при различных температурах. В этом случае заданное давление и продолжительность давления определяется в зависимости от материала. В большинстве случаев после сушки в печь материалы в течение короткого промежутка времени (10–15 мин.), в течение 10–30 мин. при температуре 100–250°C, подвергаются горячему прессованию под давлением 0,5-15 МПа. Параметры режима должны быть выбраны в соответствии с компонентами, составляющими композицию, а характеристики взаимодействия ингредиентов должны быть приняты во внимание [5].

Отверждения. Обычно после того, как горячее прессование завершено, композиции подвергают отверждению в течение 1–10 часов при 100-350°C. Процесс отверждения проводится для улучшения механических свойств материалов. В частности, отверждение очень важно, чтобы исправить остаточные напряжения [6].

Обработка. После получения материалов выполняются операции по обработке. Процессы механической обработки, такие как полировка, являются окончательными отделочными работами в составе.

Синтез (порошковая металлургия) технологии производства фрикционных материалов. Твёрдости и другие важные структурные требования сильно зависят от синтеза порошков металла матрицы, потому что добавленные неметаллические наполнители, легирующие элементы, хотя это влияет на показатели качества, металлический характер матриц, играют решающую роль. Дополнения должны быть в состоянии сформировать достаточно стабильную структуру, так что размер частиц должен быть принят во внимание. Например, добавления пористых железосодержащих

порошков на железную основу и электролитических порошков на медную основу может быть эффективным [7].

Фрикционные материалы представляют собой металлические и неметаллические элементы. Приготовление и синтез этих материалов не могут быть выполнены общепринятыми методами для других традиционных материалов, так как смешивание и интеграция плавящихся металлов должны быть обеспечены определенными параметрами. Для этого метода доступны следующие основные технологические этапы [8]: подготовка порошка и загрузка стальных форм, смешивание и прессования компонентов, синтез продуктов в защищенной атмосфере, завершение работ (механическая обработка). Размер сита выбирается перед смешиванием. Смешивание может быть сделано различными способами. Часто используются двухконусные или ленточные смесители. Однако использование мельницы считается более целесообразным, поскольку оно создает условия для механизации легирования элементов.

Сжатие осуществляется в широком гидравлическом прессе. А материалы на основе железа прессуют между 400–800 МПа. Материалы на основе меди прессуются при 150–300 МПа. Синтез может быть осуществлен множеством способов: прессование под давлением, синтез в жидкой фазе, ток разряда и синтез токовой дуги, бинарный синтез и т.д.

Температура синтеза материалов на основе меди обычно составляет около 650–900°C, а в материалах на основе железа – в диапазоне 1030–1070°C. Время синтеза фрикционного материала может быть различным в зависимости от химического состава композиций. Например, композиции на основе меди могут быть с 15–20 мин. до 4 часов, и в железной основе до 3-4 часов. В табл. 2 представлены материалы, охватывающие различные отрасли промышленности и показатели их триботехнической эксплуатации.

Как видно из табл., режимы приготовления фрикционных и антифрикционных материалов, полученных методом литья под давлением, а также в порошковой металлургии и других методах сильно различаются в зависимости от состава. Например, в зависимости от состава компонентов железо-матричного композита одним из важных факторов является правильный выбор синтеза, прессование и другие параметры. Иногда увеличение температуры и продолжительности синтеза приводит к увеличению износа материалов на основе железа-фосфора и небольшому снижению коэффициента трения; увеличение давления в процессе синтеза не оказывает влияния на показатели изнашивания, но приводит к высокому коэффициенту трения [9]. Процесс синтеза осуществляется в конвейерной печи или специальной вертикальной печи под давлением в защитной атмосфере.

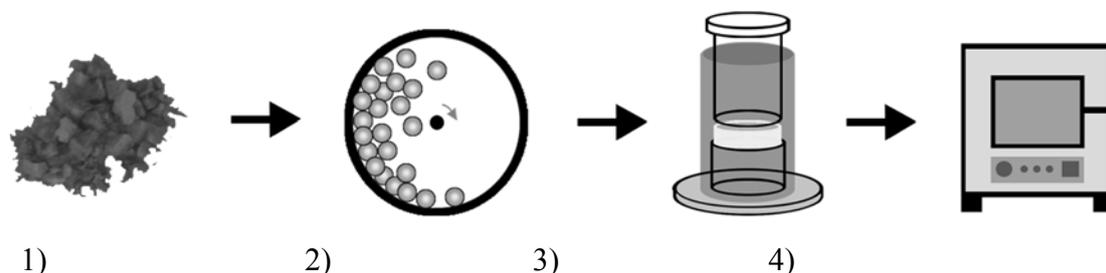


Рис. 1. Типичная технологическая последовательность, которая выполняется при приготовлении композитов на основе порошковой металлургии:

- 1) порошковый продукт; 2) измельчение или смешивание; 3) прессование (холодное или горячее); 4) синтез

Завершение работы включают в себя полировку в форме цилиндра или конуса, использования токарного станка и другие методы. Материалы на основе железа могут

подвергаться термической обработке для улучшения качества поверхности. Для того, чтобы уменьшить жесткость фрикционного слоя при температуре 900⁰С делается отжиг. После закалки от 900⁰С до 950⁰С снова приводится закалка в масле или воде при температуре 500⁰С [10].

Исследования на основе меди, снижения содержания дорогостоящих компонентов и выделения вредных для окружающей среды веществ проводятся путем замены бронзы с латуном. Проблема здесь заключается в технологической трудности получения синтетических материалов, содержащих цинк. Материалы на основе латуна, предназначенные для работы в среде смазочного масла, характеризуются отсутствием опасных для окружающей среды компонентов, таких как асбест, и снижением содержания свинца на 3–4% [11].

Эти материалы имеют высокие показатели из композиций МК-5, используемых в промышленности. Латунные материалы опробовали тракторы Т-330 и Т-500 в коробках передач и показали более высокий коэффициент трения. Хотя материал МК-5 обладает высокой износостойкостью и коррозионной стойкостью, он не обладает высоким коэффициентом трения, но он также содержит элементы, которые не являются экономически жизнеспособными [12].

Увеличенная эксплуатация материалов на основе меди для смазочного масла была достигнута благодаря применению редкоземельных материалов. Было обнаружено, что добавление редкоземельных оксидов снижает механическую и химическую активность порошковых материалов. Эффекты железа и меди этих материалов имеют вид модификационных эффектов. Во время активации процесса синтеза частицы имеют лучший контакт, что типичным представителем между этих материалов являются ФМ-8. ФМ-8 предназначен для работы в коррозионных средах и широко применяется в системах трансмиссии различных погрузчиков [13]. Для оборудования, работающего на средесмазочном масле, материалы на основе меди часто используются, но из-за экономической неэффективности исследователи (Шмагин, А. Дмитриевич, Е. Фишбейн и т.д.) заменяют их материалами на основе железа. Одним из этих материалов являются ШАДЕФ изготовления по методам порошковой металлургии. Стендовые испытания показали, что коэффициент трения ШАДЕФ в 1,5-2 раза выше, чем у известного материала МК-5. В этом материале коэффициент вибрации трения ($a = M_{\min}/M_{\max}$), характеризующий стабильность пар трения, составляет 0,2–0,3, а в материале МК-5, это составляет 0,4–0,5 [17].

Для материалов, которые работают в условиях сухого трения, фрикционный материал на основе железа часто используется. ФМК-11, МКВ-50А и СМК-80 выходит среди этого типа композиций. Однако эти материалы не предназначены для тяжелых нагруженных триботехнических систем. ФМК-11 и МКВ-50а экологически вредны, так как оба содержат асбест. В составе МКВ-50А и СМК-80 есть компоненты, которые трудно найти и экономически не выгодно [14].

Композиционные материалы, изготовленные с участием различных видов добавок элементов (модификаторов), имеют различные качественные показатели, варьируя свои исходные свойства в зависимости от размера, формы, концентрации наночастиц [15].

Исследование гибридных композитов Al/Al₂O₃/MoS₂, разработанных по методам порошковой металлургии, показало, что образцы отличаются от характеристик трения и выброса в зависимости от количества MoS₂, который является твердой смазкой. Таким образом, по сравнению с образцами, самыми низкими содержаниями MoS₂ (5%) степень изнашивания была минимальной, а трибологические показатели были лучше [16]. Однако, поскольку общий коэффициент трения не может превышать 0.2, эти материалы нельзя использовать в тяжелых нагруженных узлах трения.

Хотя некоторые ингредиенты почти у большинства такие же, то же самое массовое отношение, составные элементы коммерческих и экспериментальных тормозных колодок весьма различны. В табл. 3 показан процент основных ингредиентов.

Таблица 3

Содержание ингредиентов в процентах, принятых при изготовлении материалов тормозных колодок

Элементы состава	Общие пределы (масс.%)	Самая распространенная цифра (масс.%)
Термореактивная резина	10 – 45	20 – 25
Наполнители	0 – 40	20 – 25
Волокна	3 – 30	15 – 20
Смазочные материалы	0 – 15	5 – 10
Абразивный	0 – 10	3 – 5

Имея легкий вес с экономически эффективными и простыми в обращении свойствами обработки, полимерные материалы стали желательным материалом в различных отраслях промышленности.

Замена материалов на основе металлов полимерными материалами является одной из главных проблем, о которых думают инженеры. Минимизация размеров оборудования и механизмов благодаря новым технологиям, которые постоянно развиваются, требует от производства долговечных материалов, которые отвечают новым конструкционным требованиям. Несмотря на то, что полимерные материалы имеют много преимуществ, они не могут соответствовать техническим требованиям для триботехнических систем, поскольку они не обладают свойствами фрикционного материала.

Хотя полимеры не могут оправдать себя как фрикционный материал, недавние исследования исследователей подтвердили возможность получения совершенно новых материалов с использованием наночастиц. Наиболее перспективным материалом для материалов, отвечающих требованиям триботехнической системы, являются фрикционный порошок композит с металлическим элементом на основе полимеров [17].

Металлические элементы, наряду с повышением требуемых механических свойств, также обладают способностью улучшать свойства трения. Материалы порошковой композиции на полимерной основе с металлическими элементами можно считать идеальными кандидатами для тяжелых условий работы.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Анализ современных технологий, используемых при приготовлении композитов, показал, что для фрикционных материалов метод порошковой металлургии имеет ряд выгодных особенностей в зависимости от требований. Сравнение различных методов показало, что легированный нанокompозит с металлическими элементами на основе полимера в узлах трения имеет более перспективные возможности.

Литература

1. Shagil Akhtar, Mohammad Saad, MohdRasikh Misbah, Manish Chandra Sati. Recent Advancements in Powder Metallurgy: A Review, Materials Today: Proceedings (Materials Processing and characterization 2018) Vol. 5 (9), 2018. -p.18649-18655

2. Hossein Abdizadeh, Reza Ebrahimifard, Mohammad Amin Baghchesara. Investigation of microstructure and mechanical properties of nano MgO reinforced Al composites manufactured by stir casting and powder metallurgy methods: A comparative study, *Composites Part B: Engineering*, Vol.56, Elsevier, 2014. -p.271-221
3. Davim, J. Paulo (Ed.). *Tribology in Manufacturing Technology*, Springer, 2013. 198 p.
4. Cinzia Menapace, Mara Leonardi, Guido Perricone, Mauro Bortolotti et. all. Pin-on-disc study of brake friction materials with ballmilled nanostructured components, *Materials & Design*, Vol.115 (5), 2017. -p.287-298
5. Qu Haixia, Zhu Shigen, Li Qian, Chenxin Ouyang. Influence of sintering temperature and holding time on the densification, phase transformation, microstructure and properties of hot pressing WC-40 vol.% Al₂O₃ composites, *Ceramics International*, Vol.38 (2), 2012. -p.1371-80
6. Asif M, Chandra K, Misra P S. Characterization of iron based hot powder brake pads for heavy duty applications, *International Journal of Mechanical and Materials Engineering*, Vol. 8(2), 2012. -p. 94-104
7. Dragan Aleksendrić, Pierpaolo Carlone. *Soft Computing in the Design and Manufacturing of Composite Materials Applications to Brake Friction and Thermoset Matrix Composites*, Woodhead Publishing, 2015. -p.320
8. Cinzia Menapace, Mara Leonardi, Guido Perricone, Mauro Bortolotti et. all. Pin-on-disc study of brake friction materials with ball-milled nanostructured components, *Materials & Design*, Vol. 115 (5), Elsevier, 2017. -p.287-298
9. Fehim Findik. Latest progress on tribological properties of industrial materials, *Materials & Design*, Vol.57, Elsevier, 2014. -p.218-244
10. Ning Z., Jiwang Z., Liantao L., Mintang Z. et all. Wear and friction behavior of austempered ductile iron as railway wheel material, *Materials & Design*, Vol.89, 2016. -p.815-822
11. Машков Ю.К., Чемисенко О.В., Малий О.В. Разработка износостойких нанокompозитов для экстремальных условий эксплуатации в металлополимерных трибосистемах, *Журнал технической физики*. – 2018. – Т. 88 (1). – С. 42-45.
12. Гаркунов Д.Н. *Триботехника*, – М.: КноРус, 2011. – 408 с.
13. Лешок А.В., Ильющенко А.Ф., Дмитрович А.А., Роговой А.Н., Марока Д.И. Исследование поверхности стального диска работающего в паре с металлокерамическим фрикционным материалом МК-5 в условиях граничного трения гидромеханической коробки передач, *Трение и износ*. – Т. 37 (2). – 2016. – С. 208-213.
14. Скадорва А.Ф., Карташевич А.Н. Критерий оценки качества функционирования фрикционной муфты коробки передач гусеничного трактора «беларус-2103», *Вестник Белорусско-Российского университета*. – № 4(45). – 2014. – С. 80-91.
15. Md Saiful Islam, Reza Masoodi, Hossein Rostami. The Effect of Nanoparticles Percentage on Mechanical Behavior of Silica-Epoxy Nanocomposites. *Journal of Nanoscience*, Hindawi Publishing Corporation, 2013. -p.1-10
16. K.Kanthavel, K.R.Sumesh, P.Saravanakumar. Study of tribological properties on Al/Al₂O₃/MoS₂ hybrid composite processed by powder metallurgy, *Alexandria Engineering Journal* 55(1), Elsevier, 2016. -p.13-1
17. K.Friedrich. Polymer composites for tribological applications, *Advanced Industrial and Engineering Polymer Research*, Vol.1 (1), Elsevier, 2018. -p.3-39