Ю. И. Крыхтин, В. И. Карлов

**К СРАВНЕНИЮ ДВУХ МЕТОДОВ ИЗГОТОВЛЕНИЯ НОВЫХ
ПОРОШКОВЫХ ФРИКЦИОННЫХ ИЗДЕЛИЙ СУХОГО ТРЕНИЯ***

Волгоградский государственный технический университет

E-mail: au@vstu.ru

Приведены технологические показатели методов изготовления и физико-технические и триботехнические свойства новых фрикционных изделий сухого трения, изготовленных из порошковых фрикционных материалов на *Fe*-основе двумя разными методами: раздельного прессования и спекания под давлением и динамического горячего прессования. Получены аппроксимированные зависимости влияния пористости фрикционных материалов на их триботехнические свойства.

Ключевые слова: сухое трение, накладка, заготовка накладки, *Fe*-основа, каркас, покрытие, прессование и спекание, динамическое горячее прессование, фрикционные устройства, трансмиссия, пористость.

Yu. I. Krykhtin, V. I. Karlov

**TO THE COMPARISON OF TWO METHODS
OF MANUFACTURING NEW DRY FRICTION PRODUCTS ¹**

Volgograd State Technical University

The technological indicators of manufacturing methods and the physicotchnical and tribotechnical properties of new dry friction products made of friction powder materials based on *Fe*, two different methods, are used: separate pressing and sintering under pressure and dynamic hot pressing. Approximate dependencies of effect of porosity of friction materials on their tribotechnical properties are obtained.

Keywords: dry friction, moulding, moulding blank, basis of *Fe*, a framework, a covering, pressing and agglomeration, dynamic hot pressing, frictional devices, transmission, porosity.

Применяемые в настоящее время в различных фрикционных узлах транспортных машин с большой удельной мощностью (более 30 л. с./Т) спеченные фрикционные материалы, изготавливаемые методом порошковой металлургии, представляют собой многокомпонентные сплавы, содержащие металлические и неметаллические составляющие.

Фрикционные изделия со спеченным материалом изготавливаются в виде дисков, секторных накладок, колодок и представляют собой

конструкцию, состоящую из стального каркаса с гальваническим никелевым покрытием толщиной $h=18-30$ мкм, облицованного с одной или двух сторон слоем порошкового фрикционного материала (ПФМ) требуемого химического состава.

Для тяжелонагруженных дисковых, ленточных и колодочных тормозов, муфт сцепления и других фрикционных узлов, работающих в условиях сухого трения в составе трансмиссии транспортных машин с большой удельной

© Крыхтин Ю. И., Карлов В. И., 2020.

* Работа выполнена при поддержке РФФИ и Администрации Волгоградской области по проекту № 19-48-340021

мощностью в основном применяются фрикционные материалы на *Fe*-основе, допускающие нагрев до 1000...1100 °С. Для этих материалов актуально получение практических рекомендаций по выбору и применению методов их изготовления [1].

Цель работы – обосновать выбор и применение прогрессивного высокопроизводительного метода изготовления новых порошковых фрикционных изделий сухого трения на *Fe*-основе.

При разработке порошковых фрикционных накладок с материалом на железной основе для сухого трения были рассмотрены и апробированы два метода их изготовления.

Известен метод раздельного прессования и длительного спекания под давлением фрикционных материалов, которым получают такие современные спеченные ПФМ на *Fe*-основе, как СМК-80, СМК-137, СМК -137П и др. [2], имеющие высокие фрикционные и эксплуатационные характеристики и теплостойкость в самых различных условиях работы.

К недостаткам такого метода следует отнести: нестабильность припекания, трудоемкость, низкую производительность ручной операции по сборке пакета для спекания, невозможность механизации процесса сборки пакетов вследствие низкой прочности спрессованных накладок, сложность предотвращения брака в результате смещения накладки на несущей подложке, использование на практике малопроизводительных шахтных термических печей, не обеспечивающих стабильность высокотемпературного спекания. Кроме того, невозможность прессования тонких фрикционных накладок, что приводит к повышенной их толщине, что, в свою очередь, приводит к повышению объема механической обработки.

Исследования показали, что конструкционные изделия из порошков имеют низкие механические свойства, в основном, из-за повышенной пористости. Чтобы повысить механические свойства применительно к конструкционным изделиям предложен метод горячей допрессовки – горячей штамповки или – динамического горячего прессования (ДГП) порошковых заготовок.

На основе этого известного метода предлагается новый метод получения ПФМ сухого трения на *Fe*-основе, получивший название метод ДГП-ПФМ. [3,4] В этом методе используется динамическое (ударное) нагружение предварительно нагретого фрикционного материала.

При ДГП-ПФМ необходим быстротечный нагрев предварительно спеченной заготовки, например, токами высокой частоты в закалочном индукторе до температуры 1000...1100 °С. ДГП-ПФМ производится в штампе для горячей штамповки нагретой в закалочном индукторе заготовки накладки (колодки) под давлением 500...700 МПа с использованием специального штамповочного блока, устанавливаемого на пресс. При этом ДГП-ПФМ должно создавать в обрабатываемых деталях такие напряжения, которые больше предела упругости, но меньше предела прочности.

Разработаны физические (ударное действие) и технологические основы создания нового порошкового фрикционного материала на *Fe*-основе с малой пористостью и высокой твердостью для плоских накладок и криволинейных колодок комплекса фрикционных устройств, получаемого высокопроизводительным мобильным малозатратным методом ДГП-ПФМ через подслои из карбонильного железа толщиной $h=0,3-0,4$ мм между фрикционным материалом и основой (каркасом с никелевым покрытием) со снижением трудозатрат за счет упрощения способа изготовления.

Исследованы зависимости предельных нагрузок схватывания, износостойкости и коэффициента трения ПФМ от его пористости, показанные на рисунке, что позволяет по аппроксимирующим зависимостям параметров этих процессов определять рациональные значения указанных показателей для практического использования. Испытания на трение и износ проводились на машине трения МТ-66 при скорости скольжения 6 м/с и удельном давлении 3,5 МПа в условиях ограниченной подачи смазки, пара трения – это ПФМ на базе стали 40Х13 – сталь 20Х2Н4А, $HRC=58$.

Изучены микроструктуры новых материалов на *Fe*-основе, полученные методом рентгено-структурного анализа. Микроструктуры ПФМ: СМК-80, СМК-137 – металлическая основа из феррита и перлита, легированных *Mo* и *Mn*, *FeB*, *MnS*, твердый раствор *Mn* и *Fe* в *Cu*; СМК-137П – металлическая основа из легированного *Mn* феррита – перлита (перлит зернистый не менее 30 % и *Cu* с равномерным распределением графита, электрокорунда, концентрата *Mo* и пор); ФМК-79 ДГП, МКВ-50А ДГП – перлитно-ферритная смесь с включениями *Cu*, графита, сульфидов, с неметаллическими включениями (карбиды), Допускаются включения цементита и участки ледобурита.

а

б

в

Графики зависимости исследуемых параметров трения ПФМ на базе стали 40Х13 с контртелом (КТ) из стали 20Х2Н4А:
а – $p = F_1(\Pi)$; б – $I = F_2(\Pi)$; в – $f = F_3(\Pi)$

Технологические показатели изготовления и выявленные в результате исследования физико-механические и триботехнические свойства

ПФМ сухого трения на Fe-основе, изготовленных разными методами, сведены соответственно в табл. 1 и 2 [5].

Таблица 1

Технологические показатели изготовления ФМ сухого трения на Fe-основе

ПФМ	Химический состав, %	p_n , МПа	$t_{сп}$, °C; $p_{сп}$, МПа; $T_{сп}$, час $t_{пп}$, °C; $T_{пп}$, час
СМК-80	$Mn=6,5-10$; $Cu=9-25$; дисульфид молибдена (MoS_2)=2-5; нитрид бора (BN)=6-12; карбид бора (B_4C)=8-15; карбид кремния (SiC)=1-6; Fe – остальное	491-589	Камерная печь. $t_{сп} = 990$, $p_{сп}=4,9-5,3$; $T_{сп} = 4$
СМК-137	$Mn=3-10$; $Cu=9-30$; $C=7-16$; электрокорунд=2,5-8; дисульфид молибдена (MoS_2)=2-5; Fe – остальное	То же	То же
СМК-137П	$C=11-13$; $FeMg=6-8$; $Cu=20-22$; концентрат молибдена=2-4; электрокорунд=3-5; $Fe=42-44$; мочевины ($(NH_2)_2CO$)=9-11	350-450	Камерная печь. $t_{сп} = 890$ в среде H_2 , $p_{сп}=1-1,5$; $T_{сп} = 3$
ФМК-79 ДГП	$C = 6$; $S = 0,7$; $Cu = 10$; $B = 1,6$; $Si = 3,0$; Fe – остальное	450-500	Проходная печь. $t_{пп} = 890$ в среде H_2 , $T_{пп}=1-2$ + быстротечный нагрев до 1000-1100°C и ДГП при давлении 500-700 МПа
МКВ-50А ДГП	$C = 9,5-9,8$; $S = 1,0-1,2$; $Cu = 9,8-9,9$; $B = 3,5-3,7$; $Si = 3,5-3,7$; асбест – 3,1-3,3; Fe – остальное	То же	То же

Примечание. p_n – давление прессования перед спеканием или припеканием; $t_{сп}$ – температура, $p_{сп}$ – давление, $T_{сп}$ – время выдержки при спекании; $t_{пп}$ – температура; $T_{пп}$ – время выдержки при припекании.

Таблица 2

Свойства порошковых ФМ сухого трения на Fe-основе

ФМ	КТ	Физико-механические свойства			Триботехнические свойства				
		Тв., МПа	П, [%]	ρ , г/см ³	$p_{\text{доп}}$, МПа	f	α	$\Delta_{\text{ФМ, МКМ}} / \Delta_{\text{КТ, МКМ}}$	И.с.
СМК-80	Сталь 30ХГСА	539-932	15-20	5,9	1,2	0,22	0,68	0,15/0,08	МИФИ-1
СМК-137	Сталь 40Х	350-500	15	5,7	1,2	0,33	0,65	0,9/1,1	МИФИ-1
СМК-137П	Сталь 45Х	200-300	20-25	5,2	1,2	0,32 – 0,4	0,65	1,2/0,9	МИФИ-1
ФМК-79 ДГП	Сталь 30ХГСА	80-105 HRF	5-8	5,2-5,6	1,4	$\geq 0,25$	$\geq 0,7$	0,75/0,3 не более	У-37
МКВ-50А ДГП	Сталь 30ХГСА	60-80 HRF	5-8	5-5,1	1,4	0,31	$\geq 0,7$	0,65/0,75	У-37

Примечание: Тв. – твердость; П – пористость; ρ – плотность; $p_{\text{доп}}$ – допускаемое давление; f – коэффициент трения; α – стабильность коэффициента трения; $\Delta_{\text{ФМ}}$ – износ фрикционного материала за одно торможение, $\Delta_{\text{КТ}}$ – износ контртела за одно торможение; И.с. – испытательный стенд

Проведено сравнение технологических показателей изготовления и физико-механических и триботехнических свойств фрикционных изделий сухого трения, изготовленных из ПФМ на Fe-основе двумя методами, показывающее большие перспективы использования метода ДГП-ПФМ для изготовления фрикционных изделий сухого трения из ПФМ на Fe-основе через подслои из карбонильного железа с малой пористостью, большой твердостью и высокими триботехническими свойствами (коэффициентом трения и износостойкостью фрикционного материала и снижением трудозатрат за счет упрощения способа изготовления. Новые накладки характеризуются более высокой твердостью и прочностью соединения фрикционного слоя со стальной основой. При этом повышаются механическая прочность и технологичность деталей и упрощается термическое оборудование для стабильного высокотемпературного спекания контртела), за счет использования имеющихся в производстве проходных горизонтальных термических печей для спекания без давления и оборудования для горячей штамповки. Производительность изготовления накладки увеличивается в 1,5–3 раза. Метод соответствует современным требованиям [6] и может быть использован для создания и усовершенствования фрикционных узлов трансмиссий легких гусеничных машин с большой удельной мощностью.

Выводы: Показаны большие перспективы использования высокопроизводительного ме-

тода ДГП-ПФМ для изготовления фрикционных изделий сухого трения из порошковых материалов на Fe-основе, изготавливаемых через подслои из карбонильного железа. Результаты работы могут быть использованы при создании новых и модернизации существующих трансмиссий легких ГМ с большой удельной мощностью.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Труханов, В. М. Трансмиссии гусеничных и колесных машин / В. М. Труханов, В. Ф. Зубков, Ю. И. Крыхтин, В. Ф. Желтобрюхов. – М.: Машиностроение, 2001. – 736 с.
2. Федорченко, И. М. Современные фрикционные материалы / И. М. Федорченко, В. М. Крячек, И. И. Панаиоти. – Киев: Наукова думка, 1975. – 334 с.
3. К разработке технологических основ изготовления новых фрикционных изделий сухого трения на Fe-основе методом динамического горячего прессования / Ю. И. Крыхтин, В. И. Карлов // Известия ВолгГТУ: научный журнал № 9 / ВолгГТУ. – Волгоград, 2019. – С. 35–39.
4. Испытания новых фрикционных изделий сухого трения на Fe-основе для повышения надежности и долговечности работы трансмиссий легких гусеничных машин / Ю. И. Крыхтин, В. И. Карлов // Известия ВолгГТУ: научный журнал № 9 / ВолгГТУ. – Волгоград, 2019. – С. 39–42.
5. Разработка дисковых остановочных тормозов с металллокерамическими дисками в трансмиссиях гусеничных машин и математическая модель нагружения фрикционного материала / Ю. И. Крыхтин, В. И. Карлов // Сборка в машиностроении, приборостроении. – 2018, № 1. – С. 12–17.
6. Шаповалов, В. В. Актуальные задачи современной триботехники и пути их решения / В. В. Шаповалов, А. Сладковски, А. Ч. Эркенов // Известия высших учебных заведений. Машиностроение. – 2015, № 1. – С. 64–75.