

УДК 621.762

А. Ф. ИЛЮЩЕНКО, д-р техн. наук, проф. акад.

А. В. ЛЕШОК

Институт порошковой металлургии имени академика О. В. Романа
(Минск, Беларусь)

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ПРИНЦИПЫ РАЗРАБОТКИ СПЕЧЕННЫХ ФРИКЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ И ИЗДЕЛИЙ НА ИХ ОСНОВЕ

Аннотация

В работе представлены теоретические и технологические основы разработки спеченных фрикционных материалов и изделий на их основе. Приведенный алгоритм включает в себя: анализ конструкции фрикционного узла трения; разработку динамической модели; постановку начальных условий; поиск решений, моделирование, проведение лабораторных, стендовых и ресурсных испытаний, организацию серийного производства.

Ключевые слова:

концепция, фрикционный материал, фрикционный диск, коэффициент трения, износ.

Введение. Одной из основных проблем машиностроения является создание узлов и механизмов, обладающих высокими эксплуатационными характеристиками, ресурсом работы, надежностью. Постоянно растущая энергонагруженность при минимизации размеров узлов и механизмов требует создания новых материалов и совершенствования имеющихся технологий изготовления конструктивных элементов [1].

Технологии порошковой металлургии, для которых характерны безотходность производства, сокращение трудовых затрат и снижение количества технологических операций, позволяют успешно решать проблемы создания высокоэффективных функциональных материалов, в частности спеченных фрикционных материалов [2, 3]. Такие материалы широко используются в передающих и тормозных узлах и механизмах автотракторной техники, техники специального назначения, станках, машинах и механизмах [1–3]. Разработка, создание общедоступного алгоритма разработки фрикционных материалов является важной научной и прикладной задачей.

Результаты и их обсуждение. Для структуризации процессов проектирования и изготовления фрикционных материалов (ФМ) и фрикционных дисков (ФД) предлагается использование алгоритма реализации последовательности действий (рис. 1). Алгоритм включает в себя следующие этапы: разработка технического задания и технического предложения на разработку ФМ и ФД; анализ конструкции фрикционного узла и разработка его динамической модели; формирование начальных условий задачи разработки ФМ и ФД с учетом универсального алгоритмического модуля обобщенных свойств исходных материалов (порошков) и получаемых изделий; анализ возможных решений; разработка модели ФМ; моделирование состава ФМ; получение экспериментальных об-

разцов и их исследование; проведение ресурсных испытаний и внедрение серийного технологического процесса.



Рис. 1. Алгоритм реализации последовательности действий по разработке ФМ и выпуску ФД

Начальным этапом алгоритма реализации последовательности действий является оформление технического задания и технического предложения, в котором формулируются технические, эксплуатационные, экономические требования к фрикционному узлу, ФМ и ФД.

На основании требований разрабатывается динамическая модель фрикционного узла с формулированием уточненных и ожидаемых показателей и требований к ФМ и ФД с детализацией диапазона физико-механических, триботехнических и эксплуатационных свойств (передаваемый крутящий момент, скорость скольжения, давление, площадь поверхности трения, конструкция маслоотводящих каналов, количество подаваемой смазки и ее состав и прочие). Требования могут дополняться в зависимости от целевого назначения узла, требуя тесного взаимодействия с конструкторскими службами. Модель позволяет выявить вклад ФМ в эффективность работы узла и дать оценку влияния на работоспособность и долговечность. Дается предварительная оценка возможных механизмов контактного взаимодействия поверхностей трения, определяющая износостойкость и ресурс работы.

На основании анализа конструкции динамической модели фрикционного узла формулируются начальные условия задачи к составу исходных порошков, разрабатываемым ФМ и ФД, используя универсальный модуль свойств и показателей. Он позволяет на практике реализовать концептуальный подход разработки ФМ, проявляя двойственность, как для исходных порошков, так ФМ и ФД. В предложенный модуль входят следующие подмножества свойств и показателей: физико-механические, триботехнические, эксплуатационные, экономические. К физико-механическим свойствам подмножества модуля свойств можно отнести: плотность, модуль упругости, коэффициент теплопроводности и температуропроводности, коэффициент Пуассона. К триботехническим свойствам – динамический и статический коэффициенты трения, износостойкость, задиростойкость, длительность приработки, коэффициент трения в процессе приработки. К эксплуатационным свойствам – надежность, долговечность, значение передаваемого крутящего момента и коэффициент запаса, длительность буксования, количество смазки и ее вид. К экономическим показателям – стоимость, затраты на разработку, подготовку производства, серийного выпуска ФД. Количество приведенных в алгоритмическом модуле подмножеств свойств и характеристик не является окончательным и может дополняться. Это относится и к детализации подмножества свойств.

Результатом анализа возможных решений разработки ФМ с данными обобщения начальных условий, предъявляемых к ФМ и ФД, технологическому оборудованию, средствам и методам контроля является модель ФМ. Использование модели позволяет проводить теоретические расчеты, модельные виртуальные испытания, давая предварительную оценку возможности применения

материала. Моделирование подразумевает использование программных комплексов и средств вычисления для оценки механических, теплофизических свойств, прогнозирования ресурса работы.

ФМ, или группа ФМ, прошедших моделирование и показавшие требуемые свойства, в виде опытных и экспериментальных образцов подвергаются испытаниям с использованием методов разрушающего и неразрушающего контроля. При положительных результатах испытаний осуществляют ресурсные испытания ФД во фрикционном узле, результаты которых позволяют принять решение о серийном производстве или корректировании модели ФМ. В случае отрицательных результатов осуществляется корректировка модели ФМ с повторением ранее приведенных этапов.

Представленная последовательность процесса проектирования и изготовления ФМ и ФД является формализованным обобщением динамической модели, феноменологии прессования и спекания ФМ, методологии использования систем автоматизированного проектирования на стадии разработки ФМ, позволяя объединить конструкторско-технологические службы машиностроительного производства с научно-исследовательскими структурами, занимающимися разработкой ФМ и ФД. Детализацией этапа виртуальных и натурных испытаний при проектировании и разработке ФМ и ФД является рекомендуемая программа проведения испытаний с формулированием достигаемых целей. В механические испытания входит оценка твердости, прочности, модуля Юнга, коэффициента Пуассона, при этом целью испытаний является определение соответствия между установленными требованиями к ФМ и полученными результатами в процессе виртуальных и натурных испытаний. Полученные результаты позволяют судить о целесообразности проводить последующие этапы испытаний.

Целью теплофизических испытаний является определение соответствия разработанного ФМ возникающим термомеханическим нагрузкам, полученным на основе анализа динамической модели фрикционной пары трения, а также способности рассеивания мощности, возникающей при трении. Определяемыми характеристиками являются коэффициент тепло- и температуропроводности, цикличность процесса тепловыделения. Положительные данные по механическим и теплофизическим испытаниям являются основанием для проведения триботехнических испытаний с целью определения динамического и статического коэффициентов трения, износа, способности микросваривания, переноса и формирования задира.

Исследование акустических характеристик позволяет дать оценку разработанному материалу на устойчивость к резонансным и акустическим явлениям, вызывающим вибрацию, шум. Завершающим этапом комплекса предлагаемой программы испытаний являются структурные исследования с анализом, обоб-

щением и формулированием выводов, рекомендаций по применению ФМ и работоспособности ФД, как в заявленных условиях испытаний, так в случае нарушения условий эксплуатации (аварийных режимах).

Вывод. Предложенные в работе теоретические и технологические принципы разработки спеченных фрикционных материалов и изделий на их основе в наиболее полной мере отражают научно обоснованный подход, результатом которого является научно-практическая школа и серийный выпуск продукции для предприятий автотракторного комплекса.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Альгин, В. Б.** Ресурсная механика трансмиссий мобильных машин / В. Б. Альгин, С. Н. Поддубко. – Минск: Бел. навука, 2019. – С. 549.
2. **Кипарисов, С. С.** Порошковая металлургия / С. С. Кипарисов, Г. А. Либенсон. – Москва: Металлургия, 1991. – С. 432.
3. **Федорченко, И. М.** Современные фрикционные материалы / И. М. Федорченко, В. М. Крячек, И. И. Панаиоти. – Киев: Наук. думка, 1975. – С. 334.

Контакты:

alexil@mail.belpas.by (Ильющенко Александр Федорович);

sdilav@tut.by (Лешок Андрей Валерьевич).