

АНАЛИЗ ПРИМЕНЕНИЯ КЕРАМОМАТРИЧНЫХ КОМПОЗИТОВ ДЛЯ ЭЛЕМЕНТОВ ФРИКЦИОННЫХ УЗЛОВ ВЫСОКОНАГРУЖЕННОЙ АВТОТРАНСПОРТНОЙ ТЕХНИКИ

Кулик В.И., Нилов А.С.

*Балтийский государственный технический университет «ВОЕНМЕХ»
им. Д.Ф. Устинова, г. Санкт-Петербург*

Ключевые слова: автотранспортная техника, системы торможения и сцепления, фрикционные материалы, керамоматричные композиты.

Аннотация. Проведен анализ перспектив применения керамических композитов с SiC-матрицей в элементах систем торможения и сцепления высоконагруженной автотранспортной техники. Показано, что такие композиты могут рассматриваться как эффективная альтернатива традиционным фрикционным материалам.

ANALYSIS OF THE USE OF CERAMIC-MATRIX COMPOSITES FOR ELEMENTS OF FRICTION UNITS OF HIGH-LOAD MOTOR VEHICLES

Kulik V.I., Nilov A.S.

Baltic State Technical University "VOENMEH", St. Petersburg

Keywords: motor vehicles, braking and clutch systems, friction materials, ceramic-matrix composites.

Abstract. The analysis was made of the prospects for the use of ceramic composites with SiC-matrix in the elements of braking and clutch systems of high-loaded motor vehicles. It is shown that such composites can be considered as an effective alternative to traditional friction materials.

Одними из важнейших узлов автотранспортной техники являются системы, работающие в условиях интенсивного фрикционного воздействия. К таким системам относятся системы торможения и сцепления трансмиссий. В современной автотехнике тормозная система состоит, как правило, из тормозного диска и колодок, а среди различных типов сцепления наибольшее распространение получили фрикционные дисковые сцепления. Необходимый уровень функциональных характеристик, надежности и сроков эксплуатации элементов этих систем главным образом обеспечивается комплексом физико-механических, теплофизических и трибологических свойств используемых фрикционных материалов. В настоящее время в тормозных и передаточных узлах нашли применение фрикционные материалы на основе металлов, металлокерамики, композитов с полимерной матрицей. Однако для высоконагруженного автотранспорта особое место занимают фрикционные материалы последнего поколения – керамоматричные композиты (КМК) с SiC-матрицей, армированные углеродными волокнами [1].

КМК применяются для повышения эффективности фрикционных систем, особенно для высокоскоростного и высоконагруженного транспорта, когда температура на поверхности пары трения может достигать 1000-1200°C. КМК характеризуются высоким коэффициентом трения и его малой зависимостью от скорости транспортного средства, температуры поверхности в зоне трения, контактного давления и погодных условий. Они имеют наименьший износ при эксплуатации по сравнению с традиционными фрикционными материалами.

Необходимо отметить, что техническая и экономическая эффективность применения КМК в элементах фрикционных систем во многом определяется используемым методом их изготовления. Среди методов получения изделий из КМК наибольшую экономическую привлекательность имеют жидкофазные методы: PIP-процессы, основанные на пиролизе кремнийорганической матрицы углепластиковой заготовки, и LSI-процессы, основанные на силицировании заготовок, в состав которых входят углеграфитовые компоненты [2].

Достоинствами КМК, получаемых по технологии PIP, являются широкая возможность управления составом получаемых композиций, отсутствие термической и химической деградации армирующих УВ и порошковых добавок при проведении пиролиза полимерного связующего. Главным недостатком технологии PIP, при получении КМК является повышенная пористость матрицы. Эта проблема может решаться путем увеличения количества циклов пропитка-пиролиз, но это сразу приводит к резкому удорожанию получаемого материала.

Наиболее широко здесь используется модификация метода LSI, основанная на жидкофазном силицировании карбонизированных углепластиков. Данные процессы обладают рядом достоинств по сравнению с другими методами получения КМК: конечный материал имеет достаточно высокую прочность и теплопроводность; матрица имеет плотную, практически беспористую структуру; процесс относительно недорог и производителен вследствие его небольшой продолжительности.

Решить проблему существенного снижения поверхностного износа трущихся фрикционных КМК (в разы) возможно путем нанесения на их поверхности SiC-покрытий реакционного типа или газофазных SiC-покрытий методом CVD, либо созданием структур КМК градиентного типа, в которых поверхностные фрикционные функциональные слои состоят полностью или главным образом из SiC-фазы по отношению к внутренним слоям с высоким содержанием углеродных волокон и обеспечивающих повышенный уровень прочности и трещиностойкости композитному элементу узла сцепления.

Наиболее перспективным представляется применение тормозных дисков из КМК в современных автомобилях (рис. 1). Обладая высокими и стабильными триботехническими характеристиками, высокой тепло- и износостойкостью, они весят примерно на 50-75% меньше стальных, а срок эксплуатации оценивается не менее 300000 км пробега автомобиля, кроме

того, экономия топлива для автомобилей при их установке оценивается до 20% [3].



Рис. 1. Вид в разрезе тормозного диска из КМК фирмы SGL GmbH для автомобиля Porsche 911 Turbo [3]

Крупнейшими мировыми производителями тормозных дисков из КМК являются: SGL Carbon Group (Германия), Brembo (Италия), System ST (Англия), MS Production (Словения), Starfire systems (США), DACC Co. Ltd. (Корея) и другие. Тормозные диски этих фирм сейчас устанавливаются на современных автомобилях марок: AMG Mercedes, Mercedes Brabus EV12, Porsche 911 Turbo, Porsche GT2, Hyundai EQUUS, Ferrari F48, Volkswagen Veyron 16.4, Bentley Continental GT, Jaguar C-Type, Audi R8, Audi Q7 V12, Lamborghini Gallardo, Nissan GT-R SpecV и мотоциклах Yamaha

YZF-R1, Suzuki и других. Причем потребность рынка автомобильных тормозных дисков из этих материалов в ближайшие 5-10 лет оценивается примерно 120000 -1200000 штук в год. Одной из причин, тормозящих рост потребления дисков из КМК является их высокая цена – примерно 1000 – 1500 евро/диск и выше. Однако, при организации поточного промышленного производства цена может быть снижена до 500 – 1000 евро/диск, что даст возможность их использования не только в спортивных автомобилях и автомобилях класса-люкс, но и в машинах эконом-класса.

Одна из важнейших проблем при разработке эффективных тормозных систем с дисками из КМК заключается в подборе для них соответствующих тормозных колодок, которые могли бы выдерживать жесткие условия применения (нагрев более 1000 °С и абразивный характер трибоконтакта), и при этом иметь комплекс высоких эксплуатационных характеристик. Данным требованиям в наибольшей степени удовлетворяют именно колодки из КМК [4].

Одним из требований к тормозным колодкам из КМК, помимо обеспечения высоких и стабильных триботехнических характеристик, является обеспечение такого характера процесса трения, когда их износ в значительно большей степени превышает износ дисков, при этом имея минимально возможные значения. Эта задача может решаться, например, путем подбора для КМК дисков и колодок оптимального соотношения базовых структурных компонентов материалов – УВ и SiC-матрицы. В работе [5] установлено, что пары образцов с различным (высоким и низким) начальным содержанием УВ обеспечивают более высокий и стабильный коэффициент трения в зависимости от скорости по сравнению с парами

образцов с одинаковым (высоким) начальным содержанием УВ. Также показано, что КМК с разным содержанием УВ характеризуются и значительным различием их износа (более чем в 3 раза), причем более низкий износ наблюдается у КМК с малым содержанием УВ (большей долей SiC матрицы).

Фрикционные дисковые сцепления подразделяются по виду трения на «сухие» и работающие в масле («мокрые»). Передача крутящего момента в таких сцеплениях осуществляется за счет сил трения нажимным, фрикционным и опорным дисками. В связи с этим одной из основных проблем при эксплуатации высоконагруженных трансмиссий является термомеханический износ фрикционных материалов (температуры на поверхностях трения могут достигать 600-800°C), а важнейшей задачей обеспечения надежности и долговечности сцепления является подбор материалов пар трения. Для таких жестких условий эксплуатации одним из самых перспективных материалов для элементов «сухих» и «мокрых» систем сцепления являются волокнисто-армированные КМК [6, 7].

Применение дисков сцепления из КМК, полученных по технологии LSI, в трансмиссии автомобиля Porsche Carrera GT позволило выдерживать температуры трибоконтакта выше 800°C, уменьшить диаметр дисков на 30% с 240 до 169 мм, и, соответственно, снизить весовые показатели блока сцепления более чем на 50% с 7,6 до 3,5 кг [6]. На рисунке 2 приведены блок сцепления и монолитный диск сцепления из КМК для автомобиля Porsche Carrera GT. На рис. 3 приведен другой конструктивный вариант диска сцепления, где сцепление осуществляется за счет трения вставных элементов (пистонов) из КМК [6].



Рис. 2. Фотографии дисков сцепления из КМК фирмы Porsche для автомобиля модели Carrera GT [6]: *а* – диск сцепления из КМК; *б* – сцепление в разрезе; *в* – в полной компоновке

Для дисков, работающих в «мокрых» узлах сцепления, в настоящее время наиболее широко используются фрикционные материалы на основе металлов, металлокерамики, полимерных композитов, а также листовые

(бумажные) материалы. Тем не менее, проводятся активные исследования возможности использования фрикционных КМК для высоконагруженных систем сцепления «мокрого» типа [7].

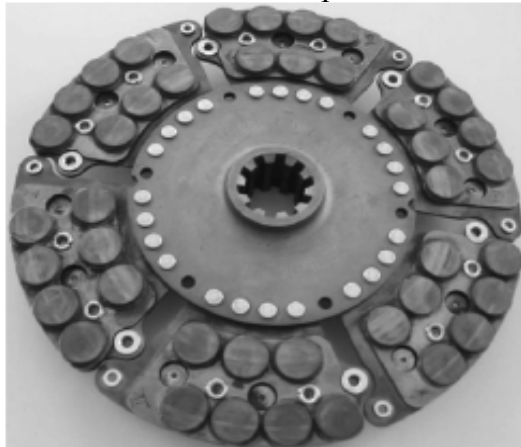


Рис. 3. Конструктивный вариант диска сцепления со вставными фрикционными элементами из КМК [6]

Было показано, что применение дисков сцепления или фрикционных накладок из КМК в трансмиссиях автотранспортной техники в условиях «мокрого» трения обеспечивает их минимальный износ. При этом работоспособность системы сцепления будет сохраняться даже в случаях ухода масла. Это связано с воздействием двух факторов, присущих фрикционным КМК: во-первых, высокой износостойкостью керамической матрицы, в том числе и при «сухом» трении; во-вторых, КМК, как правило, обладают достаточно существенной остаточной

пористостью (например, для технологии PIP – 10-15%), которая, впитывает и удерживает масло на поверхности трущихся элементов.

Таким образом, проведенный анализ показывает широкие перспективы применения фрикционных композиционных материалов с керамической матрицей в элементах систем торможения и сцепления высоконагруженной автотранспортной техники. Для данных систем КМК могут рассматриваться как эффективная альтернатива традиционным фрикционным материалам.

Список литературы

1. Handbook of ceramic composites / Edited by Narottam P. Bansal // Kluwer Academic Publishers, 2005. – 554p.
2. Гаршин А.П. Современные технологии получения волокнисто-армированных композиционных материалов с керамической огнеупорной матрицей / А.П. Гаршин, В.И. Кулик, С.А. Матвеев, А.С. Нилов // Новые огнеупоры. – 2017. – №4. – С. 20-35.
3. Гаршин А.П. Фрикционные материалы на основе волокнисто-армированных композитов с углеродной и керамической матрицей для систем торможения / А.П. Гаршин, В.И. Кулик, А.С. Нилов // Новые огнеупоры. – 2008. – № 9. – С. 54-60.
4. Кулик В.И. Анализ фрикционных материалов и технологий изготовления тормозных колодок для высоконагруженных тормозных систем с дисками из керамического композиционного материала / В.И. Кулик, А.С. Нилов, А.П. Гаршин // Новые огнеупоры. – 2015. – №7. – С. 57-68.
5. Кулик В.И. Исследование триботехнических характеристик композиционных материалов с карбидокремниевой матрицей / В.И. Кулик, А.С. Нилов, А.П. Гаршин и др. // Новые огнеупоры. – 2012. – №8. – С. 45-56.
6. Кулик В.И. Перспективы применения композиционных материалов в высоконагруженных системах сцепления «сухого» типа автотранспортной техники / В.И. Кулик, А.С. Нилов // Грузовик. – 2019. – №1. – С. 40-48.

7. Кулик В.И. Перспективы применения композиционных материалов в высоконагруженных системах сцепления «мокрого» типа автотранспортной техники / В.И. Кулик, А.С. Нилов // Грузовик. – 2019. – №2. – С. 38-42.

References

1. Handbook of ceramic composites / Edited by Narottam P. Bansal // Kluwer Academic Publishers, 2005. – 554p.
2. Garshin A.P. Modern technologies for obtaining fiber-reinforced composite materials with ceramic refractory matrix / A.P. Garshin, V.I. Kulik, S.A. Matveev, A.S. Nilov // New refractories. – 2017. – №4. – P. 20-35.
3. Garshin A.P. Friction materials based on fiber-reinforced composites with carbon and ceramic matrix for braking systems / A.P. Garshin, V.I. Kulik, A.S. Nilov // New refractories. – 2008. – No. 9. – P. 54-60.
4. Kulik V.I. Analysis of friction materials and technologies for the manufacture of brake pads for high-load brake systems with discs made of ceramic composite material / V.I. Kulik, A.S. Nilov, A.P. Garshin // New refractories. – 2015. – №7. – P. 57-68.
5. Kulik V.I. Investigation of tribotechnical characteristics of composite materials with silicon carbide matrix / V.I. Kulik, A.S. Nilov, A.P. Garshin and others // New refractories. – 2012. – №8. – P. 45-56.
6. Kulik V.I. Prospects for the use of composite materials in highly loaded clutch systems of "dry" type of motor vehicles / V.I. Kulik, A.S. Nilov // Truck. – 2019. – №1. – P. 40-48.
7. Kulik V.I. Prospects for the use of composite materials in highly loaded clutch systems "wet" type of motor vehicles / V.I. Kulik, A.S. Nilov // Truck. – 2019. – №2. – P. 38-42.

Сведения об авторах:

Information about authors:

Кулик Виктор Иванович – кандидат технических наук, доцент, victor.i.kulik@gmail.com	Kulik Viktor Ivanovich – candidate of technical sciences, associate professor; victor.i.kulik@gmail.com
Нилов Алексей Сергеевич – кандидат технических наук, доцент, alexey.s.nilov@gmail.com	Nilov Aleksey Sergeevich – candidate of technical sciences, associate professor, alexey.s.nilov@gmail.com
Балтийский государственный технический университет «ВОЕНМЕХ», Санкт-Петербург, Россия	Baltic State Technical University “VOENMEH”, Saint Petersburg, Russia

Получена 16.11.2020