

УДК 629.114.2-235

DOI: 10.35211/1990-5297-2023-8-279-24-27

Ю. И. Крыхтин, В. И. Карлов

**К РАЗРАБОТКЕ ВЫСОКОЭФФЕКТИВНЫХ ПОРИСТЫХ ПОРОШКОВЫХ
ФРИКЦИОННЫХ ПОКРЫТИЙ ДЛЯ РАБОТЫ В МАСЛЕ**

Волгоградский государственный технический университет

E-mail: au@vstu.ru

Рассмотрены вопросы разработки и исследования новых высокоэффективных пористых порошковых фрикционных покрытий для работы в масле с повышенными коэффициентом трения и износостойкостью, полученных методом плазменного напыления, применительно к конусам синхронизаторов коробок передач и дискам фрикционных и тормозных узлов. Приведены характеристики разработанных пористых порошковых покрытий и технологические параметры их получения для фрикционных устройств трансмиссий гусеничных машин с большой удельной мощностью.

Ключевые слова: плазменное напыление, фрикционное покрытие, конус синхронизатора, диск трения, молибден, бронза БрАЖ9-4 (SiC).

© Крыхтин Ю. И., Карлов В. И., 2023.

Yu. I. Krykhtin, V. I. Karlov

TO THE DEVELOPMENT OF HIGH-PERFORMANCE POROUS
POWDER FRICTION COATINGS FOR OPERATION IN OIL

Volgograd State Technical University

The issues of development and research of new high-performance porous powder friction coatings for operation in oil with increased coefficient of friction and wear resistance, obtained by plasma spraying, are considered in relation to cones of synchronizers of gearboxes and disks of friction and brake units. The characteristics of the developed porous powder coatings and the technological parameters of their production for friction devices of transmissions of tracked vehicles with a high specific power are given.

Keywords: plasma spraying, friction coating, synchronizer cone, friction disk, molybdenum, bronze BrAZh9-4 (SiC).

В транспортном машиностроении применительно к колесным, гусеничным, колесно-гусеничным машинам актуальными являются вопросы создания малогабаритных, высокоэффективных фрикционных устройств с высоким коэффициентом трения и износостойкостью материалов трения, работающих в масляной среде и производимых по экономичной высокопроизводительной технологии [1; 2]. К таким устройствам относятся фрикционные муфты для переключения передач, фрикционные муфты приводов отбора мощности, дисковые тормоза-синхронизаторы в гидромеханической трансмиссии, дисковые синхронизаторы в механических трансмиссиях, устройства с криволинейными элементами в силовых фрикционных передачах и другие фрикционные устройства. [3].

Повышение коэффициента трения μ фрикционных пар при работе в масле в таких фрикционных устройствах способствует уменьшению их габаритов и веса. Поставлена задача во фрикционных устройствах получить коэффициент трения $\mu \geq 0,16$ вместо $\mu \leq 0,12$ для известных материалов трения типа МК-5.

Коэффициент трения входит в формулу с конструктивными параметрами узла трения:

$$\mu = \frac{M_{\text{дв}}^{\text{св}} \cdot i}{P \cdot R_{\text{ср}} \cdot z \cdot \beta},$$

где $M_{\text{дв}}^{\text{св}}$ – свободный момент двигателя (по внешней характеристике ДВС); i – передаточное число от коленчатого вала ДВС до вала установки фрикционного устройства; P – нормальное усилие на элементы пары трения от системы управления; $R_{\text{ср}}$ – средний радиус поверхности трения; z – число пар поверхностей трения; β – коэффициент запаса фрикционного устройства.

Характеристики поверхностей трения (физико-механические свойства, показатели геометрические и т. д.) зависят от составов трущихся материалов, внешних параметров про-

цесса трения (нагрузки, скорости скольжения, температуры, характера подачи смазки в зону трения и т. д.). При повышении коэффициента трения (при неизменном моменте трения) в конструкции фрикционного устройства могут уменьшаться следующие конструктивные показатели: P ; $R_{\text{ср}}$; z .

При работе фрикционного устройства выделяются два режима:

1. Устройство «включено» (отсутствует зазор между поверхностями трения). Режим характеризуется статическим коэффициентом трения $\mu_{\text{стат}}$.

2. Устройство «буксует» (имеется зазор с маслом между поверхностями трения). Режим характеризуется динамическим коэффициентом трения $\mu_{\text{дин}}$.

Целью работы является разработка малогабаритных высокоэффективных фрикционных изделий для работы в масле, изготовленных по мобильной высокопроизводительной технологии.

Новизной является разработка **пористых порошковых фрикционных плазменных покрытий** для изделий с повышенным коэффициентом трения и износостойкостью при работе по стальному контртелу в масле.

Скольжение двух сопряженных однородных закаленных стальных поверхностей во фрикционном устройстве (между трущимися поверхностями есть только масляная пленка) приводит к возникновению процессов, присущих граничному или сухому трению. При непористых металлических парах трения Сталь40Х – Сталь40Х; сталь 12ХН3А – 20Х2Н4А; Сталь 65Г – Сталь 65Г и т.д. имеет место периодический разрыв масляной пленки и происходит металлическое контактирование 2-х тел на локальных участках поверхностей сухого трения, на которых в результате высоких контактных нагрузок возникает пластическая деформация металла, достигающая критических значений, приводящих к передоформированию поверхностных слоев металла и его износу, к схватыванию и задирам трущихся поверхностей.

Проведено исследование работы пористых фрикционных материалов. Скольжение при деформации и уплотнении податливого упругого пористого фрикционного покрытия детали, нанесенного газотермическим способом и имеющего разветвленную сеть открытых пор, которые способствуют созданию эффективного и надежного контакта, при работе в масле обеспечивает переход на режим полусухого (граничного) трения с существенным повышением коэффициента трения μ . Это происходит за счет переходного процесса между трением со смазкой и полусухим (граничным) трением, т. е. переход от упругого пористого фрикционного покрытия со смазкой к жесткому сжатому фрикционному покрытию.

Величину упругой деформации пористого порошкового фрикционного материала при его работе со стальным контртелом в масле в случае, когда фрикционное устройство «включено», предлагается определять по известной из теории упругости формуле

$$U_z = \frac{F_N \cdot (1 - \nu^2)}{\pi \cdot E \cdot r},$$

где U_z – нормальное смещение; F_N – концентрированная нормальная сила, действующая на упругое полупространство в начале координат; E – модуль Юнга; ν – коэффициент Пуассона; r – радиус кривизны полупространства.

При скольжении поверхностей пары трения с пористым фрикционным, увеличивающим маслосъемность сопряжения покрытием, покрытие способно под действием повышенных нагрузок деформироваться и уплотняться по глубине без полного выдавливания смазки из зоны трения (эффект пористой губки) в локальных объемах с выделением дополнительной смазки, что в значительной степени уменьшает возможность схватывания на локальных участках поверхностей трения и, следовательно, предотвращает распространение процессов схватывания на всю поверхность трения. При этом уменьшается вероятность выхода рабочей поверхности из строя и обеспечивается высокая надежность работы фрикционного узла; и режим полусухого трения. Уменьшение вероятности локального схватывания и наличие дополнительной смазки в порах покрытия обеспечивает также снижение износа сопряженных поверхностей, что значительно увеличивает долговечность фрикционного узла.

Нижний предел по пористости 10 % устанавливается исходя из условий обеспечения накопления масла в порах и деформирования пористого тела. Верхний предел пористости 25 % устанавливается из условий обеспечения прочности свойств покрытия, так как дальнейшее увеличение пористости приводит к значительному уменьшению прочности покрытия. Пористость покрытия существенно влияет на предельные нагрузки схватывания, коэффициент трения, темп изнашивания пары трения.

На основе методик испытания физико-механических и триботехнических свойств на машине трения заготовок фрикционных изделий с плазменным покрытием [4] предварительно определяется коэффициент трения μ , средний темп изнашивания δ (мкм/км) образца покрытия и контртела по их контрольным взвешиваниям, температура.

Предлагаются разработанные и исследованные фрикционные покрытия толщиной до 0,5 мм на основе молибдена по ТУ 48–19–203–85 и железоалюминиевой бронзы БрАЖ9–4 по ТУ 48–21–642–79 (96 %) с SiC по ГОСТ 26327–84 (4 %) [5; 6] с повышенным коэффициентом трения и износостойкостью для работы в условиях трения со смазкой применительно к конусу синхронизатора коробок передач и дискам фрикционных и тормозных узлов. Покрытия следует наносить в виде расплавленных частиц со средним размером 70 мкм (для молибдена 40÷80 мкм) со скоростью до 100 м/с, на установке УПУ-3Д [7]. При этом для молибденового покрытия следует обеспечить незначительное количество оксидов Mo_2O_3 или MoO_3 (на рентгенограммах могут присутствовать слабые линии), а искажения их кристаллической решетки может достигать величины $\Delta\alpha/\alpha=1,3 \cdot 10^{-3}$. Для бронзового покрытия матрица (твердый раствор алюминия и железа в меди) традиционного бронзового цвета, на отдельных участках матрицы включения интерметаллидов $\text{Cu}_x\text{Al}_y\text{Fe}_z$ светло-серого с голубизной оттенка.

Предлагаются нижеследующие параметры напыления:

1. Режим напыления молибденом: сила тока 500 А; напряжение 40 В, дистанция 105 мм; плазмообразующий газ – аргон; расход газа 30 л/мин;

2. Режим напыления БрАЖ9–4(SiC): сила тока 470÷500 А; напряжение 37÷40 В, дистанция 105 мм; плазмообразующий газ – аргон; расход газа 25÷27 л/мин.

3. Режим механической обработки (шлифовки) напыленных покрытий: шлифовальный круг – белый корунд, зерно 40 мкм, связка керамическая, глубина резания $30 \div 35$ мкм, поперечная подача $0,9 \div 1,1$ мм на проход, охлаждающая жидкость СОЖ.

Разработанное фрикционное пористое плазменное покрытие на основе БрАЖ9–4(SiC) имеет пористость $15 \div 17$ % (при использовании процесса активации $7 \div 9$ %); твердость НМ основы = $180 \div 220$ кгс/мм², НМ твердых фаз = $120 \div 800$ кгс/мм² и 3200 кгс/мм²; прочность сцепления со стальной подложкой – $22 \div 25$ МПа (через подслой из Мо). Коэффициент трения со стальным контртелом на машине трения МТ–22 при нагрузке $0,5 \div 1,5$ МПа и скорости скольжения $12,97$ м/с составляет $0,21 \div 0,22$; при этом темп изнашивания по отношению к парам трения Ст.65Г– Ст.65Г и Ст.20Х2Н4А– Ст.12ХН3А равен $0,2 \div 0,4$.

Разработанное фрикционное пористое плазменное молибденовое покрытие имеет пористость – $18 \div 20$ % (при использовании процесса активации – $6 \div 8$ %); твердость – НМ = $500 \div 550$ кгс/мм²; прочность сцепления со стальной подложкой – $22 \div 25$ МПа. Коэффициент трения при нагрузке $0,5 \div 1,5$ МПа и скорости скольжения $12,97$ м/с – $0,14 \div 0,16$; при этом темп изнашивания по отношению к парам трения Ст.65Г– Ст.65Г и Ст.20Х2Н4А– Ст.12ХН3А равен $0,2 \div 0,3$.

Разработанные фрикционные порошковые пористые плазменные покрытия на основе молибдена, алюминиево-железистой бронзы для работы со стальным контртелом со смазкой могут быть использованы при создании новых фрикционных устройств трансмиссий гусеничных машин с большой удельной мощностью, работающих в экстремальных условиях.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Белый, В. А. Актуальные направления развития исследований в области трибологии / В. А. Белый, А. И. Свириденко // Трение и износ. – Т. 7, № 4. – 1986. – С. 593–603.
2. 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 (658). – С. 64–75.
3. Труханов, В. М. Трансмиссии гусеничных и колесных машин / В. М. Труханов, В. Ф. Зубков, Ю. И. Крехтин, В. Ф. Желтобрюхов. – М. : Машиностроение, 2001. – 736 с.
4. Хасуи, А. Наплавка и напыление / А. Хасуи, О. Моригаки. – М. : Машиностроение, 1985. – 239 с.
5. Трение, изнашивание и смазка. Справочник. Книга 1 / под ред. И. В. Крагельского, В. В. Алисина. – М. : Машиностроение, 1978. – 400 с.
6. Федорченко, И. М. Порошковая металлургия, материалы, технологии, свойства, области применения. Справочник / И. М. Федорченко, И. Н. Францевич, И. Д. Радомысельский. – Киев : Наукова думка, 1985. – 623 с.
7. Даниленко, В. А. Исследование структуры молибденовых плазменных покрытий / В. А. Даниленко, Б. И. Чайка, П. И. Лапко // Порошковая металлургия. – 1971, № 4. – С. 32–34.