

Т.Б. Янко, аспирант
В.А. Скачков, доцент, к.т.н.
А.В. Карпенко, ассистент

ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНЫЕ ПОРОШКОВЫЕ МАТЕРИАЛЫ ТРИБОТЕХНИЧЕСКОГО НАЗНАЧЕНИЯ

Запорожская государственная инженерная академия

Розглянуто методи одержання, формування структурно-механічних властивостей. Виконано оцінку працездатності багатокомпонентних матеріалів триботехнічного призначення.

Рассмотрены методы получения, формирования структурно-механических свойств. Выполнена оценка работоспособности многокомпонентных материалов триботехнического назначения.

Введение. В современных условиях развития промышленного производства требует решения проблема улучшения качества продукции и повышения потребительского спроса. Причиной выхода из строя 70% механизмов и машин является износ подвижных сопряжений и рабочих органов под влиянием сил трения. Процессы, протекающие в трибосопряжениях, лимитируют срок эксплуатации изделий. Номенклатура материалов, традиционно используемых в условиях трения, часто оказывается недостаточной для обеспечения комплекса многочисленных и часто противоречивых требований. Рынок заставляет разработчиков решать задачи улучшения прочностных и эксплуатационных характеристик трибосопряжений при минимальных финансовых вложениях, то есть проводить активный поиск новых износостойких и дешевых материалов, а также экономичных методов их изготовления [1].

Анализ проблемы. Современными исследованиями в области трения и износа показано, что материалы для триботехнических систем должны обеспечивать условия динамического равновесия, то есть, с одной стороны, согласно трибологическому подходу, быть совместимыми и обнаруживать структурную приспособляемость; а, с другой, согласно макрогеометрическому подходу обеспечивать надежную работу трибосопряжений, которая не возможна без стабильности макрогеометрических характеристик соответствующих деталей.

Перспективным направлением решения проблем, связанных с повышением износостойкости, является применение в трибосопряжениях композиционных материалов, что требует развития и освоения технологий их получения, а также методов обеспечения оптимального комплекса механических и технологических свойств данных материалов для разнообразных условий эксплуатации.

Одним из видов композиционных материалов являются материалы, полученные методами порошковой металлургии.

Порошковые антифрикционные материалы предназначены для производства изделий с низкими потерями на трение; их определяющий признак – сравнительно низкий коэффициент трения. Данные материалы работают в условиях граничной смазки, скоростях скольжения $v \leq 6$ м/с и давлениях $p \leq 25$ МПа. Прирабатываемость порошковых антифрикционных материалов, определяемая временем снижения коэффициента трения до его заданной величины, обычно хорошая. Их структура должна быть гетерогенной, мелкозернистой и отвечать правилу Шарпи, то есть представлять

собой сочетание твердых и более мягких компонентов, самым мягким из которых являются поры – составляющая с нулевой твердостью; пористая структура антифрикционных материалов может быть заполнена смазкой [2].

Метод порошковой металлургии является наиболее эффективным для изготовления антифрикционных изделий различного химического состава с хорошей прирабатываемостью, высокой износостойкостью, низким и стабильным коэффициентом трения, хорошей сопротивляемостью схватыванию и другими полезными качествами. Наличие пор позволяет придавать материалам антифрикционные свойства, которые в беспористом состоянии ими не обладают (например, порошковое пористое железо или материалы на его основе успешно работают в различных узлах трения). Поры изменяют механизм прирабатываемости трущихся поверхностей. У порошковых материалов вследствие изменения и перераспределения объема пор происходит необратимая пластическая деформация в поверхностном и прилегающем к нему значительно по глубине (до нескольких миллиметров) приповерхностном слое, тогда как у литых материалов хорошая прирабатываемость обеспечивается только в поверхностном слое толщиной всего несколько микрон вследствие уменьшения шероховатости, в том числе и путем его износа.

Применение порошковых композиционных материалов, взамен традиционных конструкционных материалов, позволяет создавать механизмы и машины на более высоком техническом уровне. При создании композиционных материалов возможно направленное регулирование прочности, жесткости, износостойкости, диапазона рабочих давлений, температур и других механических и эксплуатационных свойств путем подбора состава, изменения соотношения компонентов и методов изготовления.

Одним из перспективных материалов для получения материалов с хорошими антифрикционными свойствами является алюминий. Он обладает низкой плотностью, высокой тепло- и электропроводностью, а также хорошей прессуемостью.

Постановка задачи. Задачей данных исследований является получение самосвязанного антифрикционного материала триботехнического назначения.

Основная часть исследований. Известно, что оксид алюминия, тонко распределенный в структуре, не растворим в алюминии, и сохраняет свое упрочняющее влияние вплоть до точки его плавления.

Для получения термосвязанной порошковой детали наиболее эффективно использование метода термопрессования, когда происходит прессование с одновременным нагревом, что позволяет связать разрозненные частицы пресс-массы в единое целое при достаточно низких давлениях и температурах. В качестве материала для пресс-массы использовали порошковый алюминий и оксид алюминия в виде микропорошка.

При давлении 19 МПа на порошкообразном алюминии можно получить плотность более 90%, а при давлении – 40 МПа – более 95% плотности алюминия.

Экспериментально установленная зависимость пористости от давления прессования показана на рис. 1.

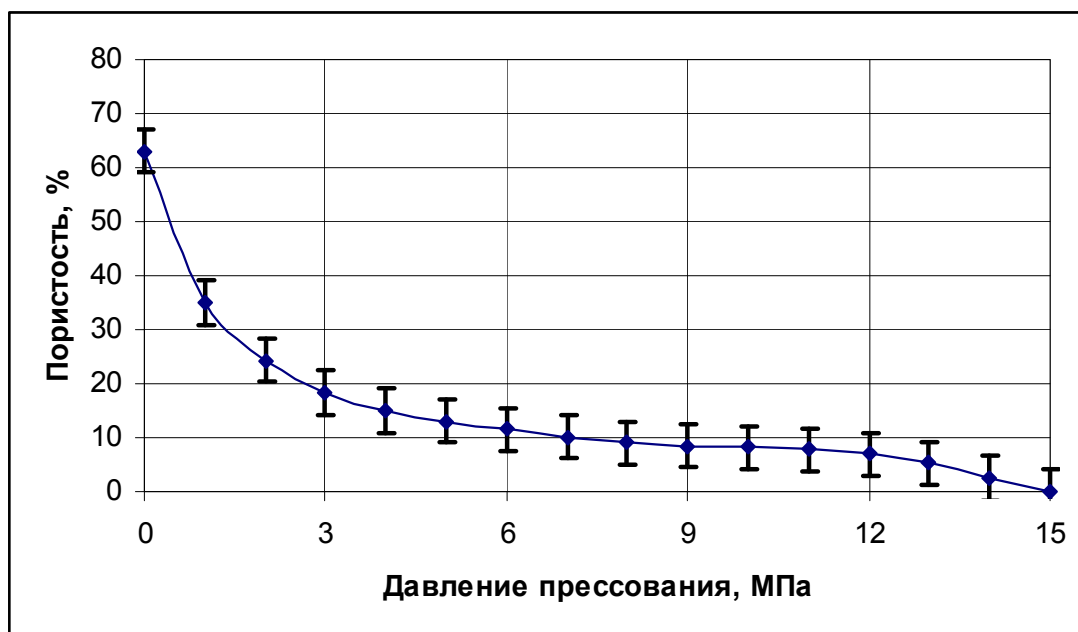


Рисунок 1 – Зависимость пористости от давления прессования

В процессе работы пары скольжения в зоне трения наблюдается унос смазывающего компонента композита. За счет снижения концентрации смазывающего компонента в зоне трения реализуется градиент его концентрации и обеспечиваются условия диффузии этого компонента из объема композита.

Уравнение переноса смазывающего компонента в зону трения за счет диффузии имеет вид

$$\frac{\partial C}{\partial \tau} = D \frac{\partial^2 C}{\partial x^2}, \quad (1)$$

где C – концентрация смазывающего компонента; D – коэффициент диффузии; x , τ – соответственно координата, перпендикулярная к поверхности трения, и время процесса.

Уравнение (1) записано для случая квазиплоской поверхности трения, имеющей большой радиус кривизны.

Краевые условия для уравнения (1) можно записать как

$$\tilde{N}|_{\tau=0} = \tilde{N}_0; \quad (2)$$

$$\left. \frac{\partial \tilde{N}}{\partial \tau} \right|_{\tau=0} = I; \quad (3)$$

$$\left. \frac{\partial \tilde{N}}{\partial \tau} \right|_{x=L} = V, \quad (4)$$

где C_0 , I – начальная концентрация и скорость уноса самосмазывающего компонента в зоне трения; V – скорость подачи самосмазывающего компонента на границе антифрикционного слоя толщиной L ($x = L$).

Условие (3) определяет скорость уноса самосмазывающего компонента в зоне трения в начальный момент времени, а условие (4) задает скорость подачи самосма-

зыхающего компонента в объем антифрикционного слоя из внешней среды.

Решение уравнения (1) с учетом условий (2), (3) и (4) имеет вид

$$C(x, t) = C_0 \cdot \left[1 - \frac{\left(1 - \frac{V}{I} \exp(-\alpha \cdot \tau - k \cdot L) \right) (1 - \exp(-2k \cdot x))}{1 - \exp(-2k \cdot L)} \right] \cdot \exp(-\alpha \cdot \tau + k \cdot x), \quad (5)$$

здесь $\alpha = \frac{I}{C_0}$; $K = \left(\frac{I}{C_0 \cdot D} \right)^{0,5}$.

В случае отсутствия подачи смазыхающего компонента в объем антифрикционного слоя ($V = 0$), уравнение (5) можно записать

$$C_\partial = C_0 \cdot \left[1 - \frac{1}{1 - \exp(-2k \cdot L)} \right] \cdot \exp(-\alpha \cdot \tau) \dots\dots\dots (6)$$

Концентрацию смазыхающего компонента в зоне трения определяют из решения (5)

$$C(0, \tau) = C_0 \cdot \exp(-\alpha \cdot \tau). \quad (7)$$

При отсутствии внешнего восполнения смазыхающего компонента, концентрация смазыхающего компонента на границе $x = L$ будет изменяться по закону:

$$C(L, \tau) = C_0 \cdot \exp(-\alpha \cdot \tau + k \cdot L). \quad (8)$$

Разделив уравнение (8) на уравнение (7), получают соотношение, устанавливающее соответствие между концентрациями смазыхающего компонента на внешней поверхности и в зоне трения:

$$\frac{C(L, \tau)}{C(0, \tau)} = \exp(k \cdot L). \quad (9)$$

Работоспособность пары трения обеспечивается концентрацией смазыхающего компонента в зоне трения не менее допустимой величины C_∂ . В этом случае из уравнения (5) время работоспособности пары трения определяется:

$$\tau = \ln \left(\frac{C_\partial \cdot (1 - \exp(-k \cdot L))}{C_0 \cdot \exp(-k \cdot L)} \right)^{-1/\alpha} \quad (10)$$

Для обеспечения заданной концентрации смазыхающего компонента в зоне трения необходимо получить материал с определенным коэффициентом диффузии, который можно регулировать заданием определенного уровня пористости. На рис. 2 показана зависимость коэффициента диффузии от диаметра пор.

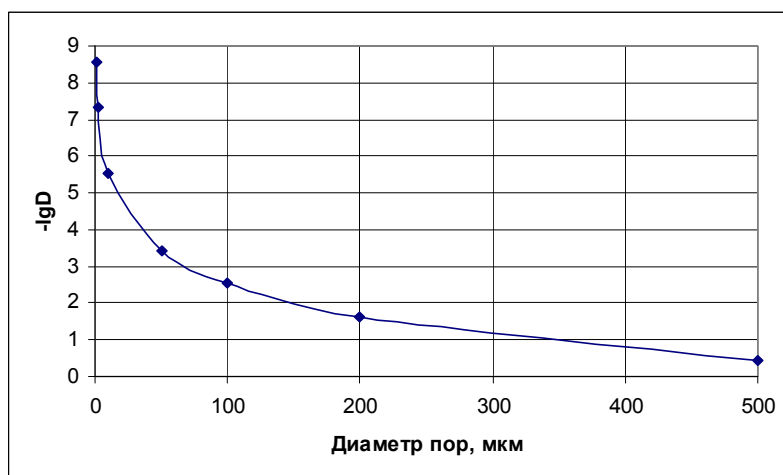


Рисунок 2 – Зависимость коэффициента диффузии от диаметра пор

Учитывая данные (см. рис.2) из соотношения (12) несложно вычислить время работоспособности пары трения. На рис. 3 представлена зависимость времени работоспособности от диаметра пор с размером до 500 мкм.

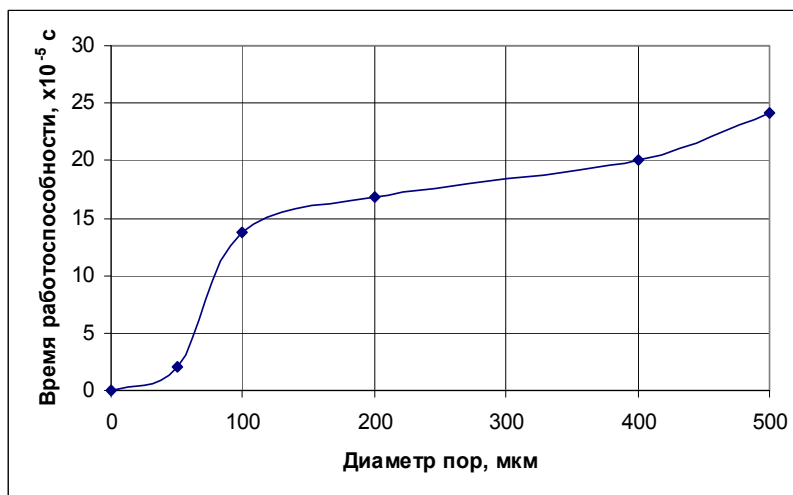


Рисунок 3 – Зависимость времени работоспособности пары трения от диаметра пор

Заключение. Описаны особенности формирования структурно- механических свойств многокомпонентных композиционных материалов на основе алюминийсодержащих компонентов, обеспечивающих доставку самосмазывающего компонента в зону трения. Получены зависимости коэффициента диффузии и времени работоспособности пары трения антифрикционного материала от диаметра пор.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Курганова Ю. А. Исследование механических свойств композиционных материалов на основе алюминиевых сплавов / Ю. А. Курганова, Н. В. Губанова // Сб. научных трудов Всероссийского Совещания «Прогрессивные технологии и оборудование при обработке материалов давлением». – Ульяновск, 2007. – С. 52-55.
2. Металлические порошки и порошковые материалы: справочник / Б. Н. Бабич, Е. В. Вершинина, В. А. Глебов [и др.]; под ред. Ю. В. Левинского. – М.: ЭКОМЕТ, 2005. – 520 с.

Стаття надійшла до редакції 22.12.2009 р.
Рецензент, проф. Б.П. Середа