

свойства покрытий, но, с другой, они будут иметь невысокую текучесть, что затруднит их подачу в питатель плазмотрона, и поэтому необходимо будет проводить их конгломерацию с применением органических связующих. Также при обработке в механореакторе протекают механически активируемые превращения – формирование новой фазы – Al_2TiO_5 ; имеет место рост плотности дислокаций (на порядок – с 10^8 до 10^9) и их упорядочение (хаотическое распределение в смешанном порошке и упорядоченное – по границам блочной структуры в механически легированном), что вызывает уменьшение размера ОКР до $240 \pm 15,561 \text{ \AA}$; а также увеличению параметров решетки фазы $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$: $a = 4,761991 \text{ \AA}$ и $b = 13,01613 \text{ \AA}$.

В покрытии, полученным плазменным напылением металлизированного методом механического легирования термонейтрального порошка исходного состава 78 % Al_2O_3 – 12 % TiO_2 – 10 % Ni протекают термически активируемые превращения, обусловленные нагревом порошка в плазменной струе, заключающиеся: в полиморфном превращении низкотемпературной модификации $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$ в высокотемпературную $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ с последующей ее стабилизацией в результате протекания процессов подобных закалке вследствие быстрого охлаждения, обусловленного малым размером зерен и субзерен; в образовании интерметаллидной фазы $\text{Ni}_3(\text{Al,Ti})$. Кроме того, процесс напыления вызывает увеличение (практически в 4 раза) плотности дислокаций ($4,2974 \cdot 10^9 \text{ см}^{-2}$), упорядоченное расположение которых (по границам блоков и субзерен) приводит к уменьшению размеров ОКР практически в два раза с $240 \pm 15,561 \text{ \AA}$ в порошке до $137 \pm 3,75 \text{ \AA}$ в покрытии.

Структура покрытия характеризуется наличием тонких, как правило, менее 50 нм, прослоек никеля, упрочненного наноразмерными включениями интерметаллида $\text{Ni}_3(\text{Al,Ti})$, окаймляющих зерна оксидов, поперечное сечение которых не превышает 1 мкм. В продольном сечении частицы оксидов диаметром менее 10 мкм имеют форму, близкую к равноосной.

УДК 621.891

ТРИБОТЕХНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА МАКРОГЕТЕРОГЕННЫХ КОМПОЗИТОВ В ПРИСУТСТВИИ СМАЗКИ, МОДИФИЦИРОВАННОЙ УЛЬТРАДИСПЕРСНЫМИ АЛМАЗАМИ

А.С. Калиниченко¹, д-р техн. наук, В.И Жорник², канд. техн. наук,

В.А. Калиниченко¹, канд. техн. наук

¹Белорусский национальный технический университет

²Объединенный институт машиностроения НАН Беларуси

(г. Минск, Республика Беларусь)

Введение. Гетерогенная структура материала позволяет достигать для широкого спектра его эксплуатационных характеристик высокого уровня, обу-

словленного различными степенями микро– и макрогетерогенности. Применительно к материалам триботехнического назначения речь идет о получении материалов с оптимальным сочетанием физико–механических, триботехнических, теплофизических, демпфирующих и других свойств. Структура литых макрогетерогенных композиционных материалов (ЛМКМ) на макроуровне представляет собой упрочняющие элементы, равномерно распределенные в матрице. Эффективным методом повышения триботехнических свойств материалов является их приработка в среде смазки, содержащей ультрадисперсные твердые компоненты. При этом в ходе так называемого трибомеханического модифицирования в поверхностных слоях элементов пар трения формируются износостойкие ячеистые структуры. Целью работы является исследование работоспособности ЛМКМ при работе со смазкой, содержащей твердые наноразмерные добавки.

Методика исследования. В качестве объекта исследования выбраны ЛМКМ на основе кремний–марганцевой бронзы, армированной чугунными гранулами. Исследования проводились на трибометрах МТВП–9М и МТ–2, работающих по схеме возвратно–поступательного перемещения образца. Материал контртела – закаленная сталь 45 микротвердостью $H_{\mu} = 4500–5000$ МПа. Сравнительные испытания материалов проводились в режиме граничного трения в присутствии жидких смазочных материалов (моторное масло МС–20 и турбинное масло Тп–22с), пластичной смазки (LT8102 и УС–2) и сборочных паст (LT 8150, LT 8155 и ВНИИНП–225) стандартного состава и с наноразмерной алмазосодержащей добавкой УДАГ (АШ–А).

Результаты и обсуждение. При испытаниях в жидкой смазке установлено, что добавление шихты УДАГ к турбинному маслу Тп–22с приводит к резкому снижению силы трения, что проявляется в двухкратном уменьшении коэффициента трения покоя ($f_{mp.n} = 0,05$) и десятикратном снижении коэффициента трения движения ($f_{mp.d} = 0,0063$). Добавление шихты УДАГ к маслу МС–20 при испытаниях при температуре 25°С не приводит к значительному снижению коэффициента трения, так как повышенная вязкость масла МС–20 сама по себе обеспечивает высокую несущую способность масляной пленки. Однако при нагреве до температуры 60°С для масла, модифицированного УДАГ, происходит последовательное снижение коэффициентов трения до $f_{mp.n.} = 0,06$ и $f_{mp.дв.} = 0,007$. Задир появляется только при разогреве смазки свыше 90°С. В целом, добавление шихты УДАГ к маслу приводит к двукратному уменьшению коэффициента трения покоя и пятикратному снижению коэффициента трения движения. Кроме того, происходит выглаживание поверхности трения, снижение ее шероховатости, поверхности хорошо прирабатываются. Интенсивность изнашивания композитов при использовании модифицированной жидкой смазки МС–20 составляет $I = (3,5–9,7) \cdot 10^{-9}$.

Модифицирование исследованных пластичных смазочных материалов и паст ультрадисперсной алмазно–графитовой шихтой интенсифицирует процесс приработки фрикционной пары. Введение небольшого количества УДАГ (до $C_a = 0,5–1,5$ мас.%) приводит к снижению коэффициента трения и интенсив-

ности изнашивания на стадии установившегося трения, а дальнейшее повышение концентрации добавки вызывает увеличение этих показателей, причем с повышением вязкости смазочного материала оптимальное содержание в нем добавки сдвигается в область меньших значений концентрации УДАГ. Так например, при $p = 35$ МПа и $V = 0,02$ м/с минимальные значения коэффициента трения для пластичной смазки LT8102 составляет $f = 0,097$ при $C_a = 1,5$ мас.%, для пасты LT8155 – $f = 0,084$ при $C_a = 1,0$ мас.% и для пасты LT8191 – $f = 0,075$ при $C_a = 0,5$ мас.%. Добавление УДАГ в смазку повышает ее вязкость, в частности, для пасты LT8155 при увеличении концентрации шихты УДАГ с $C_a = 0$ до $C_a = 2,5$ мас.% показатель пенетрации возрастает с 289 ед. до 304 ед. Сначала повышение параметров вязкости смазки способствует увеличению несущей способности смазочного слоя, а затем после превышения определенного уровня повышенная вязкость смазки начинает отрицательно сказываться на сплошности смазочного слоя. Это влечет за собой появление непосредственного контакта трущихся поверхностей и, как следствие, повышение коэффициента трения и интенсивности изнашивания.

УДК 621.762, 621.793

ПРОЦЕССЫ СТРУКТУРООБРАЗОВАНИЯ ПРИ ДИФФУЗИОННОМ БОРИРОВАНИИ ЧАСТИЦ БЕЛОГО ДОЭВТЕКТИЧЕСКОГО ЧУГУНА

Е.Ф. Пантелеенко, канд. техн. наук
Белорусский национальный технический университет
(г.Минск, Республика Беларусь)

Введение. Метод диффузионного легирования как способ получения самораспадающихся порошков на основе железных сплавов известен давно [1, 2]. Однако, процессы структурообразования до сих пор подробно не изучены. В данной работе представлены результаты исследования процессов, происходящих при борировании микрочастиц размерами 200–630 мкм из доэвтектического белого чугуна (2,7 – 3% С), что представляет особый интерес, так как структура частиц неравновесная и при ХТО происходят одновременно два процесса: графитизация и диффузионное насыщение поверхности бором.

Результаты и их обсуждение.

Частицы характеризуются степенью сферичности 56 .. 62%. Поверхность гладкая, без трещин, структура 5–10% частиц характеризуется дефектностью – присутствуют поры, трещины, пустоты. На поверхности ~ 20% частиц присутствует оксидная оболочка.

Установлено, что диффузионные процессы по интенсивности их протекания во времени можно разделить на три стадии: начальной, умеренной и интенсивной (аномальной) диффузии.