

К преимуществам разработанной технологии следует отнести то, что она позволяет быстро выполнять изменения в производстве; не требует сложного оборудования; снижает, по сравнению с традиционными методами, расход электрической энергии более чем в 2 раза и трудоемкость изготовления форм в 3–10 раз; дает возможность гальванику 2-го разряда заменить фрезеровщика, токаря, слесаря 5–6 разрядов; обеспечивает полный контроль в процессе осаждения и может быть использована на большинстве предприятий Беларуси и стран СНГ, имеющих гальванические производства. Необходимо отметить, что предложенное гальваническое производство является экологически чистым. Отработанный хлористый электролит железнения после фильтрации утилизировали путем введения в него концентрированной серной кислоты. В результате получали железный купорос, который можно использовать в сельском хозяйстве в качестве инсектицида.

УДК 621.891.2

ТРИБОТЕХНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ С МАКРОГЕТЕРОГЕННОЙ СТРУКТУРОЙ

В. И. ЖОРНИК, В. А. КУКАРЕКО

Институт механики и надежности машин НАНБ

А. С. КАЛИНИЧЕНКО, В. Я. КЕЗИК

Белорусский национальный технический университет

Литые композиционные материалы с макрогетерогенной структурой (ЛМКМ) находят все более широкое применение в узлах трения. Узлы трения, в которых в настоящее время используются разработанные ЛМКМ, работают при удельных нагрузках до 10 МПа и невысоких скоростях скольжения (до 0,5 м/с) с применением как пластичных, так и жидких смазок. При этих условиях наиболее вероятно установление граничного режима трения или даже проявление режима сухого трения в случае, если пополнять смазку в процессе работы невозможно.

Целью данной работы является изучение влияния материала матрицы, характера термообработки армирующих элементов ЛМКМ, а также модифицирования смазочных материалов ультрадисперсными частицами синтетического углерода на триботехнические свойства пар трения из ЛМКМ.

Исследование триботехнических свойств проводилось на образцах, изготовленных из ЛМКМ с бронзовой матрицей различного состава и термообработанных чугунами ДЧЛ или гранулами износоустойчивого чугуна ИЧХ22. Для сравнения испытывались образцы из закаленной стали 45, чугуна СЧ-20, литых бронз БРОЦС5-5-5 и БрОФ10-1. Триботехнические испытания проводились на модернизированном лабораторном трибометре МТВП-9м, работающем по схеме возвратно-поступательного перемещения образца. Испытания проводились при нагрузках от 0,8 до 8 МПа с максимальной скоростью 0,1 м/с, при изменении температуры в зоне трения в диапазоне от 20 до 90 °С. Контртело изготавливалось из закаленной стали 45 (твердость HRC 47).

В качестве смазочного материала использовались солидол УС-2 (ГОСТ 1033-76), масло турбинное Тп-22 (ГОСТ 9972-74) и масло моторное МС-20С (ГОСТ 9320-60). Смазочные материалы применялись как в чистом виде, так и с их модифицированием алмазографитовой шихтой УДАГ-СП (ТУ РБ 28619110.001-95). При использовании пластичной смазки ее нанесение осуществлялось однократно. Коэффициент трения измерялся в процессе испытаний, интенсивность изнашивания определялась на основе убывания массы образцов.

Для анализа полученных результатов разработанные композиционные материалы с макрогетерогенной структурой можно разбить на три группы: 1) ЛМКМ с быстрозакаленными чугунами упрочняющими гранулами ДЧЛ и матрицей из низколегированных бронз БрКЗМц, БрК5,5, БрКЗМц5; 2) ЛМКМ с быстрозакаленными чугунами упрочняющими гранулами ДЧЛ и матрицей на основе высоколегированных или сложнелегированных бронз БрК5,5Мц7Ж4, БрКЗМц10, БрК5,5Мц14; 3) ЛМКМ с термообработанными (закалка и отжиг) чугунами упрочняющими гранулами ДЧЛ или износоустойчивыми чугунами упрочняющими гранулами ИЧХ22 с матрицей из бронзы БрКЗМц.

При сухом трении образцы из чугуна и бронз характеризовались значительной величиной интенсивности изнашивания для выбранных режимов испытаний. Для бронз она составляла примерно 5,1–7,5 мм/км при нагрузке 8 МПа и 1,8–2,0 мм/км при нагрузке 0,8 МПа, для чугуна СЧ-20 эта ве-

личина соответственно равнялась 109,8 и 14,7 мм/км. При нагрузке 8 МПа интенсивность изнашивания ЛМКМ 1-й группы соответствовала интенсивности изнашивания литых бронз БрОЦС5-5-5 и БрОФ10-1 и находилась в пределах 5,0–8,2 мм/км. С увеличением концентрации легирующих элементов в матрице интенсивность изнашивания ЛМКМ уменьшалась ($\epsilon = 0,4 \dots 1,5$ мм/км) за счет образования интерметаллидов на границе контакта фаз. Литые композиционные материалы, упрочненные термообработанными или износостойкими чугунами гранулами, при этих режимах испытаний имели интенсивность изнашивания $\epsilon = 0,035 \dots 0,048$ мм/км и в 6–7 раз превосходили по износостойкости закаленную сталь.

Уменьшение нагрузки до 2 МПа качественно изменило характер соотношения интенсивностей изнашивания образцов. Образцы из разработанных ЛМКМ превосходили по износостойкости стандартные литые бронзы не менее чем в 5–6 раз для низколегированных матриц и не менее чем в 10–20 раз для высоко- и сложнелегированных матриц. Интересно отметить, что при нагрузке 0,8 МПа интенсивность изнашивания ЛМКМ для всех трех групп выровнялась и оказалась меньше в 8–10 раз показателей для закаленной стали.

Исследования триботехнического поведения ЛМКМ в условиях граничного трения проводились при тех же нагрузках, что и при сухом трении ($P = 8$ МПа). При использовании пластичной смазки солидола УС-2 коэффициент трения покоя ($f_{тр.п}$) составлял 0,09, а коэффициент трения движения ($f_{тр.дв}$) – 0,061. В процессе испытаний было установлено, что через 1500 циклов наступает режим трения без смазки, приводящий к появлению задира. В то же время исследования показали, что введение в смазку высокодисперсных кластеров синтетического углерода, снижает интенсивность изнашивания поверхностей трения. При триботехнических испытаниях с использованием жидкой смазки было применено маловязкое турбинное масло Тп-22 и моторное масло МС-20С. При температуре испытаний 20 °С система характеризовалась коэффициентом трения покоя $f_{тр.п} = 0,093$ и коэффициентом трения движения $f_{тр.дв} = 0,077$. Добавка УДАГ-СП к турбинному маслу привела к резкому снижению силы трения, что проявилось в двукратном уменьшении коэффициента трения покоя и десятикратном снижении коэффициента трения движения ($f_{тр.п} = 0,05$, $f_{тр.дв} = 0,0063$). Вероятно, применение в качестве добавок высокодисперсных кластеров синтетического углерода, в частности ультрадисперсных алмазов (УДА), улучшает прирабатываемость поверхностей трения и повышает износостойкость рабочих поверхностей деталей в триботехническом сопряжении.

При исследовании влияния температурного режима на триботехнические свойства ЛМКМ с применением масла МС-20С установлено, что при температуре 20 °С коэффициенты трения покоя и движения составляют соответственно $f_{тр.п} = 0,031$ и $f_{тр.дв} = 0,0085$. При повышении температуры они начинают увеличиваться, особенно резкое их возрастание наблюдается в области температур 45–50 °С. Затем коэффициент трения несколько стабилизируется (при температуре 60 °С $f_{тр.п} = 0,128$, $f_{тр.дв} = 0,039$), а при температуре 70 °С из-за существенного уменьшения вязкости масла наблюдается задиры. Добавка шихты УДАГ к маслу МС-20С не приводит к значительному снижению коэффициента трения при 20 °С, так как масло обеспечивает высокую несущую способность при этой температуре. В то же время с повышением до температуры 60 °С для модифицированного УДАГ масла происходит последовательное снижение коэффициентов трения до $f_{тр.п} = 0,06$, $f_{тр.дв} = 0,007$. Задиры появляются только при разогреве смазки свыше 90 °С.

Проведенные исследования показали перспективность применения в трибосопряжениях новых композиционных материалов с макрогетерогенной структурой и модифицированных УДАГ смазочных материалов.

УДК 541.64.539.23

МЕТОДЫ ФОРМИРОВАНИЯ МНОГОСЛОЙНЫХ И КОМПОЗИЦИОННЫХ ПОЛИМЕРНЫХ ПОКРЫТИЙ В ВАКУУМЕ

В. П. КАЗАЧЕНКО

Белорусский государственный университет транспорта

Методы вакуумного осаждения полимерных слоев наиболее полно отвечают современным требованиям технологической и экологической чистоты производства материалов для высоких технологий, энерго- и ресурсосбережения, могут быть интегрированы в технологические процессы ма-