

УДК 501.22:621.763

Андрушевич А.А.¹, Калиниченко В.А.²

¹Белорусский государственный аграрный технический университет, г.Минск, Республика Беларусь

²Белорусский национальный технический университет, г.Минск, Республика Беларусь

ЛИТЫЕ КОМПОЗИЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ РАБОТЫ В ЭКСТРЕМАЛЬНЫХ УСЛОВИЯХ ЭКСПЛУАТАЦИИ

В статье приведены данные о литых композиционных материалах с макрогетерогенной структурой повышенной износостойкости для высоконагруженных узлов трения, работающих в тяжелых условиях эксплуатации. Представлен ряд аспектов применения данных изделий.

Ключевые слова: литые композиционные материалы, макрогетерогенная структура, износостойкость, энергетические машины, узлы трения.

Введение. Повышение износостойкости поверхностей деталей в узлах трения является одной из приоритетных задач машиностроения. Для решения данной задачи целесообразно переходить на управление технологическим процессом формирования структуры на микро- и наноуровнях. Представляет научный интерес применения таких технологий для управления структурой композиционных материалов с макрогетерогенной структурой, получаемых литейной технологией (твердожидким синтезом). Данные материалы показали высокие эксплуатационные свойства при использовании в тяжело нагруженных узлах трения энергетических машин, ряда мобильных помп для перекачки воды из открытых водоемов и т.д. [1, 2]. В силу особенностей структуры и состава эти композиционные материалы показали наиболее эффективное применение при относительно низких скоростях движения в узлах трения с высокой удельной нагрузкой [3]. Наибольшую нагрузку несут поверхностные слои, поэтому для повышения ресурса деталей важно обеспечить высокую износостойкость поверхностных слоев. Было изучено влияние модифицированных смазок и установлено их положительное влияние [4]. Однако, разработанные материалы интересны и для условий отсутствия смазки, что происходит при аварийных состояниях, а так же специфических условиях эксплуатации (например, высокие температуры, водяные суспензии, наличие абразивов). Поэтому необходимо разрабатывать методы повышения износостойкости поверхностных слоев материалов с макрогетерогенной структурой.

Основная часть. Разнообразие режимов эксплуатации узлов трения требует создания триботехнических материалов, наиболее эффективных для

применения в конкретных условиях. При эксплуатации машин и оборудования важную роль играет снижение расходов на техническое обслуживание, плановые и текущие ремонты [4]. Одним из методов их уменьшения является повышение надежности узлов и агрегатов. В узлах трения данный аспект может быть решен с помощью выхода эксплуатационных свойств материала в режим «безизносного трения», для реализации такого эффекта наиболее предпочтительно – идеальное выполнение принципа Шарпи [5]. Литые композиционные материалы (ЛКМ) с матрицами на основе медных сплавов и армирующими чугунами гранулами максимально приближены к заявленному принципу. За счет введения в металлическую матрицу высокопрочных и высококомодульных гранул удается резко повысить прочность, жаропрочность, вязкость, трещиностойкость материалов. Сочетание матрицы и гранул, обладающих специальными физическими свойствами, открывает широкие возможности для создания новых уникальных композиционных материалов, что дает возможность эксплуатировать сельскохозяйственные и энергетические машины в тяжелых условиях, включая режимы сухого трения.

Армированные ЛКМ относятся к числу наиболее перспективных конструкционных материалов. В настоящее время хорошо развиты теоретические основы механики армированных композиционных материалов, существенные успехи достигнуты в материаловедении. Однако имеется еще много проблем, связанных с выбором оптимальной технологии, обеспечивающей достижение на практике предсказываемых теорией свойств композитов, управления межфазным взаимодействием для повышения стабильности структуры и свойств ЛКМ, разработкой новых видов армирующих элементов, позволяющих поднять уровень эксплуатационных характеристик композита [5].

Композиционные материалы на основе меди разрабатывают, главным образом, триботехнического назначения, так как они обладают повышенными механическими свойствами. Для макрогоетерогенных композиционных материалов, применяемых в узлах трения, важную роль имеет состав матрицы и армирующего элемента. По результатам ранее проведенных испытаний наиболее эффективно использование безоловянистых бронз. Среди них, особое значение в качестве основы играют кремнистые бронзы (содержание кремния до 3,5 %). Наибольшее распространение получили бронзы, дополнительно легированные никелем и марганцем, которые улучшают механические и коррозионные свойства. В кремнемарганцевой бронзе БрКМцЗ-1 добавка 1,0...1,5 % марганца практически полностью находится в α -твердом растворе, поэтому полуфабрикаты из этого сплава упрочняющей термической обработке не подвергаются. Бронза БрКН1-3 относится к числу термически упрочняемых сплавов, в которых никель с кремнием образуют силицид Ni_2Si с растворимостью, резко уменьшающейся с понижением температуры. Силицид кремния определяет упрочнение бронзы при старении (450°C, 1 час) после закалки с 850°C. Бронзы БрКМцЗ-1 и БрКН1-3 отличаются высокими пружинными и антифрикционными свойствами, а также хорошей коррозионной стойкостью. Бронзы технологичны: деформируются в горячем и холод-

ном состояниях, свариваются с другими бронзами и сталью, паяются мягкими и твердыми припоями.

По результатам проведенного обзора, кроме применения в композициях бронз типа БрКЗМц, была использована бронза типа БрБ2 с бериллием, обладающая более низкой температурой плавления, отсутствием при ударном воздействии искры, с практически аналогичными механическими свойствами [6]. Высокая прочность и упругость, при одновременно повышенной химической стойкости, хорошая обрабатываемость резанием и свариваемость делает бериллиевую бронзу подходящей основой ЛКМ при производстве деталей ответственного назначения.

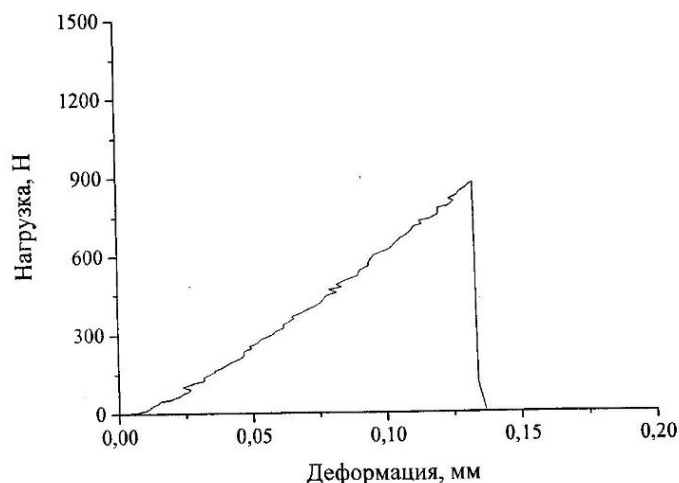
При изготовлении (литье и термическая обработка) деталей узлов трения из литых композиционных материалов на основе литых гранул чугунов марки ДЛЧ с матрицей из бронзы БрКЗМц1 установлено образование массивной прослойки интерметаллида (200-500 мкм). При таких толщинах этот интерметаллид должен разрушаться уже при минимальных динамических нагрузках. Однако в действительности этого не происходит. С появлением данного интерметаллида можно связать высокую износостойкость этого ЛКМ в различных условиях по сравнению с другими материалами подобного типа. Он уже применяется для тяжело нагруженных пар трения, в различных областях промышленности [4].

Следующим этапом был проведен анализ армирующего элемента составляющего тело ЛКМ. Если в качестве армирующего элемента, в основном, используется чугунная дробь марки ДЛЧ диаметром порядка 1 мм, то в отношении состава матрицы имеется широкий спектр подходящих материалов, которые удовлетворяют поставленной задаче (повышенная прочность на сжатие, низкий коэффициент трения и высокая износостойкость). Однако прочностные характеристики дроби, во многом определяют срок службы и работоспособность изделия из ЛКМ.

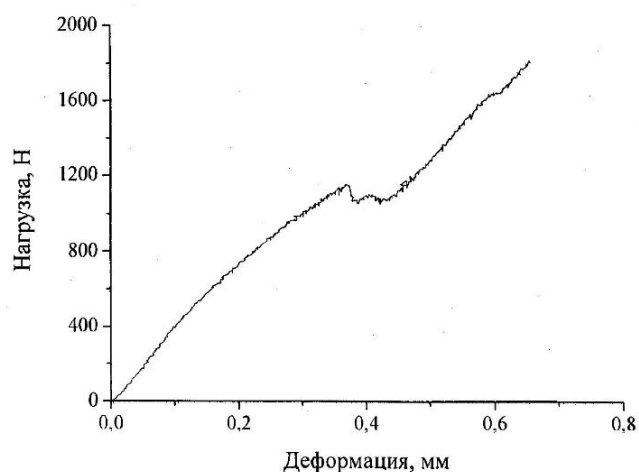
Для прогнозирования свойств синтезируемых материалов оценивались прочностные свойства дроби ДЛЧ, поставляемой заводом производителем и такой же дроби термически обработанной по методике, разработанной в Белорусском национальном техническом университете. Исследования на прочность при сжатии проводились по 10 образцам (дробь диаметром 1 мм), и показали практически одинаковую картину разрушения (рисунок 1).

Дробь с заводской закалкой полностью разрушилась (раскололась) при нагрузке в 90 кг, в то время как обработанная дробь выдерживала нагрузку около 120 кг. После чего начинала пластически деформироваться. Данные исследования показали, что процесс термической обработки дроби принципиален при использовании ее в трибоэлементах.

Были проведены сравнительные триботехнические испытания образцов макрогоетерогенных литых композиционных материалов различных типов, таких как, упрочненный лазерной закалкой, получаемый по стандартной технологии термического синтеза и синтезированный методом индукционного нагрева композиционных материалов.



а



б

Рисунок 1. Диаграммы нагружения чугуновой дроби на сжатие:
 а - необработанная дробь, б - термически обработанная дробь

Испытания проводились при трении по испытываемому образцу из литого композиционного материала стержня, изготовленного из стали У8, совершающего как вращательное, так и возвратно - поступательное движение. Скорость вращения стержня составляла 37 об/мин, нагрузка на стержень – 3500 г, время испытания – 1 час. Было выявлено, что потеря массы образцов напрямую зависит от способа их получения. Наиболее высокий результат был получен у ЛКМ, полученного по стандартной технологии, далее - образец, полученный высокоэнергетическим воздействием и последний - образец, подвергнутый лазерному упрочнению. Благодаря особенностям и высоким механическим свойствам композиции (общий износ пары трения – не более 0,1 мм/ км пути; коэффициент трения со смазкой – 0,04 - 0,06; удельное давление – до 100 кг/см²; электрохимическая стойкость при работе с ответной парой трения) данный тип материалов может эксплуатироваться в ряде агрессивных сред с высокой запылённостью, повышенной температурой или влажностью и др., где использование аналогичных материалов не представляется возможным. Температура эксплуатации изделий составляет до 500 °С.

Из разработанных материалов изготавливаются изделия практически любой геометрической формы и размера, включая биметаллические заготовки, например, направляющие различного назначения, червячные колеса, втулки, подшипники скольжения. На рисунке 2 приведены полученные изделия из литых композиционных материалов на основе бронз БрКЗМц1, БрБ2.

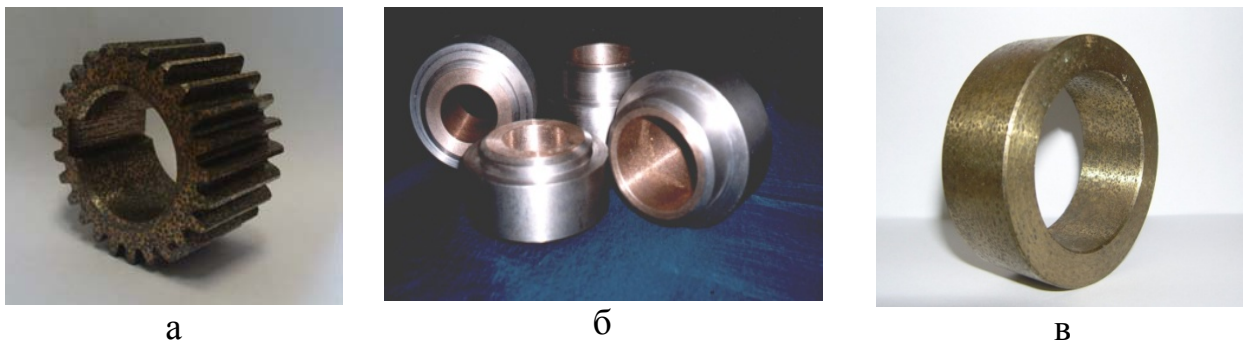


Рисунок 2. Изделия из литых композиционных материалов
а) – шестерня, б) – биметаллическая втулка, в) – композиционная втулка для мобильной насосной станции

Заключение. Рассмотрены особенности получения литых композиционных материалов на основе меди с макронеоднородной структурой, высокой износостойкости для работы в высоконагруженных узлах трения с невысокими линейными скоростями. Из разработанных материалов можно изготавливать изделия практически любой геометрической формы и размеров, включая биметаллические детали, предназначенные для использования в узлах трения сельскохозяйственных и энергетических машин.

Список использованных источников:

1. Kalinichenko A.S. Structure of surface layers of metal matrix composites / A.S. Kalinichenko, V.Ya. Kezik, H.W. Bergmann, V.A.Kalinitchenko // *Materialswissenschaft und Werkstofftechnik*. – 1999. – V.30. – P. 136–144.
2. Калиниченко А.С. Опыт применения композиционных материалов с макронеоднородной структурой для нормализации тепломеханического состояния паровых турбин / А.С. Калиниченко, Ю.В. Кобзарь, Е.О. Воронов // *Энергетика – Изв. Вузов и энерг. объединений СНГ*. – 2013. – №3. С. 79–86.
3. Калиниченко А.С. Формирование структуры поверхностного объема литых макронеоднородных композиционных материалов в условиях низкоскоростного трения без смазки / А.С. Калиниченко, В.Я. Кезик, Р.К. Иванова // *Литье и металлургия*. – 2003. – №2. – С. 118–123.
4. Витязь П.А. Применение макронеоднородных композитов и модификация смазочных материалов для модернизации тяжело-нагруженных узлов трения / П.А. Витязь, А.С. Калиниченко, В.И. Жорник, В.А. Кукареко // *Ремонт, восстановление, модернизация*. – 2010. – № 11. – С. 2–9.
5. Тучинский Л.И. Композиционные материалы, получаемые методом пропитки. - М.: Металлургия., 1986. – 208 с.
6. Гуляев А.П. Металловедение, изд.6-е, М.: Металлургия, 1986. – 546 с.