

Рисунок 6 – Регулирование давления в зависимости от касательной силы тяги F_k

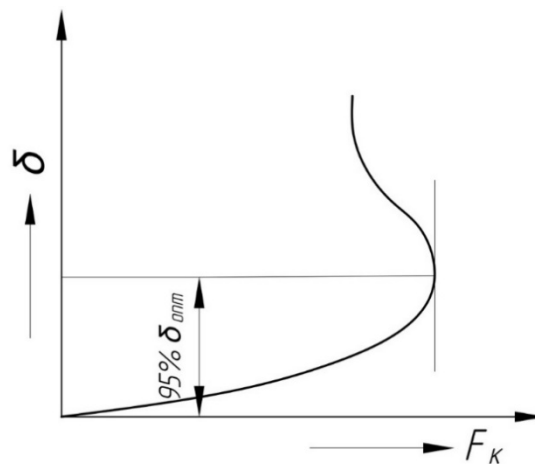


Рисунок 7 – Регулирование давления воздуха в шине в зависимости от буксования δ

При реализации этой системы регулирования требуются создания клапанов с пропускной способностью снижения давления от максимального до минимального в течение 1,0-1,5 с.

Электронное устройство должно реагировать на датчики движущей F_k силы или буксования (рисунок 8).



Рисунок 8 – Блок-схема электронного устройства

В результате выполненных исследований можно сделать вывод, что создание системы автоматического регулирования давления воздуха в шинах тракторов семейства «БЕЛАРУС» должно дать значительный экономический эффект за счет рационального использования мощности двигателя и снижения расхода топлива, а также работы трактора на грунтах со слабой несущей способностью, в частности, на торфяниках и переувлажненных грунтовых поверхностях.

УДК 501.22:621.763

КОМПОЗИЦИОННЫЕ МАКРОГЕТЕРОГЕННЫЕ МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ РАБОТЫ В ТЯЖЕЛОНАГРУЖЕННЫХ ПАРАХ ТРЕНИЯ

Калиниченко В.А.

Белорусский национальный технический университет

Повышение износостойкости поверхностей деталей в узлах трения является одной из приоритетных задач машиностроения. Для решения данной задачи целесообразно переходить к использованию новых перспективных материалов включая композиционные. Известно много технологий создания композиционных материалов таких как порошковая металлургия, лазерная наплавка, адгезивные технологии, а также литейное производство. У последней технологии есть большие перспективы, связанные с невысокой стоимостью технологического оборудования и оснастки по сравнению с другими способами. В НИИЛ ПТФ разработаны композиционные материалы с макрогетероген-

ной структурой на основе матрицы из сплавов меди, армированные железобетонными гранулами. Данный тип материалов применяется для тяжело нагруженных пар трения, применяемых в различных областях промышленности.

Технико-экономические показатели по результатам испытаний и освоения показывают, что применение предлагаемых материалов и технологии их изготовления обеспечивает снижение стоимости изделий по сравнению с деталями, получаемыми порошковой металлургией, на 40-100% за счет применения литейной технологии и возможности применения вторичных сплавов при обеспечении высоких физико-механических свойств.

Повышение износостойкости поверхностей деталей в узлах трения является одной из приоритетных задач машиностроения. Разнообразие режимов эксплуатации узлов трения требует создание 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 [1, 2]. 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 выполнения принципа Шарпи [3]. Литые композиционные материалы (КМ) с матрицами на основе медных сплавов и армирующими чугунами гранулами максимально приближены к заявленному принципу [3]. За счет введения в металлическую матрицу высокопрочных и высоко модульных гранул удается резко повысить прочность, жаропрочность, трещиностойкость, вязкость, жесткость 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 литые КМ 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 КМ, разработкой новых видов армирующих элементов, позволяющих поднять уровень эксплуатационных характеристик композита [3].

Композиционные материалы на основе меди разрабатывают, главным образом, триботехнического назначения, так как они обладают повышенными механическими свойствами. Для макронеоднородных композиционных материалов, применяемых в узлах трения, важную роль имеет состав матрицы и армирующего элемента. Если в качестве армирующего элемента, в основном, используется литые гранулы стали ШХ15 или литейная 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). 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 ($450^{\circ}C$, 1 час) после закалки с $850^{\circ}C$. Бронзы БрКМц3-1 и БрКН1-3 отличаются высокими пружинными и антифрикционными свойствами, а также хорошей коррозионной стойкостью. Бронзы технологичны: деформируются в горячем и холодном 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 [3]. Высокая прочность и упругость, при одновременно повышенной химической стойкости, хорошая обрабатываемость резанием и свариваемость делает бериллиевую бронзу подходящей основой КМ при производстве деталей ответственного назначения.

При изготовлении (литье и термическая обработка) деталей узлов трения из литых КМ на основе литых гранул чугунов марки ДЛЧ с матрицей из бронзы БрКЗМц1 установлено образование массивной прослойки интерметаллида ($200-500\mu m$). 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 КМ в различных условиях по сравнению с другими материалами подобного типа. Он уже применяется для тяжело нагруженных пар трения, в различных областях промышленности [3].

Следующим этапом был проведен анализ армирующего элемента, составляющего тело КМ. Для макрогетерогенных композиционных материалов, применяемых в узлах трения, важную роль имеет состав матрицы и армирующего элемента. Если в качестве армирующего элемента, в основном, используются литые гранулы чугуна 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 дробы, во многом определяют срок службы и работоспособность изделия из ЛКМ.

Для прогнозирования свойств синтезируемых материалов было принято решение об оценке прочностных свойств дробы ДЛЧ поставляемой заводом производителем и такой же дробы термически обработанной по методике, разработанной на базе БНТУ. Исследования на прочность при сжатии проводились по 10 образцам (дробина диаметром 1 мм), и показали практически одинаковую картину разрушения.

Из разработанных материалов могут изготавливаться изделия практически любой геометрической формы и размера, включая биметаллические заготовки, например, направляющие различного назначения, червячные колеса, втулки, подшипники скольжения. На рис. 1 приведены полученные изделия из композиционных материалов на основе бронз БрКЗМц1, БрБ2.

Благодаря особенностям и высоким механическим свойствам композиции (общий износ пары трения – не более $0,1\text{ мм/ км}$ пути; коэффициент трения со смазкой – $0,04-0,06$; удельное давление – до 100 кг/см^2 ; электрохимическая стойкость при работе с ответной парой трения) данный тип материалов может эксплуатироваться в ряде агрессивных сред с высокой запыленностью, повышенной температурой или влажностью и др., где использование аналогичных материалов не представляется возможным. Температура эксплуатации изделий составляет до $500^{\circ}C$.



Рисунок 1 – Образцы применения композиционных материалов:
а – шестерня, *б* – биметаллическая втулка, *в* – композиционная втулка

Разработанные композиционные материалы были использованы для изготовления линейных подшипников скольжения при ремонте турбоагрегатов типа Т-250, К-300, ТК-330, Т-100, Т-180, ПТ-65 для нормализации тепломеханического состояния турбоагрегата (пластины под поверхности скольжения корпусов подшипников турбины, продольные и поперечные шпонки, самоустанавливающиеся опоры под лапы ЦСД), а также для замены подшипников качения в системах парораспределения. При этом для нужд энергетики композиционный материал должен обладать следующими свойствами: общий износ пары трения – не более 0,1 мм; пробег за срок службы с учетом долговечности – 2000 м; коэффициент трения со смазкой– 0,04-0,06; удельное давление – до 100 кг/см²; температура эксплуатации – до 350°С; электрохимическая стойкость при работе с ответной парой трения. Разработки внедрены на Минских ТЭЦ-3, ТЭЦ-4 и ТЭЦ-5, Лукомльской ГРЭС, Новополоцкой ТЭЦ-2 и других тепловых станциях Республики Беларусь используются для реконструкции турбинных агрегатов ОАО «БелЭнергоРемНаладка». Разработанные материалы использованы при ремонте и реконструкции более 20 турбоагрегатов.

Шестерни из композиционного материала были применены в качестве червячных пар на ОАО «Бобруйский завод Автогидроусилитель» и других предприятиях Республики и стран Евросоюза (например, NEST Baltija Каунас, Литва).

Список использованных источников

1. Kalinichenko A.S., Kezik V.Ya., Bergmann H.W., Kalinitchenko V.A. Structure of surface layers of metal matrix composites // *Materialswissenschaft und Werkstofftechnik*, 1999. – V. 30. – Pp. 136-144.
2. Витязь П.А., Калиниченко А.С., Жорник В.И., Кукареко В.А. Применение макрогетерогенных композитов и модификация смазочных материалов для модернизации тяжело нагруженных узлов трения // *Ремонт, восстановление, модернизация*, 2010. – № 11. – С. 2-9.
3. Тучинский Л.И. Композиционные материалы, получаемые методом пропитки. – М.: Металлургия, 1986. – 208 с.

УДК 621.88; 669.53.01.99

СПОСОБ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ДЕТАЛЕЙ, КОНСТРУКЦИЙ В КОМПОЗИЦИИ МЕТАЛЛ-МЕТАЛЛ, МЕТАЛЛ-ПОРИСТОЕ ТЕЛО-МЕТАЛЛ, МЕТАЛЛ-ПЛАСТИК, ПЛАСТИК-ПЛАСТИК С ПОМОЩЬЮ ПРОЦЕССА СКЛЕИВАНИЯ АДГЕЗИВАМИ

Калиниченко М.Л., Долгий Л.П.

Белорусский национальный технический университет

Создание конструкционных изделий из трудно скрепляемых материалов, различных по модулю упругости и жесткости является весьма трудоемким, энергоемким и наукоемким процессом. Поэтому снижение затрат для создания ответственных узлов