

Розроблена криогенна технологія механо-хімічного легування для отримання ультрадисперсних металополімерних композицій, що використовуються як присадки при виробництві нових змащувальних матеріалів з поліпшеними антифрикційними і противоюзносними характеристиками

Ключові слова: криогенна технологія, механохімія, легування, ультрадисперсні композиції, металополімери, змазка, присадки

Разработана криогенная технология механохимического легирования для получения ультрадисперсных металлополимерных композиций, использующихся в качестве присадок при производстве новых смазочных материалов с улучшенными антифрикционными и противоюзносными характеристиками

Ключевые слова: криогенная технология, механохимия, легирование, ультрадисперсные композиции, металлополимеры, смазка, присадки

Cryogenic technology of mechano-chemical alloy addition for producing ultra-disperse metal-polymeric compositions, which are used as additives in producing new lubricants with improved antifriction and antiwear properties has been developed

Key words: Cryogenic technology, mechanochemistry, alloy addition, ultra-disperse compositions, metal polymers, lubricant, additives

КРИОГЕННАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ПРОИЗВОДСТВА УЛЬТРАДИСПЕРСНЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ ДОБАВОК К СМАЗОЧНЫМ МАТЕРИАЛАМ

О. В. Кравченко

Кандидат технических наук, старший научный сотрудник, заведующий отделом*

И. Г. Суворова

Доктор технических наук, профессор, ведущий научный сотрудник*

Контактный тел.: (0572) 95-96-07

E-mail: sig@ipmach.kharkov.ua

В. И. Момот

Ведущий инженер*

Д. А. Велигоцкий

Аспирант*

*Отдел нетрадиционных энерготехнологий
Институт проблем машиностроения им. А.Н. Подгорного НАН
Украины

ул. Дм. Пожарского, 2/10, г. Харьков, Украина, 61046

Контактный тел.: (0572) 94-27-34

E-mail: krav@ipmach.kharkov.ua

1. Введение

Совершенствование техники на современном этапе идет по пути увеличения допустимых эксплуатационных нагрузок, что в свою очередь предъявляет подчас предельные требования к узлам и механизмам трения.

Статистика показывает, что более 80 % машин и механизмов выходят из строя в результате износа деталей, работающих на трение: подшипники, зубчатые колеса, детали уплотнителей, муфты, шлицевые соединения, скользящие направляющие и т.д. Известно, что износ находится в прямой зависимости от скоростей, нагрузок, мощностей и режимов эксплуатации трущихся деталей. В связи с этим, многие отрасли техники столкнулись с серьезной проблемой – материалы старого типа себя исчерпали. Детали, изготовленные из таких материалов, не отвечают требованиям надежности и долговечности. Изготовление машин и агрегатов из нового класса металлов, керамики и

композиций на их основе во многом способствуют решению этой проблемы.

Основная проблема, общая для всех областей техники – это снижение трения, и как следствие, уменьшение энергозатрат, повышение надежности и долговечности машин, механизмов, аппаратов и приборов. Повышение надежности машин повышает безопасность работы, увеличивает межремонтные и эксплуатационные сроки.

Одним из путей решения вышеперечисленных задач является существенное улучшение потребительских свойств существующих смазочных материалов путем введения в состав жидких и консистентных смазок ультрадисперсных композиционных добавок. Технологии получения таких добавок, в том числе металлополимерных, будут существенно влиять на их потребительские качества.

Применение технологий криогенной обработки материалов [1 – 6] позволили авторам разработать и создать экспериментальную установку по производству

ультрадисперсных металлополимерных композиционных добавок и кавитационной гомогенизации [7] конечных смазочных материалов.

Новым направлением в технологии криогенного ультрадисперсного измельчения является механохимическое легирование. Технология механохимического легирования заключается в механической обработке смеси порошкообразных компонентов в высокоскоростных атриторах. При этом разрываются пленки оксидов, гидроксидов, карбонатов, покрывающие поверхность металлических частиц, и открываются чистые участки на частицах металлов, которые активно взаимодействуют друг с другом и с другими компонентами смеси. Происходит так называемая холодная сварка частиц с образованием композиционных агрегатов. При механохимическом легировании в отличие от простого перемешивания порошкообразных частиц протекают процессы физического (контактного) и химического взаимодействия между компонентами. В общем виде процесс механохимического легирования сводится к фундаментальному структурному и морфологическому преобразованию компонентов порошковой смеси, сопровождающемуся при определенных сочетаниях компонентов фазовыми превращениями. Преимуществом процесса механохимического легирования по сравнению с механическим смешиванием является структурное изменение частиц исходных порошков, которые в процессе их совместной обработки в высокоскоростных криоатриторах – деформируются, разрушаются и схватываются, что невозможно при обычном механическом смешивании. Приготовленные таким образом композиционные порошки представляют собой однородные по составу, практически не расслаивающиеся материалы, причем, даже если они состоят из не взаимодействующих между собой компонентов.

2. Криогенный атритор

Атритор – высокоэнергетический измельчительный помольный агрегат для механохимического полупромышленного измельчения мелющими шарами различных материалов (с твердостью до 10 единиц по шкале Мооса), как в сухом, так и мокром виде.

Преимущество атритора перед шаровой мельницей заключается в низком потреблении энергии при более высокой производительности, особенно при тонком измельчении материалов, более энергоемком воздействии на измельчаемый материал. Низкое потребление энергии достигается благодаря тому, что в атриторах отпадает необходимость вращения корпуса самого измельчительного аппарата, как это делается в шаровых мельницах. Почти вся подводимая энергия используется непосредственно на процесс измельчения. Неподвижность корпуса атритора обеспечивает более надежный режим работы аппарата, облегчает контроль температуры в зоне измельчения, отбор проб и другие операции. Принцип работы атритора заключается в следующем – размалывающие тела (стальные шары) и измельчаемый материал находятся в цилиндрическом сосуде и приводятся во вращение в горизонтальной или вертикальной плоскости посредством мешалки (эмпиллера), равномерность измельчения

достигается за счет ударного или сдвигового воздействия шаров на материал. В отличие от барабанных мельниц, в атриторах используют более мелкие размалывающие шары, вследствие чего активная поверхность шаровой нагрузки увеличивается.

Атриторы различаются по производительности и потребляемой мощности привода (от лабораторных - с объемом рабочей камеры 1 л, до полупромышленного - с объемом 100 – 200 л). Они делятся по объемам рабочих камер на три группы: микроатриторы – с объемом помольной камеры от 100 до 1000 см³ для проведения диспергирования малых образцов (предназначены для тонких физико-химических анализов в аналитических лабораториях); среднего класса – с объемом от 1 до 100 л (предназначены для работы малых и средних производств); полупромышленные – с объемом помольной камеры свыше 100 л (используются для серийных полупромышленных производств).

Использование атриторов с помольными камерами свыше 300 л не целесообразно, т.к. их работа связана с высоким расходом электроэнергии, трудностью загрузки и выгрузки измельчаемого материала и др.

Атриторы для сухого помола исходных материалов могут производить измельчение, как в атмосферной среде, так и среде различных газов (при необходимости исключения окисления, либо возгорания); для мокрого помола исходных материалов (с целью интенсификации процесса измельчения) в различных жидкостях, не допускающих химического воздействия с исходным материалом, либо в специальных составах, растворителях для проведения совместного механохимического синтеза.

Существуют два основных вида конструктивных исполнений атриторов – с горизонтальным и вертикальным расположением помольной камеры. Вращение мелющих шаров осуществляется при помощи эмпиллеров (мешалок): штыревых, лопастных, винтовых и т.п., привод которых, в свою очередь, производится через редуктор, либо напрямую от электропривода.

Атриторы для сухого помола оснащены системой циклонов с сепарирующими устройствами и фильтрами; для мокрого помола с непрерывным режимом работы – может содержать гидравлический пост с замкнутой системой циркуляции рабочей жидкости с классифицирующим устройством.

Основными параметрами для определения режимов измельчения на атриторах являются:

- форма и объем помольной камеры;
- конструктивное исполнение эмпиллеров;
- количество и размер мелющих шаров;
- коэффициент заполнения мелющими шарами;
- коэффициент заполнения измельчаемого материала;
- время помола;
- механизм разрушения измельчаемого (удар или сдвиговые деформации).

Для тонкого и сверхтонкого измельчения различных материалов в атриторе определяющим является выбор мелющих тел, а именно: размер мелющих шаров (их диаметр) и материал, из которого они изготовлены (сталь, твердые сплавы, цветные металлы, керамика). При требованиях получения порошковых материалов с заданными свойствами, для исключения намола инородного материала, немаловажным является подбор

и изготовление всех поверхностей помольной камеры атриторов (футеровки) и шаров из того же материала. Например, если материал – медь, то шары, эмпиллер, корпус – медные.

Криоатритор предназначен для тонкого и сверхтонкого измельчения широкого класса материалов любого класса твердости (от 0 до 10 единиц по шкале Мооса) в среде газообразного или жидкого азота (77 К).

Используя особенности поведения материалов при охлаждении, предложены эффективные методы криодиспергирования, а именно измельчение при низких температурах. Это позволяет снизить энергозатраты на измельчение и даёт возможность получить в мелкодисперсном состоянии материалы, не подвергающиеся измельчению при комнатной температуре. Кроме того, жидкий азот, используемый в качестве хладагента, обладает большой теплоёмкостью и поглощает теплоту измельчения. Испарившийся холодный азот инертен по отношению к измельчаемому материалу, нетоксичен и экологически безопасен.

Криогенные атриторы оснащены автоматической системой поддержания необходимого уровня жидкого азота в помольной камере, который подается из стационарного сосуда Дьюара, а испарение газообразного азота из помольной камеры осуществляется через фильтр в атмосферу.

3. Лабораторный стенд низкотемпературного диспергирования

В отделе нетрадиционных технологий ИПМаш НАН Украины на базе криогенного атритора создан лабораторный стенд низкотемпературного диспергирования в диапазоне размера частиц 0,5 – 2,0 мкм сухих композиций из металлополимеров.

К основным преимуществам созданного криогенного атритора можно отнести следующие:

- жидкий азот дает возможность диспергировать широкий класс материалов, которые невозможно измельчать в обычных атриторах до заданной дисперсности (менее 2 мкм);

- вязкость жидкого азота в 6,5 раз меньше, чем у воды и позволяет значительно ускорить процесс оседания крупных частиц в зону дальнейшего разрушения;

- низкая температура кипения азота 77 К позволяет производить охрупчивание и создание дополнительных напряжений в исходном материале, что облегчает процесс разрушения, а так же полностью снимает все тепловыделения возникающие при измельчении;

- жидкий азот, проникающий в микротрещины материала, вызывает расклинивающее действие (самоизмельчение);

- жидкий азот – нейтральный газ, не токсичен, не взрывоопасен. Готовый материал в пульпообразном виде может быть слит в герметичную емкость с обратным клапаном, что исключает контакт с атмосферой.

Авторами был усовершенствован криогенный атритор, содержащий две помольные камеры $V = 0,5$ и $9,0$ л из стали 12Х18НКТ, привод с двигателем постоянного тока мощностью 1 кВт и частотой вращения 1000 мин⁻¹, систему питания электродвигателя, пульт управления с контролем величин токовой нагрузки и подаваемого напряжения.

Азотная система обеспечения работы криогенного атритора содержит автоматическую систему подачи жидкого азота из сосуда Дьюара в помольную камеру атритора (с помощью металлорукавов) с обратной связью по токовой нагрузке электродвигателя. Мелющие шары диаметром 2,5 – 6 мм сделаны из стали ШХ15 с $HR_c = 64$. Дополнительные изоляционные прокладки, устанавливаемые на корпусе криогенного атритора при сухом помоле, позволяют предотвратить утечку статического заряда, образуемого в результате измельчения и устранить агрегирование и налипание частиц материала на мелющие поверхности шаров и стенки помольной камеры.

Общий вид и схема экспериментальной лабораторной установки при сухом измельчении показаны на рис. 1– 2.



Рис. 1. Общий вид экспериментальной лабораторной установки для сухого криогенного измельчения

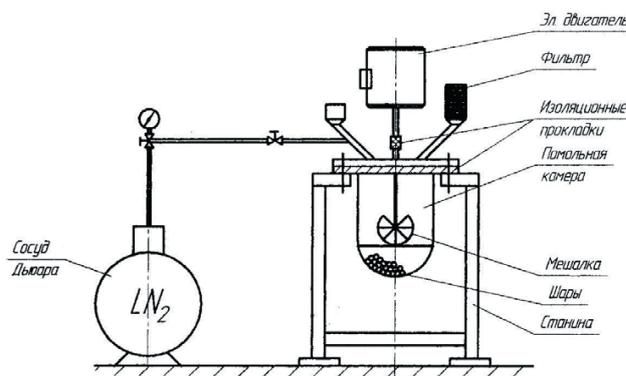


Рис. 2. Схема экспериментальной лабораторной установки при сухом измельчении

На созданной лабораторной экспериментальной установке было проведено криогенное измельчение и гомогенизация сухих присадок к смазочным материалам. В качестве основных ингредиентов разрабатываемых добавок были выбраны фторопласт (Ф-4) и графит (С).

Для получения композиционных порошков на основе механохимически легированных ультрадисперсных твёрдых присадок с размерами частиц 0,5 – 2 мкм важно оптимизировать технологические параметры измельчения и гомогенизации.

Операция гомогенизации основных ингредиентов графита (С) и фторопласта (Ф-4) производится отдельно для каждого состава в определенной пропорции на кри-

огенном аттриторе при определённых технологических параметрах. В процессе механохимической активации на криогенном аттриторе многокомпонентные составы твёрдых порошков приобретают специфические свойства, необходимые для приготовления в дальнейшем на их основе присадок для жидких и консистентных масел.

4. Триботехнические испытания

На основе стандартного масла и порошковых металлополимерных композиций методом кавитационной гомогенизации в специальном роторно-пульсационном аппарате получены суспензионные смазки. Сравнительные испытания полученных смазочных суспензий (образцы под номерами № 1,2,3,4,5) (табл. 1) и базового масла ТАД – 17 (ТУ 38 101 306-72, образец № 6) на противоизносные свойства проводились по экспресс-методу на машине трения ПТЛК в лаборатории трибоиспытаний Национального авиационного университета (г. Киев). Это позволило оценить противоизносные свойства полученных смазочных материалов и базового масла с учетом особенностей вторичных структур (ВС).

Методика предусматривала четыре этапа испытаний: первые три (краткосрочные) этапа трения, которые обеспечивали наработку ВС, характерную для испытываемого масла. На четвертом (последнем) этапе – более продолжительной, выполняется корректная оценка эксплуатационных триботехнических свойств с учетом наличия ранее наработанных ВС во времени. На краткосрочных этапах величина износа стабилизируется, что свидетельствует об образовании квазистабильных ВС и оптимальной микрогеометрии рабочих поверхностей. Полученные таким образом ВС на последнем этапе испытаний отражают трибологические свойства масел в эксплуатационных условиях.

Результаты проведенных лабораторных испытаний образцов смазок на их противоизносные свойства приведены в табл. 1.

Таблица 1

Средние значения величин износа

Добавки к базовому маслу (ТАД-17)	Величина износа J, мкм			С учетом сформировавшихся ВС	Суммарный износ, мкм
	Периоды формирования вторичных структур (ВС)				
1 – ТАД-17 + Ф-4М (7%)	3,5	3,83	7,3	10,2	24,83
2 – ТАД-17 + Ф -4М+ MoS ₂	4,0	3,5	7,0	12,3	36,8
3 – ТАД-17 + Ф - 4М + органическая добавка	1,5	6,5	3,5	9,8	21,3
4 – ТАД-17 + CaF + органическая добавка	0,75	0,9	1,0	15,0	17,65
5 – ТАД-17 + CaF (7%)	3,8	4,0	5,0	13,0	25,8
6 – ТАД-17	27	22	12	20	81

Под «органической добавкой» подразумевается смазочная композиция, разработанная авторами проекта и являющаяся ноу-хау ИПМаш НАН Украины.

На рис. 3 представлены зависимости средних величин износа поверхностей от пути трения. Номера на графике соответствуют номерам смазок в табл. 1. Показано что, созданные образцы смазок превосходят по противоизносным характеристикам базовое масло ТАД-17.

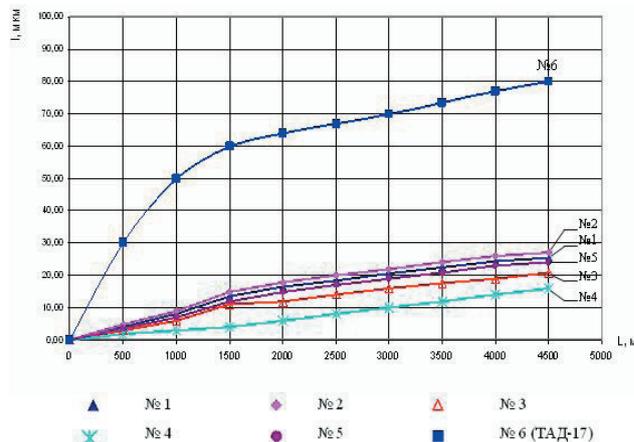


Рис. 3. Зависимости износа от пути трения

Особенное внимание необходимо уделить смазке под № 3. Интенсивность износа при ее использовании значительно меньше в начальных трех периодах испытаний (наработки ВС), а угол наклона прямой в четвертом периоде испытаний, характеризующий скорость износа во времени, меньше чем у базового масла, что подтверждает хорошие эксплуатационные противоизносные показатели.

Композиционные добавки в масла (КДМ) не вступают с маслами в реакцию и не изменяют их свойств, улучшая при этом свойства поверхностного слоя трущихся пар, не растворяются в воде, кислотах, щелочах, углеводородах, инертны к действию реагентов, постоянно присутствующих в маслах и смазках. Образуемая из КДМ сверхскользящая плёнка, сохраняется под действием высоких механических нагрузок и факторов, присущих работе двигателей и механизмов. Процесс трения сверхскользящего «слоя по слою» практически не вызывает повышение температур. КДМ стабильно сохраняет свойства при длительном хранении.

Особенно эффективны КДМ для тяжело нагруженных агрегатов и узлов: судовых, тепловозных, автотракторных, других двигателей внутреннего сгорания, машин и механизмов горнодобывающей, обогащающей промышленности, турбин в энергетике, мельниц, компрессоров и насосов нефте-газо- и водоперекачивающих станций, порталных кранов, экскаваторов, бульдозеров, грейдеров, скреперов, тракторов, автомобилей, комбайнов, трамваев и троллейбусов, различных редукторов, трансмиссий, гидросистем, подшипников, деталей шлицевых соединений, цепных передач, рулевых управлений, ходовой части и др.

Выводы

Показаны возможности применения криогенной технологии механохимического легирования для получения ультрадисперсных металлополимерных

композиционных присадок к жидким и консистентным смазочным материалам с улучшенными антифрикционными и противоизносными характеристиками. Триботехнические испытания смазочных суспензий на основе масла ТАД-17 и полученных добавок показали их преимущества по сравнению с базовой смазкой.

Литература

1. Сергеев Г.Б. Криохимия / Г.Б. Сергеев, В.А. Батюк. – М.: Химия, 1979. – 345 с.2. Орехов И.И. Холод в процессах химической технологии / И.И. Орехов, В.Д. Обрезков. – Л.: Изд-во ЛГУ, 1980. – 216 с.

Наведено інформацію щодо розробленої на підприємстві ФДУП «ММПП «Салют» газотурбінних установок малої розмірності для застосування їх на різних об'єктах у якості джерела з виробництва електроенергії й тепла. Проведений порівняльний аналіз із закордонними зразками

Ключові слова: газотурбінний двигун, електроенергія, тепло, турбіна, компресор, пальник

Приведена информация о разработанной на предприятии ФГУП «ММПП «Салют» газотурбинных установок малой размерности для применения их на различных объектах в качестве источника по выработке электроэнергии и тепла. Проведен сравнительный анализ с зарубежными образцами

Ключевые слова: газотурбинный двигатель, электроэнергия, тепло, турбина, компрессор, горелка

The information about developed on factory FSUE «MMPP «Salute» gas-turbine plants of small dimensions of a quantity for their application on various installations as a source on a power production and heat is resulted. The comparative analysis with foreign specimens is lead

Key words. gas-turbine engine, electric power, warmly, turbine, compressor, torch

Энергетические установки (ЭУ) малой мощности (1...3 кВт) применяются для обеспечения бесперебойного электро- и теплоснабжения станций газодобычи, газоперекачки, радиорелейных систем связи, а также для непрерывного электропитания системы катодной защиты трубопроводов газовых магистралей. Для обогрева помещения с аппаратурой используется тепло отработанных в двигателе газов.

В настоящее время в качестве автономного источника электро- и теплоснабжения радиолокационных станций (РЛС), систем связи ОАО «Газпром» и ОАО «Ростелеком» применяются замкнутые паротурбинные энергетические установки (ЗПТЭУ) элект-

3. Беляков В.П. Криогенная техника и технология – М.: Энергоиздат, 1982. – 367 с.
4. Москалец М. Криохимия / М. Москалец, Г. Озин. – М.: Мир, 1972. – 289 с.
5. Осипов К.А. Аморфные и ультрадисперсные кристаллические материалы. – М.: Наука, 1972. – 269 с.
6. Усюткин И.П. Установки, машины и аппараты криогенной техники. – М.: Пищевая промышленность, 1976. – 199 с.
7. Кравченко О.В. Физико-химические преобразования углеводородных соединений с использованием новых кавитационных устройств //Авиационно-космическая техника и технология. Научно-технический журнал НАУ "ХАИ". – Харьков, 2007. – № 1 (37). – С. 65 – 69.

УДК 621.438.004.15

ПРИМЕНЕНИЕ МАЛОРАЗМЕРНЫХ ГТУ В СИСТЕМАХ ДЕЦЕНТРАЛИЗОВАННОГО ЭНЕРГОСНАБЖЕНИЯ

В.Е. Беляев

Доктор технических наук, профессор, академик РАН РФ, главный конструктор*

С.О. Беляева

Кандидат технических наук, доцент, начальник отдела газодинамики*

И.В. Трофимович

Аспирант, начальник бюро газодинамики*
*ФГУП «ММПП «Салют» (ОМКБ «Горизонт») пр. Буденного, 16, г. Москва, 105118
Контактный тел. 369-80-01

рической мощностью 0,4...2,1 кВт. Их производит в основном израильская фирма «Ормат» (Ormat Industries Ltd). Данные машины эксплуатируются в двухмодульном исполнении, что позволяет гарантировать высокую надежность этого источника электропитания в течение длительного времени с двухразовым годичным регламентом.

Рабочим телом израильской установки является толуол. Установка неприхотлива в эксплуатации, обладает самозапуском при нагреве от газовой горелки (рис. 1).

Основными недостатками ЭУ фирмы «Ормат» являются: