

ОБЕСПЕЧЕНИЕ ИЗНОСОСТОЙКОСТИ ЛЕПЕСТКОВ ГАЗОДИНАМИЧЕСКОГО ПОДШИПНИКА

Аннотация

Анализ причин отказов механизмов показывает, что их надежность и долговечность непосредственно зависит от сопротивления износу поверхностных слоев деталей, подверженных трению. Для подшипниковых узлов актуальной задачей является использование современных материалов, формирующих на поверхности контакта пар трения структуры, регулирующие трибологические свойства узла. Не менее важной задачей является разработка технологий нанесения таких защитных покрытий. В рамках исследования предложен метод модификации металлических поверхностей и создания многослойного покрытия, способного обеспечить повышенную износостойкость лепестков газодинамического подшипника, методом термодиффузионной обработки.

Ключевые слова: графен, методы нанесения, металлические поверхности, термодиффузия, износостойкость, газодинамический подшипник.

Введение

В связи с растущими требованиями к качеству, надежности и сроку службы современной техники, вопрос увеличения износостойкости деталей, работающих в условиях повышенных нагрузок и интенсивного трения, становится все более актуальным. Исследования показывают, что наибольшее количество отказов машин и механизмов связано с износом элементов пар трения. Особенно уязвимыми являются подшипниковые узлы.

Одним из наиболее перспективных способов увеличения срока службы таких деталей является формирование на их поверхностях прочных и стойких антифрикционных слоев. Это позволяет существенно повысить усталостную прочность и износостойкость основных материалов.

Толщина покрытия определяется следующими факторами: условиями работы узла трения, его функциональным назначением, преобладающим типом износа и допустимой величиной износа. Поэтому она может варьироваться от микронных долей для износостойких покрытий газодинамических подшипников скольжения до нескольких миллиметров при металлизации деталей в рамках восстановительного ремонта оборудования.

Методы и материалы

Лепестковые газодинамические опоры – это современный тип подшипников для энергетического оборудования, гарантирующий эффективное разделение контактирующих поверхностей при значительных частотах вращения ротора [1]. Тем не менее, в режимах пуска и останова, когда устойчивый газовый слой отсутствует, происходит интенсивное трение лепестков о вал. Для защиты пар

трения от износа на рабочие поверхности лепестков наносят антифрикционные материалы с малым коэффициентом трения и повышенной стойкостью к износу [1].

В представленной работе предложена технология получения на поверхности из сплава для упругих элементов газодинамического подшипника многослойного износостойкого покрытия методом термодиффузии.

В последние годы, благодаря прогрессу в нанотехнологиях, активно изучается получение и использование материалов на основе углерода для улучшения свойств трибоконтакта. Покрытия, содержащие наночастицы, обеспечивают повышенную износостойкость и прочность поверхностей, а также характеризуются низким коэффициентом трения. Использование таких материалов позволяет значительно увеличить срок службы деталей и механизмов, работающих в условиях трения [3].

Графен стал одним из самых изучаемых материалов благодаря своим уникальным свойствам, таким как высокая прочность, гибкость и проводимость. Эти характеристики делают его привлекательным для создания различных композитных материалов и для использования в области триботехники.

Графен был получен с помощью микромеханического расщепления графита. Данный способ получения графена именуется методом “отшелушивания” [4].

Для эффективного использования графена в качестве износостойкого покрытия необходимо его нанесение на различные подложки, специально подготовленные поверхности. Кремнесодержащие материалы часто используются в качестве подложек благодаря своей хорошей адгезии и механической прочности, что делает их идеальными кандидатами для поддержания функциональности графеновых структур. Подложка из диоксида кремния (SiO_2) служит изолирующим слоем, а кроме того, кремний играет роль затвора и позволяет управлять концентрацией носителей заряда в графене (рис. 1) [5].

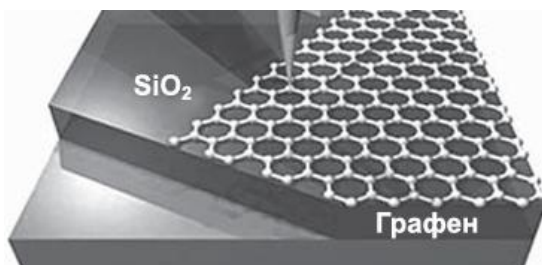


Рисунок 1 – Слой диоксида кремния и графеновый слой на поверхности детали

В качестве материала лепестков используются сплавы 36НХТЮ или 44НХТЮ, обладающие высокой износостойкостью, контактной прочностью и жаропрочностью [6]. Такие материалы, применяемые в узлах трения, работающих при повышенных температурах, дороги из-за высокого содержания легирующих элементов. В связи с этим возникает необходимость повышения как прочностных, так и антифрикционных свойств лепестковых газодинамических подшипников для продления срока службы.

Анализ публикаций, связанных с возможностью увеличения долговечности антифрикционных слоев газодинамических подшипников [7-9] показал, что на сегодняшний день отсутствуют достаточно надежные и недорогие технологии, позволяющие эффективно формировать или восстанавливать рабочие слои высоконагруженных лепестковых газодинамических подшипников.

Известно, что поверхностную обработку металлов с целью повышения износостойкости можно производить несколькими путями [10, 11]: 1) нанесением

защитного слоя или покрытия каким-либо из методов осаждения покрытий; 2) преобразованием поверхностного слоя металла химическим путем либо диффузионным насыщением поверхности, т. е. методами химико-термической обработки (ХТО), 3) новыми методами электронно-лучевой и лазерной закалки и другими, менее распространенными методами, например методом магнитно-электрического упрочнения.

Перспективным в этом отношении представляется термодиффузионная ХТО, которая позволяет существенно улучшить физико-химические характеристики поверхностных слоев. Тем не менее, применение ХТО для нанесения графеновых нанопокровов пока не получило широкого распространения. Для формирования графеновых покрытий необходимо предварительно нанести диоксид кремния на поверхность детали методом диффузионного силицирования. Однако, процесс силицирования для материалов лепестков газодинамических подшипников остается малоизученным. Немногочисленные исследования диффузионного силицирования (ДС) легированных сталей показали, что его промышленное применение может быть ограничено из-за сложностей в создании качественных, беспористых силицированных слоев с высокой адгезией [12].

Результаты и обсуждение

Химико-термической обработкой называется процесс поверхностного насыщения металлических и неметаллических материалов различными элементами путём их диффузии в атомарном состоянии из внешней среды при высокой температуре с целью придания ей соответствующих свойств. Благодаря простоте, доступности и высокой эффективности химико-термическая обработка получила наибольшее распространение как метод упрочнения поверхности деталей, повышения твердости, износостойкости, усталостной прочности и повышения стойкости против воздействия агрессивных сред и высоких температур. Она отличается от других видов термической обработки тем, что при этом процессе происходят изменения и химического состава, и микроструктуры, и физических свойств поверхностного слоя детали [13].

При применении ХТО износостойкое покрытие на металлические изделия наносят, поместив детали в герметичный контейнер с насыщающей смесью, который загружается в муфельную печь. Насыщающая смесь представляет собой порошкообразную субстанцию необходимого химического состава, чистоты и массы, составляющей определенное процентное соотношение от массы обрабатываемых деталей или от массы требуемого покрытия на поверхности обрабатываемых деталей. Указанная задача и технический результат обеспечиваются нагревом в муфельной печи до температуры в диапазоне от 350⁰С до 4500⁰С в течении времени, достаточного для диффузии насыщающего вещества на поверхность обрабатываемых изделий и образования защитного слоя заданной толщины [14].

Поскольку описываемый процесс относится к области технологий нанесения защитных износостойких покрытий из различных материалов, в том числе и для нанесения диффузионных кремнеевых покрытий на детали разнообразной конфигурации, то может найти применение в практике нанесения наноразмерных графеновых покрытий для узлов трения деталей энергетического и транспортного машиностроения.

В данной работе предлагается способ нанесения графенового покрытия, и подложки из оксида кремния методом термодиффузии. Он включает в себя следующие операции:

1. Перед нанесением покрытия поверхность детали тщательно очищают различными методами: следы смазывающих материалов удаляют при помощи специальных составов, для удаления следов коррозии и окалины можно применить пескоструйную или ультразвуковую чистку.

2. После очистки деталь необходимо взвесить, чтобы точно определить количество состава, с помощью которого и будет проведено нанесение кремниевого, а за тем и графенового, покрытия. Технология позволяет изменять количество смеси, которая наносится на обрабатываемую поверхность.

3. После этого деталь аккуратно помещается в специальную муфельную печь, где непосредственно и осуществляется термодиффузионное силицирование.

4. Температурный режим и среднее время процесса подбирают исходя от типа обрабатываемой детали, марки сплава, состава рабочей смеси и технических характеристик оборудования.

Деталь подвергается нагреву в течении времени диффузии кремния (графена) на обрабатываемую поверхность до образования заданной толщины покрытия.

5. Когда обработка будет завершена, деталь достают и очищают от остатков насыщающей смеси.

В результате обработки на поверхности детали образуется переходный слой, состоящий из основы в виде кристаллов исходного сплава и внедренных в межкристаллитную решетку соединений кремния. Это обеспечивает высокую прочность сцепления поверхностного слоя с подложкой и, как следствие, позволяет обеспечить прочность и непрерывность покрытия во всех направлениях (рис. 2а).

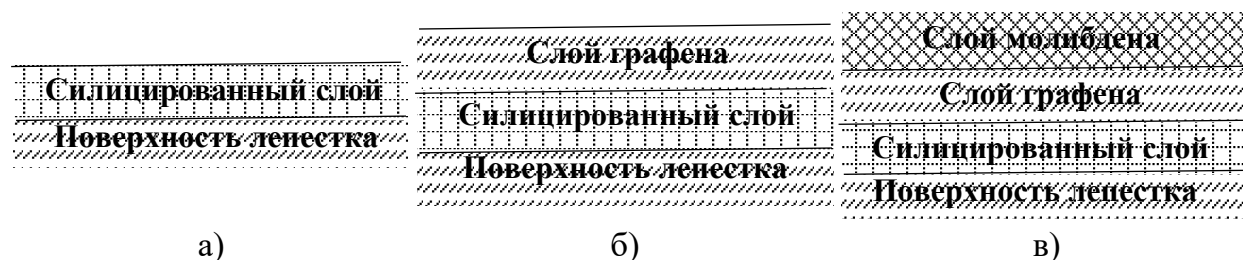


Рисунок 2 – Последовательность нанесения графенового покрытия и подложки для него:
а) переходный слой на поверхности детали, образующий подложку; б) графеновое покрытие на поверхности детали; в) завершающий слой молибдена износостойкого покрытия

6. Далее процесс повторяется в той же последовательности. Насыщающим веществом, образующим покрытие на поверхности детали, теперь будет порошкообразный графен. Количество слоев графена обуславливается требуемыми характеристиками покрытия (рис. 2б).

7. В качестве завершающего слоя покрытия необходимо нанести методом термодиффузии оксид молибдена на графеновый слой. В результате процесса атомы молибдена диффундируют в ячеистую структуру графена (рис. 2в), что должно предотвратить повышенный износ контртела при его трибоконтакте с более прочным и износостойким слоем графенового покрытия на поверхности лепестка [15].

Технология достаточно проста, но потребуются наличие специального оборудования.

Заключение

Очевидно, что упрочнение тонкого поверхностного слоя такой детали, как лепесток газодинамического подшипника, является новым прогрессивным направлением в технологии энергетического и транспортного машиностроения, так как позволяет экономить дорогостоящие легированные стали, цветные металлы и другие дефицитные материалы, повышать ресурс и надежность механизмов.

Предложенная технология нанесения износостойкого покрытия может помочь решить задачу, направленную на создание на изделии защитной пленки, характеризующейся высокой адгезией необходимыми прочностными свойствами. Результат, получаемый при использовании данной технологии, заключается в увеличении срока службы изделия за счет уменьшения его износа.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Евтух, Г.Е. Перспективные конструктивные решения для опор ротора центробежного нагнетателя / Новые технологии в газовой отрасли: опыт и преемственность. Тезисы докладов XII Молодежной международной научно-практической конференции. Москва. - 2024. - С. 85.
2. Шалыгин М.Г. Трибодиагностика подшипника компрессора газотурбинного агрегата / М.Г. Шалыгин, Е.С. Евтух, Г.Е. Евтух // Транспортное машиностроение. - 2024. - № 10 (34). - С. 12-17.
3. Елецкий, А. В. Механические свойства углеродных наноструктур и материалов на их основе // Успехи физ. наук. 2007. - Т. 177. - № 3. С. 233-274.
4. Novoselov K.S., Geim A.K., Morozov S., Jiang D., Zhang Y., Dubonos S., Grigorieva I., Firsov A. Electric field effect in atomically thin carbon films // Science.. - 2004. - V. 306. - N. 5696. - P. 666-669.
5. Wu Z.S., Ren W., Gao L., Zhao J., Chen Z., Liu B., Tang D., Yu B., Jiang C., Cheng H.-M. Synthesis of graphene sheets with high electrical conductivity and good thermal stability by hydrogen arc discharge exfoliation // ACS nano. – 2009. – V. 3. – N. 2. – P. 411–417.
6. Пономарев, Б.А. Проблемы создания ВГТД с ротором на газовых подшипниках / Б.А. Пономарев, В.В. Гаврилов // Вестник Самар. гос. аэрокосм. ун-та. - 2009 - № 1 (17). - С. 41-55.
7. Дрокин, В.В. Нагрузочные характеристики лепестковых радиальных подшипников турбомашин / В.В. Дрокин Г.А. Левина / Научно-технические ведомости СПбГПУ. - Наука и образование. - 2010. - №4(110). - С. 146-150.
8. Шалыгин М.Г. Износостойкость газодинамических подшипников компрессоров / М.Г. Шалыгин, Е.С. Евтух, Г.Е. Евтух // Строительные и дорожные машины. - 2023. - № 6. - С. 31-34.
9. Самсонов А. А., Расчёт осевых лепестковых газодинамических подшипников / А. А. Самсонов, А. И. Самсонов // Вологдинские чтения. - 2010. - №78. - С. 168-171.
10. Федонин, О.Н., Шалыгин, М.Г. Повышение коррозионной стойкости и износостойкости изделий транспортного и химического машиностроения // Научно-технические технологии в машиностроении. – 2020. – № 8 (110). – С. 3-10.
11. Шалыгин, М.Г. Теории трения, изнашивания, смазки: учебное пособие / М.Г. Шалыгин, Е.С. Евтух. - Курск: изд-во ЗАО «Университетская книга», 2024. - 123 с.
12. Ляхович Л. С. Силицирование сталей и сплавов / Л. С. Ляхович, Л.Г. Ворошнин, Э.Д. Щербаков, Г.Г. Панич. – Минск: Наука и техника, 1972. – 280 с.
13. Шалыгин, М.Г. Формирование структуры в поверхностном слое деталей машин методами высоковакуумного отжига и ионной имплантации // Научно-технические технологии в машиностроении. – 2016. – № 7 (61). – С. 10-13.
14. Паршев С.Н. Поверхностная прочность и изнашивание материалов узлов трения, учебное пособие /С.Н. Паршев, Н.Ю. Полозенко. – Волгоград, НИУНЛ, 2009.–56с.

15. Фундаментальные основы технологического обеспечения и повышения надежности изделий машиностроения /А.Г. Суслов, В.П. Федоров, М.Г. Шалыгин и др.; под общ. ред. А.Г. Суслова. – М.: Инновационное машиностроение, 2022 – 552 с. ISBN 978-5-907523-04-3

G.E. Evtukh¹, E.S. Evtukh¹
¹Bryansk State Technical University,
Bryansk, Russia, grishan32@mail.ru

ENSURING THE WEAR RESISTANCE OF THE LOBES OF THE GAS DYNAMIC BEARING

Abstract

An analysis of the causes of mechanical failures shows that their reliability and durability directly depend on the wear resistance of the surface layers of parts exposed to friction. For bearing assemblies, an urgent task is to use modern materials that form structures on the contact surface of the friction pairs that regulate the tribological properties of the assembly. An equally important task is the development of technologies for applying such protective coatings. As part of the study, a method of modifying metal surfaces and creating a multilayer coating capable of providing increased wear resistance of the lobes of a gas-dynamic bearing by thermal diffusion treatment is proposed.

Keywords: graphene, deposition methods, metal surfaces, thermal diffusion, wear resistance, gas dynamic bearing.