

управления свойствами получаемых покрытий, а именно: уменьшить дендридообразование, увеличить блеск, получить сглаженную поверхность осаждаемого металла.

В данном исследовании установлено, что вариация параметров импульсного тока позволяет получать качественные блестящие покрытия сплавом железо-никель с различным содержанием компонентов в сплаве. При этом с ростом плотности тока в импульсе твердость покрытий увеличивается. Кроме того, на рост твердости покрытия оказывает влияние длительность времени паузы. Это может быть обусловлено образованием на поверхности катода большего числа новых кристаллических зародышей. Если же увеличивать время импульса, то это приводит к уменьшению твердости. Все эти факторы в первую очередь связаны с кинетикой катодного процесса электрокристаллизации и составом получаемого сплава.

Показано, что с ростом времени импульса наблюдается существенное увеличение выхода по току сплава с 20 до почти 90% при паузе в 2 мс. Высокое перенапряжение разряда ионов железа и никеля обуславливает увеличение выхода по току сплава с ростом времени импульса при постоянной паузе 2 мс.

При этом наблюдается уменьшение содержания никеля в сплаве. Это позволяет сделать вывод, что увеличение твердости покрытий обусловлено ростом содержания железа в сплаве. Содержание железа в сплаве также растет с увеличением плотности тока в импульсе.

УДК 621.833; 669.056.9 : 629.118.6

А.С. Калиниченко¹, А.Р. Цыганов¹, В.Л. Басинюк²

¹Белорусский государственный технологический университет

²Объединенный институт машиностроения НАН Беларуси
Минск, Беларусь

ПРИМЕНЕНИЕ НОВЫХ МАТЕРИАЛОВ В МАШИНОСТРОЕНИИ

Аннотация. В работе рассмотрены некоторые вопросы применения наноструктурных материалов в узлах трения для повышения надежности работы подшипников скольжения, а также высокоэнтропийных сплавов, характеризующихся уникальным сочетанием прочностных и пластических свойств.

A.S. Kalinichenko¹, A.R. Tsyganov¹, V.L. Basinyuk²

¹Belarusian State Technological University

²Joint Institute of Mechanical Engineering of NAS of Belarus
Minsk, Belarus

APPLICATION OF NEW MATERIALS IN MECHANICAL ENGINEERING

***Abstract.** The paper discusses some issues of the use of nanostructured materials in friction units to improve the reliability of sliding bearings, as well as high-entropy alloys characterized by a unique combination of strength and plastic properties.*

Современное развитие машиностроения требует создание новых материалов для снижения веса изделий, повышение надежности работы узлов и механизмов в экстремальных условиях работы. Поскольку машиностроение характеризуется широким разнообразием производимой продукции, то и видов материалов, применяемых в производстве, насчитывает большое разнообразие как неметаллических материалов, так и на основе черных и цветных металлов.

Существенные успехи достигнуты в области разработки полимерных композиционных материалов [1]. В тоже время, основную долю в машиностроении, по-прежнему, занимают металлы и сплавы на их основе, поэтому рассмотрим некоторые особенности создания новых материалов, в том числе, наноструктурированных.

Одним из приоритетных направлений развития современного машиностроения является повышение ресурса работы машин и снижение потерь на трение, что обеспечивает повышение конкурентоспособности продукции. Для реализации этих задач, как правило, используется комплексный подход на основе технически обоснованного использования функционально ориентированных, в том числе наноструктурных, материалов. Интерес к наноматериалам обусловлен возможностью значительного модифицирования и даже принципиального изменения свойств известных материалов при переходе в нанокристаллическое состояние. Традиционные методы повышения физико-механических и триботехнических свойств машиностроительных материалов, включающие различные приемы химико-термической, электрофизической и деформационной обработок и обеспечивающие формирование структуры материала с размерами элементов в микронном диапазоне, в определенной степени достигли своего предела. Резерв повышения свойств

машиностроительных материалов состоит в целенаправленном формировании в них наноразмерной структуры [2].

Одним из перспективных направлений применения наноструктурированных покрытия являются подшипники скольжения. В тоже время в ряде случаев, при использовании пар трения скольжения возникают более высокие, по сравнению с подшипниками качения, потери на трение. Кроме того, повышается вероятность возникновения ситуаций, при которых возникает заедание трущихся поверхностей. В первую очередь, эти проблемы имеют существенное значение при применении подшипников скольжения в прецизионном оборудовании, которое функционирует при стабилизированных по температуре и влажности внешних условиях. Сюда же можно отнести и мехатронные системы. Применение наночастиц позволило существенно снизить объемный износ поверхностей трения [3].

При скоростях вращения $10...18 \text{ об}^{-1}$ и высоких требованиях к жесткости подшипникового узла и плавности его функционирования практически к безальтернативному варианту исполнения подшипниковых узлов можно отнести использование подшипников скольжения с композиционными антифрикционными покрытиями, работающих при линейных скоростях скольжения $8...10 \text{ м/с}$. В парах трения скольжения на основе современных, в том числе наноструктурированных, композиционных материалов скорости скольжения и давления при смазке могут достигать 20 м/с и $6-8 \text{ МПа}$ соответственно при коэффициенте трения равным $0,004\div 0,006$. С учетом этого, диаметры подшипников скольжения могут быть достаточно большими, что позволяет достигнуть требуемой сверхвысокой точности механической обработки и нанометрическую шероховатость обрабатываемой поверхности. Значительный интерес представляет использование алюминиевых сплавов при изготовлении электрошпинделей с позиций улучшения их динамических свойств, включая повышение собственных частот механических колебаний для предотвращения резонансов, и теплообмена при работе электрошпинделя с принудительным охлаждением его основных компонентов. Это позволяет минимизировать, по сравнению со стальным шпинделем, массу вала и улучшить теплообмен при его охлаждении. При реализации вакуумного напыления толщина покрытия, как правило, незначительна (не превышает $0,01$ толщины керамического элемента), а это может приводить к «продавливанию» слоя при значительных давлениях. Была предложена базовая технологическая схема, в рамках которой изготавливались образцы а из сплава алюминия, на которых анодно-катодной микродуговой

обработкой (МДО) формировалось покрытие толщиной 90-110 мкм, служащее в последующем в качестве подложки. Такая толщина МДО-покрытия исключает «продавливание» опорной поверхности и возникновение заедания при попадании абразивных частиц. Необходимо отметить наличие развитой топографии поверхности МДО-покрытия. Развитая топография поверхности будет способствовать повышению адгезии с ней плакирующего покрытия из антифрикционного материала. Для повышения антифрикционных свойств керамического покрытия (основной компонент покрытия – это керамика Al_2O_3) целесообразно ввести дополнительно в поверхностный слой наноструктурированный антифрикционный материал, например, наноструктурированная медь или ее сплавы. Существуют различные методы нанесения антифрикционных наноструктурированных покрытий на основе медных сплавов на керамику. Было предложено наносить наноструктурированное покрытие на основе медных сплавов методом плакирования гибким инструментом с последующим воздействием лазерного луча. После формирования на поверхности пары трения скольжения дополнительного антифрикционного слоя толщиной 3-5 мкм из наноструктурированной меди целесообразна последующая дополнительная обработка композиционного покрытия пластическим деформированием.

Предварительные испытания показали перспективность предлагаемой технологии изготовления электрошпинделей для прецизионной обработки [4].

Металлические материалы с высокой прочностью и пластичностью чрезвычайно востребованы в различных областях машиностроения, чтобы снизить вес изделия и повысить его работоспособность. В тоже время, крайне сложно увеличить как прочность, так и пластичность одновременно, поскольку сочетание прочности и пластичности, естественно, являются компромиссными характеристиками. Чтобы преодолеть ограничения механических свойств обычных материалов, гетероструктурные материалы в последнее время привлекают значительное внимание как новый класс конструкционных материалов, в частности, высокоэнтропийные сплавы.

Гетероструктурированные материалы характеризуются, как содержащие гетерогенные домены с локально различными микроструктурами и механическими свойствами (например, размером зерен, фазами, начальной деформацией и текстурами). Преимущества гетероструктурированных материалов обусловлены прежде всего

механической несовместимостью между относительно мягкими и твердыми доменами. Рассогласование решетки, возникающее в результате неравномерной пластической деформации между гетерогенными доменами, приводит к накоплению геометрически необходимых дислокаций (ГНД) вблизи границ доменов. Упорядоченное накопление ГНД приводит к формированию направленной составляющей поля напряжений дальнего действия, известной как обратное напряжение. В конечном счете, обратное напряжение улучшает механические свойства, обеспечивая дополнительный усиливающий эффект.

Преимущества гетероструктурных материалов в качестве конструкционных материалов включают высокие механические свойства и способность сочетать в широком интервале такие свойства, как прочность и пластичность за счет управления формируемой микроструктуры.

Например, для получения равноатомного высокоэнтропийного сплава CoCrFeMnNi с многослойными микроструктурами применялись процессы прямого энергетического осаждения и ультразвуковой модификации поверхности нанокристаллических материалов. Полученный сплав имеет новую отличную от обычной микроструктуру, состоящую из множества слоев повторяющихся микроструктур с неоднородностью, и демонстрирует замечательный синергетический эффект упрочнения по сравнению с обычными гетерогенными материалами.

Благодаря наличию множества слоев с неоднородностью прочности в изготовленном многослойном гетероструктурированном высокоэнтропийном сплаве CoCrFeMnNi, он демонстрирует превосходную комбинацию прочности и пластичности по сравнению с высокоэнтропийными сплавами CoCrFeMnNi, имеющих гомогенную структуру, а также полученными аддитивными технологиями. [5].

Список использованных источников

1. Песецкий, С. С. Влияние способа диспергирования модифицированного слоистого силиката на структуру и свойства смесевых композитов на основе полиамида и функционализированного полиолефина / С. С. Песецкий, Ю. М. Кривогуз, С. П. Богданович // Весці Нац. акад. навук Беларусі. Сер. фіз.-тэх. навук. – 2020. – Т. 65, №2. – С. 177–184.
2. Витязь, П. А. Применение наноструктурных материалов и активированных методов инженерии поверхности для создания

современных объектов техники / П.А. Витязь, В.Л. Басинюк, М.А. Белоцерковский, В.И. Жорник и др. // Механика машин, механизмов и материалов. – 2012. - №3(20)-№4(21). – С. 46-66.

3. Kumar A. John Presin, Singh D. Kingsly Jeba (2010) Sliding Wear Analysis on A390 Aluminium Nanocoated with Sol-Gel–Synthesized Particles for Bearing, International Journal of Green Nanotechnology: Materials Science & Engineering, 1:2, M81-M88, DOI: 10.1080/19430840903430352

4. И.В. Войтов, А.Р. Цыганов, А.С. Калиниченко, В.Л. Басинюк, О.Г. Девойно. Методология применения наноструктурированных материалов в подшипниках скольжения // Новости науки и техники, 2021, 2(57). С. 37-43

5. Gang Hee Gu, Rae Eon Kim, et al. Multi-layered heterostructured CoCrFeMnNi high-entropy alloy processed using direct energy deposition and ultrasonic nanocrystalline surface modification // Journal of Materials Research and Techn. Vol. 21, November–December 2022, Pp. 2880-2890

УДК 658.5

Ч.Я. Шафранская, Е. А. Архипова

Казанский инновационный университет имени В.Г. Тимирязова
Казань, Россия

ИМПОРТОЗАМЕЩЕНИЕ КАК ПЕРСПЕКТИВНАЯ НИША ПРЕДПРИНИМАТЕЛЬСКОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ

Аннотация. Существенно изменившиеся факторы и условия усложнили проблемы, стоящие перед российской экономикой, в связи с необходимостью создания новой системы приоритетов для решения макроэкономических задач, в том числе возникающих в результате введения экономических санкций.

Ключевые слова: импортозамещение, предприятия, предпринимательство

Ch.Ya. Shafranskaya , E.A. Arkhipova

Kazan Innovation University named after V.G. Timiryasov
Kazan, Russia

IMPORT SUBSTITUTION AS A PROMISING BUSINESS NICHE

Annotation. Significantly changed factors and conditions have complicated the problems facing the Russian economy due to the need to create a new system of priorities