

саморегуляции психоэмоциональных состояний личности [Текст] / И.С. Сальников, Р. И. Сальников // Искусственный интеллект: теоретические аспекты, практическое применение : материалы Донецкого международного научного круглого стола. – г. Донецк : ГУ ИПИИ, 2020. – С. 182–186.

10. «Кибернетическое творчество» в системе искусственного интеллекта [Текст] / С. А. Изосимова, И. С. Сальников, Р. И. Сальников, С. Б. Иванова // Творчество в современном мире: человек, общество, технологии : Материалы Всероссийской научной конференции, посвященной 100-летию со дня рождения Я.А. Пономарева, Институт психологии РАН, 26–27 сентября 2020 г. / Под общ. ред. Д. В. Ушакова, И. Ю. Владимирова, А. А. Медынцева. – М. : Институт психологии РАН, 2020. – doi: 10.38098/conf.2020.29.91.001 – С. 143–145.

11. Суетин, Н. Искусственный интеллект в современном искусстве [Электронный ресурс] / Н. Суетин. – Режим доступа: [sk.ru/news/iskusstvennyu-intellekt-v-sovreme](http://sk.ru/news/iskusstvennyu-intellekt-v-sovreme) (дата обращения: 19.11.2021).

УДК 621.833; 669.056.9 : 629.118.6

**А.С. Калиниченко, Н.Г. Короб, Т.Л. Карпович**  
Белорусский государственный технологический университет  
Минск, Республика Беларусь

## **НЕКОТОРЫЕ АСПЕКТЫ ВЫБОРА НАНОСТРУКТУРИРОВАННЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ УЗЛОВ ТРЕНИЯ**

*Аннотация.* Работа посвящена методике выбора наноструктурированных композиционных материалов для узлов трения. На примере выбора конструкции шпинделя прецизионного обрабатывающего станка показана необходимость учета многих факторов, определяющих работоспособность оборудования и точность обработки. Показана перспективность изготовления вала из алюминиевого сплава.

**A.S. Kalinichenko, N.G. Korob, T.L. Karpovich**  
Belarusian State Technological University,  
Minsk, Republik of Belarus

## **SOME ASPECTS OF NANOSTRUCTURED COMPOSITE MATERIALS' CHOICE FOR FRICTION UNITS**

*Abstract.* The work is devoted to the method of selection of nanostructured composite materials for friction units. Using the example of choosing the spindle design for a precision machining unit, the need to take into account many factors that determine the operability of equipment and the accuracy of processing is shown. The prospects of manufacturing a shaft made of aluminum alloy are rather prospective.

В последнее время новые наукоёмкие технологии и инновации в машиностроении появляются всё более массово, что обусловлено очередной ступенью научно-технического прогресса. Особенностью машиностроения является множество направлений, куда входят, например: дизайн и производство транспорта, робототехника, изготовление промышленных станков, бытовые приборы, радиотехника, электротехническая промышленность и пр. Огромное разнообразие условий эксплуатации предъявляет особые свойства к применяемым материалам, которые должны иметь заранее заданный уровень физико-механических и эксплуатационных свойств. При этом, надо учитывать, что улучшение физико-механических свойств путем полезного легирования традиционных металлических материалов и сплавов практически достигло своего предела. Поэтому значительные усилия материаловедов направлены на разработку композиционных материалов, которые обладают управляемым широким спектром физико-механических и служебных свойств. Необходимо отметить, что в последние годы появились новые композиционные материалы, включая наноструктурированные материалы. Армированные композиты с керамической матрицей применяются в качестве жаропрочных и жаростойких материалов, а также составляющих броневых элементов. Композиты, наполненные микро - и наночастицами специальных добавок, используются в режущих кромках инструментов, в качестве износостойких материалов.

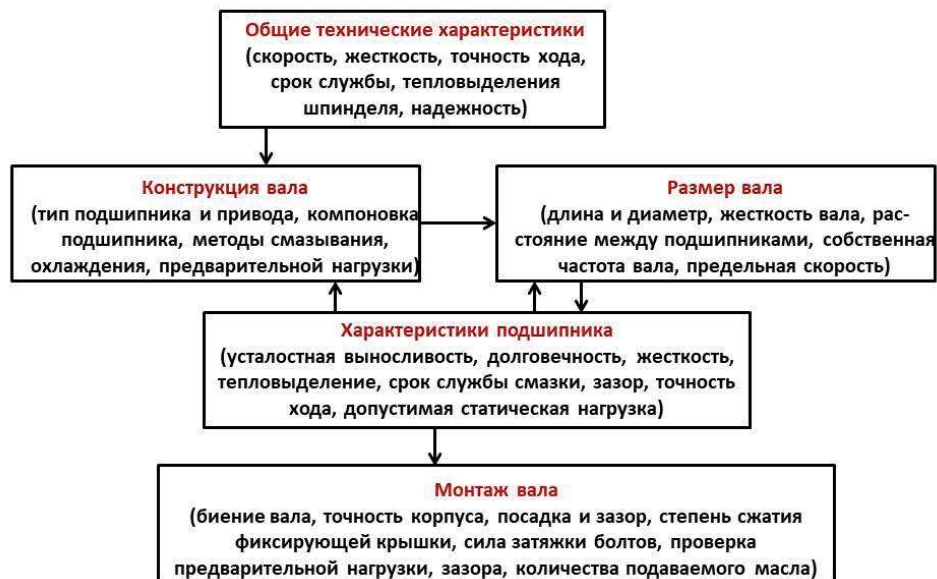
Для успешного применения материалов, с точки зрения работоспособности, важным моментом является классификация материалов, в частности, композиционных [1]. Именно классификация позволяет выбрать наиболее подходящие материалы, обеспечивающих наилучшее сочетание физико-механических и служебных свойств. Правильный выбор материала может быть сделан на основании анализа функционального назначения детали, условий ее эксплуатации и технологических показателей [2].

Важным моментом является снижение трения в узлах машин и механизмов, которое во многом определяет надежность и срок работы изделий. Чтобы уменьшить потери на трение используют современные смазочные материалы, однако снизить величину коэффициента трения таким методом получается незначительно. Поэтому учёные решили обратить своё внимание на трение на уровне наночастиц, потому что именно здесь атомное притяжение важнее неровностей, вызывающих трение в макромасштабе. Применение наноподшипников из алмаза позволило достичь того, что трение при движении становилось

настолько мало, что измерить его при помощи даже самой чувствительной аппаратуры не удавалось.

В подвижных соединениях узлов и механизмов используются различные типы подшипниковых узлов. Достаточно широко используются пары скольжения, что позволяет повысить жесткость узлов, уменьшить их габаритные размеры, улучшить теплоотвод и обеспечить снижение шума и вибраций. В тоже время, при использовании пар трения скольжения порой возникают более высокие, по сравнению с подшипниками качения, потери на трение, что повышает вероятность возникновения заедания трущихся поверхностей. Особенно важное значение эти проблемы имеют при применении подшипников скольжения в прецизионном оборудовании. В ряде случаев обеспечение высокой жесткости может быть достигнуто применением подшипников скольжения с композиционными антифрикционными покрытиями. Шпиндели прецизионных станков должны обеспечить высокие скорости лезвийной механической обработки, которая определяется частотой вращения и радиусом расположения режущей кромки. 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 МПа соответственно при коэффициенте трения равным  $0,004 \div 0,006$ . Если посмотреть на взаимосвязь между надежностью работы узла трения и требованиями к конструкции шпинделя, можно увидеть сложность решения данного вопроса (рис. 1).

Конструкция вала определяется, в первую очередь, скоростью обработки, жесткостью и связанной с ней точностью хода, надежностью. На основе требуемых характеристик определяется тип подшипника и привода, методы смазывания. Эти параметры определяют размер вала (длина и диаметр), собственную частоту, предельные скорости вращения. Размеры вала и его конструкция взаимосвязаны с характеристиками подшипника. После согласования этих взаимосвязанных параметров переходят к заключительной стадии – монтажу.



**Рисунок 1 - Схема выбора подшипникового узла прецизионных шпинделей**

Из рисунка видна существенное значение конструкции и характеристик подшипников. Значительный интерес представляет использование алюминиевых сплавов при изготовлении шпинделей прецизионных станков с позиций улучшения их динамических свойств и теплообмена при работе с принудительным охлаждением основных компонентов, что позволяет минимизировать, по сравнению со стальным шпинделем, массу вала. Еще одним преимуществом применения алюминиевых сплавов это то, что рабочие поверхности подшипников скольжения могут быть выполнены непосредственно на валу шпинделя. Это обеспечивается применением микродуговой обработки, которая позволяет создать керамический слой, состоящий из  $Al_2O_3$ , достаточно толстый, чтобы предотвратить «продавливание» опорной поверхности и возникновение заедания при попадании абразивных частиц. Затем производится поверхностное плакирование сформированного керамического покрытия антифрикционным материалом, например, наноструктурированным композитом на основе медного сплава. Операции подготовки поверхности покрытия под последующее плакирование и ее плакирования определяют адгезионную прочность сцепления антифрикционного покрытия с оксидным покрытием. Установлено, что адгезия антифрикционных материалов на основе медных сплавов при их нанесении на поверхность керамического покрытия механическим способом,

например плакированием гибким инструментом без последующей обработки, относительно невелика. Поэтому целесообразно сформировать на поверхности покрытия наноразмерного слоя из материала, который заполнит в процессе его нанесения впадины, поры и трещины на керамической поверхности для обеспечения высоких адгезионных свойств антифрикционного покрытия. Это покрытие может быть сформировано лазерным лучом.

Для обеспечения высоких адгезионных свойств после формирования на поверхности пары трения скольжения дополнительного антифрикционного слоя целесообразна последующая дополнительная обработка композиционного покрытия пластическим деформированием.

### **Выводы.**

Анализ показал, что при применении в конструкции шпинделя подшипников скольжения комплексно решаются задачи по обеспечению необходимой жесткости шпинделя, а также высокой плавности работы, позволяющей достичь нанометрической шероховатости поверхности. Применение алюминиевых сплавов для производства вала позволит уменьшить, по сравнению со стальным валом, по меньшей мере в три раза массу вала и существенно улучшить теплообмен в механической системе. Дополнительным преимуществом применения алюминиевого вала является возможность создания на его поверхности композиционного подшипника скольжения с модифицированным наноструктурированным плакирующим покрытием.

### **Список использованных источников**

1. Рогов В.А., Шкарупа М.И., Велис А.К. Классификация композиционных материалов и их роль в современном машиностроении // Вестник РУДН, серия Инженерные исследования, 2012, №2. С. 41-49
2. Вехтер Е.В., Радченко В.Ю., Соловьев А.Е. Проблема выбора материалов с учетом их характеристик при дизайн проектировании электронных устройств // Фундаментальные исследования. – 2015. – № 10-3. – С. 458-461

*Работа выполнена при поддержке Министерства образования Республики Беларусь в рамках задания 1.02 ГПНИ «Механика, металлургия, диагностика в машиностроении» на 2021-2025 гг.*