



Столыпинский
вестник

Научная статья

Original article

УДК 621.7

**СОВРЕМЕННЫЕ МАТЕРИАЛЫ И ТЕХНОЛОГИИ ПРОИЗВОДСТВА
В ВЫСОКОНАГРУЖЕННЫХ ДЕТАЛЯХ МАШИН**
MODERN MATERIALS AND PRODUCTION TECHNOLOGIES IN HIGH-
LOAD MACHINE PARTS

Рябинин Семён Андреевич, специалист, МГТУ им. Баумана (105005, г. Москва, вн. тер. г. муниципальный округ Басманный, ул. 2-я Бауманская, д. 5, с. 1), тел. 8(499) 263-63-91, bringomun@rambler.ru

Semyon A. Ryabinin, specialist, Bauman Moscow State Technical University (105005, Moscow, vn. ter. g. municipalnyi okrug Basmannyi, ul. 2-ia Baumanskaia, 5, s. 1), tel. 8(499) 263-63-91, bringomun@rambler.ru

Аннотация. В статье рассматриваются современные материалы и технологии производства в высоконагруженных деталях машин. Изучается применение металлических сплавов, композитных и наноматериалов. Анализируются технологические инновации, включая аддитивное производство, применение современного оборудования и технологий обработки. Исследуются перспективы и вызовы, связанные с внедрением современных технологий и материалов в разных отраслях промышленности.

Abstract. This article explores modern materials and production technologies in high-load machine parts. The application of metal alloys, composite materials, and nanomaterials is studied. Technological innovations, including additive manufacturing,

the use of modern equipment, and processing technologies are analyzed. The prospects and challenges associated with the implementation of modern technologies and materials in various industrial sectors are investigated.

Ключевые слова: современные материалы, технологии производства, высоконагруженные детали машин, аддитивное производство, композитные материалы, нанотехнологии, устойчивое производство.

Keywords: modern materials, production technologies, high-load machine parts, additive manufacturing, composite materials, nanotechnologies, sustainable production.

Введение

Высоконагруженные детали машин (ВДМ) играют ключевую роль в разных отраслях промышленности, обеспечивая надежность и долговечность оборудования. Развитие новых материалов и производственных технологий открывает перспективы для повышения эффективности и эксплуатационных характеристик техники.

Целью данной работы является анализ современных материалов и технологий производства, используемых в ВДМ, исследование их основных свойств, преимуществ и потенциальных областей применения.

Основная часть

ВДМ отвечают за работоспособность, долговечность и безопасность промышленного оборудования, транспортных средств и механизмов. Эти детали, подвергаемые значительным механическим, термическим и химическим нагрузкам в процессе эксплуатации, должны обладать высокой прочностью, износостойкостью и устойчивостью к коррозии.

Современные материалы для ВДМ

В сфере производства ВДМ наблюдается постоянный поиск и внедрение материалов, способных удовлетворить высокие требования к качеству, долговечности и экономической эффективности. Среди **металлических сплавов** особое внимание уделяется разработке и применению высокопрочных сталей, алюминиевых и титановых сплавов.

Сталь – металл, который является одним из самых универсальных материалов в мире [1]. Согласно данным Всемирной ассоциации стали, мировое производство стали в 2023 году составило 1,88 млрд. тонн, практически не изменившись по сравнению с 2022 годом. Лидером отрасли является Китай с показателем 1019,1 млн тонн в 2023 году (рис. 1).

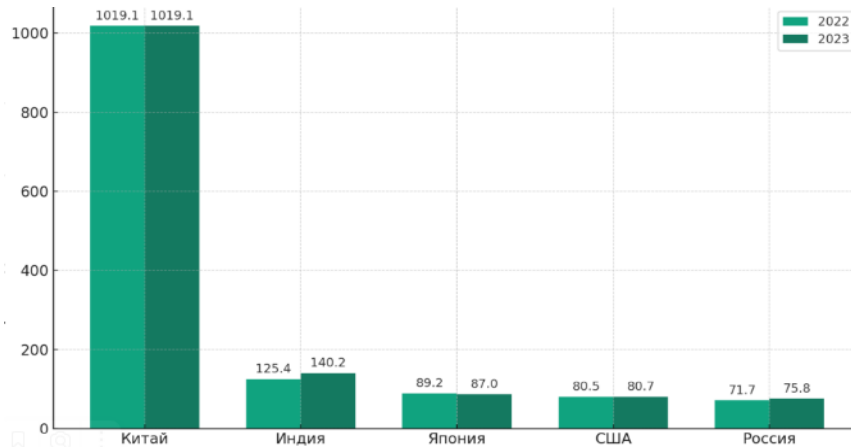


Рис. 1. Производство стали в 2022-2023 годах, млн. тонн [2]

Для создания ВДМ используются стали различных марок, каждая из которых выбирается с учетом специфических требований к прочности, устойчивости к износу, коррозии и другим эксплуатационным факторам: **сталь 40X** с высокой износостойкостью – изготовление осей и других деталей, работающих в условиях повышенных нагрузок; **сталь 09Г2С** – низколегированная сталь для конструкций, работающих в условиях низких температур; **сталь 30ХГСА** – высокопрочная конструкционная легированная сталь – для элементов шасси, рамы и трансмиссии; **сталь 35ХНМ** – легированная никелем и молибденом сталь для деталей, требующих повышенной прочности и устойчивости; **нержавеющие стали** используются для создания деталей, требующих высокой коррозионной стойкости.

В производстве ВДМ широко используются **алюминиевые сплавы** благодаря их легкости и высокой прочности. Среди наиболее распространенных видов алюминия, применяемых в этой области, выделяются сплавы серии 2000, содержащие медь для повышения прочности (например, Al2024), и сплавы серии 7000 с добавлением цинка и магния, такие как Al7075 и Al7050, обеспечивающие стойкость к трещинам.

Для изготовления ВДМ применяются чистый **титан** (особенно марки Gr1-Gr4 с различным уровнем прочности и пластичности) и сплавы, такие как Ti-6Al-4V (Gr5), который сочетает в себе титан с алюминием и ванадием для улучшения механических свойств [3]. Высокая стоимость титана компенсируется его долговечностью и эксплуатационными характеристиками, такими как коррозионная стойкость и надежность в условиях жесткой эксплуатации, включая воздействие морской воды и агрессивных химических веществ.

Российская компания «ВСМПО-АВИСМА», один из крупнейших производителей титана в мире, разработала уникальную технологию производства высокопрочных титановых сплавов для авиационной отрасли. Компания внедрила инновационные технологии горячей и холодной обработки, позволяющие получать изделия с повышенной устойчивостью к коррозии и высокими показателями прочности.

Выбор металлов и сплавов для ВДМ зависит от комплекса требований, предъявляемых к будущему изделию, включая условия эксплуатации, необходимую прочность, устойчивость к коррозии и износу.

Композитные материалы, сочетающие в себе полимеры, углеродные, стеклянные или керамические волокна, представляют собой еще одну важную группу материалов для ВДМ [4]. Благодаря возможности создавать материалы с заданными свойствами путем изменения состава и структуры, композиты демонстрируют улучшенные характеристики по сравнению с традиционными монолитными материалами: повышенная прочность при меньшем весе, отличные антикоррозионные свойства, устойчивость к ударам и изгибам. Примером такого композитного материала являются углеродно-волоконистые композиты (углепластик), которые состоят из углеродных волокон, укрепленных в полимерной матрице, например, эпоксидной смоле.

Наноматериалы открывают новые перспективы в улучшении характеристик ВДМ за счет использования частиц, размеры которых измеряются в нанометрах. Это позволяет существенно улучшить механические свойства материалов, такие

как прочность, жесткость и износостойкость, теплопроводность и электропроводность.

Один из примеров использования наноматериалов в производстве ВДМ – это применение наночастиц карбида кремния (SiC) в качестве усилителя для алюминиевых сплавов. Это значительно улучшает механические свойства получаемого композитного материала, включая его прочность, жесткость, износостойкость и устойчивость к высоким температурам. Введение наночастиц карбида кремния в алюминиевые сплавы позволяет не только повысить эксплуатационные характеристики изделий, но и сократить их вес, что важно для повышения энергоэффективности.

Технологические инновации в производстве

Прогресс в технологиях производства ВДМ значительно расширил возможности инженеров-конструкторов в создании изделий с уникальными характеристиками и сложными геометрическими формами. Одним из наиболее перспективных направлений является **аддитивное производство**, или 3D-печать, которое позволяет создавать детали посредством постепенного наращивания материала слой за слоем [5]. Эта технология находит применение в различных отраслях, включая авиационную и космическую промышленности, где компании, такие как SpaceX (США) и Boeing (США), используют ее для изготовления комплексных компонентов двигателей и элементов корпуса летательных аппаратов. Аддитивное производство не только ускоряет процесс разработки и сокращает отходы материалов, но и позволяет реализовывать конструкции, создание которых традиционными методами было бы невозможно или экономически нецелесообразно.

Одним из примеров применения современных технологий производства в России является работа компании «НПО Сатурн», занимающейся разработкой и производством двигателей для авиации. Компания использует аддитивные технологии для создания компонентов газотурбинных двигателей. Это позволяет ускорить процесс разработки и оптимизировать вес деталей, что важно для авиационной отрасли. «НПО Сатурн» успешно реализовала технологию прямого

лазерного сплавления металлических порошков для изготовления сложных внутренних структур лопаток турбин и других высокотемпературных компонентов двигателей. Применение аддитивного производства позволило снизить циклы производства деталей в 3-4 раза, увеличить коэффициент использования материала с 0,5 до 0,95, сократить массу изделий и улучшить их эксплуатационные характеристики за счет оптимизации внутренних каналов охлаждения [6].

В производстве ВДМ применяется современное оборудование, такое как многоосевые станки и лазерные системы. Компании, например, DMG Mori (Германия) и Haas Automation (США), предлагают решения, которые позволяют с высокой точностью обрабатывать металлы и композиты, обеспечивая необходимые размеры и качество поверхности.

Поверхностные технологии, включая нанесение защитных покрытий и обработку лазером, способствуют значительному улучшению износостойкости и снижению трения деталей, что напрямую влияет на увеличение срока службы и эффективности работы оборудования [7, 8]. Компания Oerlikon Metco (Швейцария) разрабатывает инновационные решения в области термического напыления, позволяющие улучшить характеристики поверхности ВДМ. Применение таких технологий позволяет не только увеличить срок службы деталей, но и оптимизировать их работу за счет снижения трения и улучшения теплоотвода.

Сочетание аддитивного производства и технологий обработки открывает новые возможности в создании ВДМ. Эти прогрессивные методы производства позволяют реализовывать сложные проекты с улучшенными эксплуатационными характеристиками, способствуя инновационному развитию в машиностроении и смежных отраслях.

Производство ВДМ в различных отраслях промышленности

В условиях постоянно растущих требований к качеству и производительности, разработка и внедрение инновационных материалов и передовых технологий производства ВДМ становятся факторами развития

промышленных предприятий. От авиационной и космической отрасли до автомобилестроения и тяжелого машиностроения – повышение надежности ВДМ напрямую влияет на безопасность, экономическую эффективность и инновационный потенциал предприятий (табл. 1).

Таблица 1. Современные материалы и технологии производства ВДМ

Отрасль	Материалы/ Технологии	Примеры применения	Преимущества
Авиационная и космическая промышленность	Композитные материалы (углепластик, стеклопластик), аддитивное производство	Конструкционные элементы корпуса, панели крыла, элементы двигателей	Уменьшение массы, увеличение прочности и устойчивости к коррозии, оптимизация формы деталей для повышения аэродинамических характеристик
Автомобилестроение	Высокопрочные стали, алюминиевые сплавы, полимерные композиты	Безопасные зоны кузова, рамы шасси, элементы подвески, панели кузова	Повышение безопасности и энергоэффективности транспортных средств, снижение веса, улучшение управляемости и динамики
Тяжелое машиностроение	Наноматериалы, поверхностные технологии (термообработка, напыление)	Зубчатые колеса, подшипники, режущий инструмент, элементы гидравлики	Повышение износостойкости, уменьшение трения, увеличение срока службы оборудования, улучшение рабочих характеристик

Применение современных материалов и технологий в этих ключевых отраслях не только повышает качество и надежность продукции, но и способствует устойчивому развитию промышленности за счет оптимизации ресурсо- и энергопотребления. Инновации в производственных процессах открывают новые горизонты для инженерного творчества, позволяя разрабатывать машины и оборудование нового поколения, которые будут отвечать современным вызовам.

Будущее развитие технологий производства ВДМ неотделимо от прогресса в области цифровых технологий и устойчивости производственных процессов [9,

10]. Интеграция искусственного интеллекта (ИИ) в проектирование материалов открывает новые горизонты для создания инновационных сплавов и композитов с заранее заданными свойствами. Использование ИИ позволяет существенно сократить время и ресурсы, необходимые для разработки новых материалов, посредством анализа больших объемов данных о свойствах существующих материалов и прогнозирования характеристик потенциальных инновационных составов.

Устойчивое производство и переработка становятся приоритетами в контексте глобальных экологических вызовов. Развитие технологий переработки и вторичного использования материалов, в том числе металлов, полимеров и композитов, способствует снижению потребности в первичных ресурсах и уменьшению объемов промышленных отходов. Внедрение принципов «зеленого» производства, включая энергосберегающие технологии, минимизацию отходов на всех этапах и использование возобновляемых источников энергии, становится неотъемлемой частью современного производственного процесса.

Выводы

Прогресс в области разработки современных материалов и технологий производства является ключевым фактором для повышения надёжности, долговечности и экономической эффективности ВДМ в различных секторах промышленности. Интеграция инновационных подходов, включая использование композитных материалов, аддитивное производство и нанотехнологии, открывает новые возможности для создания изделий с улучшенными характеристиками и функционалом.

Перед отраслями, занимающимися разработкой и производством ВДМ, стоят значительные вызовы, связанные с необходимостью обеспечения высоких эксплуатационных характеристик продукции при одновременном снижении издержек и негативного воздействия на окружающую среду. Будущее машиностроения будет определяться способностью к инновациям, адаптации к изменяющимся условиям и ответственному подходу к использованию ресурсов.

Литература

1. Колтаков Д.А., Шаповалова Е.А. Анализ основных методов повышения коррозионной стойкости и износостойкости рабочих поверхностей / Д.А.Колтаков, Е.А. Шаповалова // Вестник науки. – Т. 1. – №. 1(70). – 2024. – С. 267-272.
2. December 2023 crude steel production and 2023 global crude steel production totals / World Steel Association URL: <https://worldsteel.org/wp-content/uploads/December-2023-crude-steel-production-and-2023-global-crude-steel-production-totals-1.pdf> (дата обращения: 26.03.2024)
3. Сериков С. В., Устинов И. К., Устинов Е. И. Современные исследования по оценке трещиностойкости и эксплуатационной надежности конструкций из специальных сталей и титановых сплавов / С.В. Сериков, И.К.Устинов, Е.И. Устинов // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. – №. 8. – 2023. – С. 673-675.
4. Мехманов Ш.А. Керимова А.Г. Перспективы применения композитных материалов для морских нефтегазовых сооружений / Ш.А. Мехманов, А.Г. Керимов // Вестник науки. – Т. 4. – №. 2(71). – 2024. – С. 368-373.
5. Балякин А. В., Олейник М. А., Злобин Е. П., Скуратов Д. Л. Обзор гибридного аддитивного производства металлических деталей / А.В. Балякин, М.А. Олейник, Е.П.Злобин, Д.Л. Скуратов // Вестник Самарского университета. Аэрокосмическая техника, технологии и машиностроение. – Т. 21. – №. 2. – 2022. – С. 48-64.
6. Константинов Д.С. ПЕРСПЕКТИВА ВНЕДРЕНИЯ ИННОВАЦИОННЫХ ИЗОЛЯЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ ХОЛОДИЛЬНИКОВ // Universum: технические науки : электрон. научн. журн. – 2024. – №3(120).
7. Жарницкий, В. Я. Математическое моделирование тепловых процессов в системе "бетон-грунт" / В. Я. Жарницкий, П. А. Корниенко, А. П. Смирнов // Природообустройство. – 2022. – № 3. – С. 71-76.

8. Жарницкий, В. Я. Математическая модель материалов конструкций и элементов восстанавливаемых грунтовых плотин для численных расчетов / В. Я. Жарницкий, А. П. Смирнов // Природообустройство. – 2021. – № 4. – С. 46-51.
9. Волохова Е. А. ПРИМЕНЕНИЕ ИННОВАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В СОВРЕМЕННЫХ ИНТЕРЬЕРАХ //МЕЖОТРАСЛЕВЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ КАК ОСНОВА РАЗВИТИЯ НАУЧНОЙ МЫСЛИ. – 2022. – С. 160.
10. А. О. Бобовникова, В. Е. Городилов, Д. В. Тюменцев, М.А. Гилев, О.Н. Ивашова, Д.В. Редников / Трансформация управления бизнесом при помощи ИИ и автоматизации процессов: обзор и кейс-стади // Конкурентоспособность в глобальном мире: экономика, наука, технологии. – 2024. – № 1. – С. 122-128. – EDN BDKGSC.

References

1. Koltakov, D.A., Shapovalova, E.A. Analysis of the main methods for increasing the corrosion resistance and wear resistance of working surfaces. // Herald of Science, Vol. 1, No. 1(70), 2024, pp. 267-272.
2. December 2023 crude steel production and 2023 global crude steel production totals / World Steel Association URL: <https://worldsteel.org/wp-content/uploads/December-2023-crude-steel-production-and-2023-global-crude-steel-production-totals-1.pdf> (дата обращения: 26.03.2024)
3. Serikov, S.V., Ustinov, I.K., Ustinov, E.I. Modern research on the evaluation of crack resistance and operational reliability of structures made of special steels and titanium alloys. // Proceedings of Tula State University. Technical Sciences, No. 8, 2023, pp. 673-675.
4. Mekhmanov, S.A., Kerimova, A.G. Prospects for the application of composite materials for offshore oil and gas structures. // Herald of Science, Vol. 4, No. 2(71), 2024, pp. 368-373.
5. Balyakin, A.V., Oleynik, M.A., Zlobin, E.P., Skuratov, D.L. Review of hybrid additive manufacturing of metal parts. // Bulletin of Samara University. Aerospace and Mechanical Engineering, Vol. 21, No. 2, 2022, pp. 48-64.

6. Konstantinov, D.S. THE PROSPECTS OF IMPLEMENTING INNOVATIVE INSULATION MATERIALS TO ENHANCE THE ENERGY EFFICIENCY OF REFRIGERATORS // *Universum: technical sciences: electronic scientific journal*, 2024, No. 3(120).
7. Zharnitsky, V.Y., Kornienko, P.A., Smirnov, A.P. Mathematical modeling of thermal processes in the "concrete-soil" system. // *Environmental Engineering*, 2022, No. 3, pp. 71-76.
8. Zharnitsky, V.Y., Smirnov, A.P. A mathematical model of construction materials and elements of restored earth dams for numerical calculations. // *Environmental Engineering*, 2021, No. 4, pp. 46-51.
9. Volokhova, E.A. APPLICATION OF INNOVATIVE TECHNOLOGIES IN MODERN INTERIORS. // *Interdisciplinary research as the basis for the development of scientific thought*, 2022, pp. 160.
10. Bobovnikova, A.O., Gorodilov, V.E., Tyumentsev, D.V., Gilev, M.A., Ivashova, O.N., Rednikov, D.V. Business management transformation through AI and process automation: a review and case study. // *Competitiveness in the Global World: economics, science, technology*, 2024, No. 1, pp. 122-128. – EDN BDKGSC.

© Рябинин С.А., 2024 Научный сетевой журнал «Столыпинский вестник» №4/2024.

Для цитирования: Рябинин С.А. СОВРЕМЕННЫЕ МАТЕРИАЛЫ И ТЕХНОЛОГИИ ПРОИЗВОДСТВА В ВЫСОКОНАГРУЖЕННЫХ ДЕТАЛЯХ МАШИН// Научный сетевой журнал «Столыпинский вестник» №4/2024.