

В заключение отметим, что проведенный анализ в среде АРМ FEM показал: модифицированная конструкция робота (с полыми элементами) сохраняет необходимую жесткость при снижении общей массы. Полученная первая собственная частота 136.57 Гц гарантирует отсутствие резонансных колебаний в штатных режимах эксплуатации. Методика позволяет оптимизировать металлоконструкции роботов еще до этапа изготовления прототипа.

Выражаю благодарность моему научному руководителю доктору технических наук, профессору М. И. Михайлову за консультации в области конечно-элементного моделирования.

Л и т е р а т у р а

1. Шелофаст, В. В. Основы проектирования машин / В. В. Шелофаст. – М. : АПМ, 2005. – 472 с.
2. Алямовский, А. А. Инженерный анализ в SolidWorks Simulation / А. А. Алямовский. – М. : ДМК Пресс, 2015.

ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ОТХОДОВ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОГО ПРОИЗВОДСТВА В КАЧЕСТВЕ ПОРОШКОВОГО СЫРЬЯ ДЛЯ НАНЕСЕНИЯ ПОКРЫТИЙ

М. В. Невзоров

*Учреждение образования «Гомельский государственный технический
университет имени П. О. Сухого», Республика Беларусь*

Научный руководитель Г. В. Петришин

Показано, что устойчивая переработка металлических отходов металлургического производства позволяет использовать частицы отходов в качестве порошкового сырья для дополнительного производства самофлюсующихся порошков. Установлено, что термическое нанесение покрытия на изношенные поверхности металлических деталей обеспечивает их защиту и улучшает функциональные свойства.

Ключевые слова: переработка, самофлюсующиеся порошки, покрытия.

Эффективное управление отходами играет ключевую роль в достижении целей устойчивого развития (ЦУР), сформулированных Организацией Объединенных Наций. Среди них в ЦУР 12 «Обеспечение устойчивых моделей потребления и производства подчеркивается важность ответственного обращения с отходами и ресурсо-эффективности» [1]. Несмотря на предпринимаемые усилия, на пути к достижению устойчивого развития по-прежнему существует ряд проблем, в частности, связанных с минимизацией воздействия на окружающую среду и максимальным восстановлением ресурсов. Одним из ключевых препятствий является сложность процесса стабилизации, и поэтому – обезвреживание промышленных отходов, что еще больше усложняет процессы переработки. В этом контексте твердые отходы в виде частиц порошка, образующиеся в ходе различных передовых производственных процессов, таких как производство присадок на основе порошков, нанесение покрытий, представляют собой серьезную проблему при их удалении и вторичной переработке [2].

Поэтому необходимо разрабатывать практичную и комплексную стратегию «от отходов к покрытию», которая преобразует разнородные металлические отходы в высокоэффективные покрытия для восстановления изношенных поверхностей деталей узлов трения методом термического напыления, например, лазерной наплавки.

Материалы и методология выполнения работы. Для восстановления поверхностей деталей путем лазерной наплавки использовались самофлюсующиеся порошки на основе железа Fe, полученные из отходов металлообработки (стружка, окалина, шлам). Они представляют собой экономически эффективную и экологичную альтернативу дорогим никелевым порошкам, которые широко используются для восстановления деталей и повышения их износостойкости методами газотермического напыления и наплавки. В качестве сырья использовались промышленные отходы, содержащие железо и легирующие элементы: стружка легированных сталей (хромистых Н70Х18СР4, стали 40Х), отходы горячей прокатки низкоуглеродистых сталей, чугунная колотая дробь (ДЧК).

Технология получения порошков. Превращение отходов в высококачественный наплавочный материал включает несколько этапов: измельчение, подготовка шихты, легирование, распыление. В этом исследовании два типа исходных материалов были переработаны из промышленных побочных продуктов, которые обычно считаются отходами. Частицы стружки, собранные в качестве отходов в процессе измельчения, подвергали механическому измельчению в течение 30 мин при 300 об. в минуту для уменьшения размера частиц. Затем измельченную стружку просеивали с помощью вибросита для отделения частиц размером менее 53 мкм, оптимизируя морфологию и распределение по размерам, что необходимо для успешного нанесения методом термического распыления. Для обеспечения безопасности и сыпучести полученные порошки и просеянное сырье затем сушили при температуре 100 °С в течение 30 мин для удаления остаточной влаги.

Типичный состав таких порошков включает основу из железа (Fe) с добавлением активного компонента бора В, который снижает температуру плавления и образует шлак (флюс), защищающий металл от окисления и повышающий смачиваемость поверхности.

Изготовленные порошковые композиции из исходного сырья были проанализированы на морфологию частиц, состав и распределение по размерам, чтобы оценить их пригодность для повторного использования при лазерной наплавке. Перед нанесением на подложку из стали Ст40 ГОСТ 1050-88 в состоянии поставки, порошки сушили и просеивали, чтобы устранить возможные загрязнения и обеспечить равномерное распределение частиц по размеру. Кроме того, все порошки подвергались механическому смешиванию перед распылением, чтобы обеспечить равномерное распределение по всему нанесенному слою. Распределение частиц по размерам определяли методом анализа изображений микрофотографий SEM. Перед нанесением покрытия поверхность подложки подвергли пескоструйной обработке с использованием абразивных частиц из оксида алюминия для удаления оксидного слоя и улучшения адгезии покрытия. Подготовленная поверхность показала среднюю шероховатость Ra около 7,7 мкм, обеспечивая достаточное количество точек якорения для частиц во время процесса лазерной наплавки.

Таким образом полученные результаты показали, что частицы отходов могут быть использованы в качестве порошкового сырья для нанесения износостойких покрытия для восстановления изношенных поверхностей деталей нефтепромыслового оборудования.

Л и т е р а т у р а

1. Скобелев, Д. О. Промышленная политика повышения ресурсоэффективности и достижение целей устойчивого развития / Д. О. Скобелев // Journal of new economy. – 2020. – Vol. 21. – N 4. – P. 153–173.

2. Sustainable recycling of waste metallic powder particles via cold spray additive manufacturing technology / M. Singh, S. W. Khan, A. Anupam, H. Singh // Powder Technology. – 2025. – P. 121915.
3. Комплексный подход к решению технологической задачи получения и применения самофлюсующихся порошков из легированных сплавов на основе железа методом распыления / А. Г. Слуцкий, В. А. Шейнерт, О. Г. Девойно [и др.] // Литье и металлургия. – 2026. – № 1. – С. 135–141. – DOI 10.21122/1683-6065-2026-1-135-141
4. Пантелеенко, Е. Ф. Особенности диффузионного легирования и расчет толщины боридного слоя полидисперсных систем частиц чугуна / Е. Ф. Пантелеенко // Вестник Гомельского государственного технического университета имени П. О. Сухого. – 2009. – № 1. – С. 3–9.

ОСОБЕННОСТИ КОНСТРУИРОВАНИЯ РОБОТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ ИНСТРУМЕНТООБЕСПЕЧЕНИЯ ОБРАБАТЫВАЮЩЕГО ЦЕНТРА

Ф. А. Аббас

Учреждение образования «Гомельский государственный технический университет имени П. О. Сухого», Республика Беларусь

Научный руководитель М. И. Михайлов

Разработана робототехническая система инструментообеспечения, обрабатывающего центра на основе мобильного робота.

Ключевые слова: обрабатывающий центр, система инструментообеспечения, мобильный робот, стационарный накопитель.

В рамках настоящей работы процесс автоматизации смены инструмента рассматривается на примере обрабатывающего центра Baver 500. Основной целью является полное исключение участия человека в операциях по замене инструмента в накопителе станка и перенос этих функций на мобильную роботизированную платформу (далее – РТС), оснащенной манипулятором и собственным инструментальным накопителем.

Задача РТС заключается в следующем: извлечение требуемых инструментов из склада, транспортировка их по заранее сформированному маршруту к станку, одно-временный сбор отработанных инструментов и установка новых – все это в процессе непрерывной работы станка для достижения максимальной производительности. После завершения цикла замены РТС направляется в заточное отделение, где выполняет разгрузку отработанных инструментов, после чего возвращается на склад.

Рассмотрим функциональные компоненты и последовательность операций более подробно (рис. 1).

На мобильной платформе установлен промышленный манипулятор. Инструменты на полках склада размещены в строго ориентированном положении. Захват манипулятора, оснащенный шпонкой (механизмом ориентации), извлекает инструмент и устанавливает его в барабанный накопитель РТС также в ориентированном положении. Накопитель оснащен приводом на базе сервомотора, волнового редуктора и энкодера. Энкодер обеспечивает точное позиционирование барабана, а волновой редуктор повышает выходной момент, что особенно критично при неравномерной загрузке накопителя (например, когда все инструменты сосредоточены в одной половине барабана). Для предотвращения выпадения инструментов в нижней части накопителя предусмотрены пружинные зажимы.