УДК 621.77

АДДИТИВНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В ЗАДАЧЕ ИМПОРТОЗАМЕЩЕНИЯ ДЕТАЛЕЙ И УЗЛОВ ГОРНОТРАНСПОРТНЫХ МАШИН

Устьянцев Ю. А. аспирант,
Национальный исследовательский технологический университет «МИСИС»,
Горный институт,
Россия, г. Москва

Аддитивные технологии в последние годы становятся одним из наиболее динамично развивающихся направлений современной промышленности, поскольку обеспечивают возможность изготовления деталей сложной геометрии с минимизацией отходов и повышением эффективности производственных процессов. В основе данных методов лежит принцип послойного формирования материала, который обеспечивает возможность создавать изделия, конструктивно недоступные для классических методов механической обработки. В отличие от традиционного подхода, основанного на снятии лишнего материала, аддитивное производство предполагает формирование детали непосредственно из цифровой модели, что открывает путь к гибкому управлению внутренней структурой объекта, формированию локальных утолщений, градиентных зон, облегченных решетчатых конфигураций и других архитектур, оптимизированных под конкретные условия нагруженности и ресурсные требования. Именно эта технологическая гибкость позволяет рассматривать аддитивное производство в качестве одного из наиболее перспективных инструментов инженерного проектирования, а также обеспечить свою независимость в рамках импортозамещения [1].

В мировой практике применение аддитивных технологий давно вышло за рамки изготовления прототипов. Авиационная, автомобильная и судостроительная отрасли демонстрируют устойчивую тенденцию к переходу от отдельных демонстрационных изделий к полноценному производству силовых элементов, деталей шасси, узлов подвески, корпусных модулей и других функциональных частей машин [2]. Факт успешной эксплуатации изделий, изготовленных методом селективного лазерного спекания или плавления, подтверждает зрелость технологии и ее готовность к адаптации в более тяжелых условиях, включая горную промышленность.

Горная техника характеризуется экстремальными условиями эксплуатации: высокие ударные и вибрационные нагрузки, абразивное воздействие пыли, наличие влажной агрессивной среды, ограниченная ремонтопригодность и необходимость постоянной готовности оборудования к работе. Для погрузочно-доставочных машин (ПДМ) эти условия особенно критичны, поскольку именно они обеспечивают транспортировку горной массы, функционируя в условиях высокой влажности, абразивного насыщения воздуха и постоянной циклической нагрузки на узлы. В подобных условиях многие детали

испытывают ускоренный износ, особенно элементы гидравлических систем, задействованных в подъеме, опускании ковша и при маневрировании. Одним из наиболее уязвимых компонентов являются штоки гидравлического оборудования, поверхность которых под воздействием абразива, загрязнений и коррозии подвергается разрушению в первую очередь.

В шахтных условиях воздушная фильтрация нередко оказывается недостаточной, что приводит к проникновению в рабочие узлы пыли, содержащей твердые минералы [3]. При движении гидравлических элементов такие частицы повреждают уплотнения, манжеты и резиновые кольца, создавая предпосылки для разрушения покрытия штока. Первичные повреждения, как правило, невелики, но в условиях постоянного влияния абразива они быстро развиваются, приводя к нарушению герметичности системы, попаданию загрязнений во внутренние контуры и прогрессирующему внутреннему разрушению узла. В итоге возникает риск отказа гидравлического оборудования, что приводит к вынужденной эвакуации машины из шахты и существенному простою производства. Ввиду высокой стоимости комплектующих, особенно для зарубежной техники, предприятия сталкиваются с ситуациями, когда машины вынуждены отрабатывать ресурс до состояний близких к критическим, либо простаивать в ожидании поставок, что недопустимо в условиях непрерывного производственного цикла.

Анализ отечественных и зарубежных публикаций свидетельствует о продолжении поиска оптимального решения восстановительных процессов вышедших из строя штоков гидравлических узлов. Рассматривается такие методы как гиперзвуковая металлизация с последующей поверхностно пластичной деформацией [4]. Так же в более свежих работах упоминается, что одной из технологий, способных решить проблему ускоренного износа штоков, является селективное лазерное плавление (СЛП). Метод СЛП позволяет восстанавливать рабочие поверхности за счет формирования плотного, однородного и прочного слоя материала с высокой адгезией к основе. При этом восстановленный участок не только возвращает исходные параметры детали, но и при корректном подборе состава порошка может превосходить ранее применимые методы восстановлений, что открывает возможность увеличения ресурса оборудования. В ряде исследований показано, что восстановленные методом СЛП штоки выдерживают требования к шероховатости, геометрии и прочности поверхностного слоя, что подтверждает реальность применения данной технологии для промышленного ремонта.

Также в условиях подземных рудников применяются самоходные буровые установки, автосамосвалы, гидроперфораторы. По данному оборудованию в настоящее время имеется дефицит запасных частей, а именно штоков, ввиду усложненного процесса приобретения и доставки из стран-производителей, что, в свою очередь, вынуждает прибегнуть к ремонту изнашиваемых штоков, предусматривая полную остановку оборудования для ремонтно-восстановительных работ. Данное оборудование также рассматривается для восстановления современно-технологическим подходом — методом СЛП наплавки с

последующей обработкой поверхности, потенциально успешным решением, учитывая имеющиеся результаты положительных опытов [5].

Возможность целенаправленного формирования структуры материала делает аддитивные технологии удобным инструментом адаптации детали под конкретные условия эксплуатации. При необходимости можно формировать градиентный переход между материалами, повышать плотность слоя в наиболее нагруженных зонах, создавать локальные упрочненные области или, наоборот, облегчать конструкцию без потери прочностных характеристик. Подход перекликается с принципами концепции «точно в срок», заключающейся в устранении избыточности и повышении эффективности использования ресурсов. В условиях ограниченной доступности импортных запасных частей это позволяет не только уменьшить зависимость от поставщиков, но и создавать локальную базу ремонта, обеспечивая восстановление критически важных узлов в заранее определенные сроки.

Несмотря на указанные сложности, преимущества использования аддитивных технологий существенно превышают затраты. Они позволяют сократить время простоя оборудования, уменьшить объем отходов, снизить логистические расходы, обеспечить оперативное восстановление критически важных элементов и повысить общую надежность машин, тем самым повысив эффективность подхода к ремонту и обслуживанию ПДМ [6].

Особый интерес представляет возможность применения СЛП для планового, а не аварийного восстановления штоков гидравлических систем, где технология способна стать инструментом импортозамещения и обеспечить локальное производство элементов, полностью соответствующих требованиям эксплуатации. В рамках выполнения проектирования деталей горной техники особое значение имеет 3d-моделирование [7,8], созданные модели при помощи которого могут быть применены для печати деталей в условиях горного производства.

Подытоживая успешные результаты практического применения аддитивных технологий в смежных отраслях, а также подтвержденную эффективность восстановления штоков методом СЛП, представляется необходимым уделить больше внимания исследованию возможностей интеграции данного подхода в систему ремонта и обслуживания горной и металлургической техники. Это позволит не только повысить надежность машин, но и сформировать эффективный механизм обеспечения необходимого запаса деталей в заданные сроки, раскрывая потенциал аддитивного производства как инструмента повышения технологической независимости предприятий.

Список литературы:

1. Глебов, А. В. Импортонезависимость горнотранспортного оборудования - инструмент обеспечения технологического лидерства при освоении месторождений твердых полезных ископаемых / А. В. Глебов // Технологическое оборудование для горной и нефтегазовой промышленности: Сборник трудов

XXIII международной научно-технической конференции, проведенной в рамках Уральской горнопромышленной декады, Екатеринбург, 03–04 апреля 2025 года. – Екатеринбург: Уральский государственный горный университет, 2025. – С. 11-15. – EDN VSZWNY.

2. Определение потребного количества воздуха для проветривания горных выработок при работе погрузочно-доставочных машин с ДВС / Ж. К. Аманжолов, Э. Р. Халикова, Д. С. Сыздынбаева, С. Б. Иманбаева // Труды университета. – 2017. – № 3(68). – С. 47-50. – EDN YOCQUY.

3. Интеграция топологической оптимизации в производство автомобильных компонентов: современные методы и технологии / Ю. А. Устьянцев, В. А. Васильева // Advances in Science and Technology: сборник статей LVII международной научно-практической конференции, Москва, 15 декабря 2023 года. – Москва: Общество с ограниченной ответственностью "Актуальность.РФ", 2023. – С. 106-110. – EDN TZRSWF.

4. Повышение эксплуатационных свойств поверхности штока гидроцилиндра аддитивными технологиями / Л. В. Радионова, М. Н. Самодурова, В. А. Быков [и др.] // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. – 2020. – Т. 18, № 3. – С. 34-41. – DOI 10.18503/1995-2732-2020-18-3-34-41. – EDN LADLWM.

5. Коротин, В.О. Влияние комбинированного упрочнения на качество поверхностного слоя штока гидроцилиндра / В. О. Коротин // Инновации в машиностроении: материалы докладов XIII Международной научно-практической конференции ИнМаш-2022, Барнаул, 23–25 ноября 2022 года / Алтайский государственный технический университет им. И. И. Ползунова. – Барнаул: Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова, 2022. – С. 269-273. – EDN IYHYWP.

6. Зиновьев, В. Е. Анализ способов обеспечения надежности, качества и экономической эффективности наземной техники в различных условиях эксплуатации / В. Е. Зиновьев, Н. В. Зиновьев // Транспорт. Транспортные сооружения. Экология. – 2024. – № 4. – С. 5-12. – DOI 10.15593/24111678/2024.04.01. – EDN ULJPRJ.

7. Зотов, В. В. К вопросу о цифровом моделировании зубчатых колес редукторов транспортного оборудования горных предприятий / В. В. Зотов, В. У. Мнацаканян, А. Е. Кривенко // Транспорт. Взгляд в будущее - TFV-24: Сборник научных статей международной научно-практической конференции, Санкт-Петербург, 07–08 ноября 2024 года. – Санкт-Петербург: Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II, 2024. – С. 20-22. – EDN AACKTE.

8. Имитационное моделирование и анализ состояния рабочего колеса центробежного насоса / В. В. Зотов, В. У. Мнацаканян, В. С. Лакшинский [и др.] // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2025. – № S9. – С. 3-17. – DOI 10.25018/0236_1493_2025_5_9_3. – EDN BKPYZG