

УДК 621.924.93

ПРИМЕНЕНИЕ АДДИТИВНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В ГОРНОМ МАШИНОСТРОЕНИИ

Бедян Е.А., студент гр. 5045, I курс магистратуры,
Нозирзода Ш.С., к.т.н., старший преподаватель
Новгородский государственный университет им. Ярослава Мудрого,
г. Великий Новгород

В работе рассмотрены особенности применения аддитивных технологий в горном машиностроении на примере изготовления ответственных деталей горнопроходческих машин. Проанализированы основные методы аддитивного производства, их преимущества и ограничения, а также особенности выбора материалов и технологических режимов. Особое внимание уделено вопросам топологической оптимизации и повышению эксплуатационных характеристик изделий. Аддитивные технологии являются перспективным направлением для единичного и мелкосерийного производства сложных деталей горных машин.

Современное горное машиностроение находится в стадии активного технологического развития, что обусловлено необходимостью повышения эффективности добычи полезных ископаемых и снижения себестоимости производственных процессов [1]. Одним из ключевых направлений является внедрение аддитивных технологий, позволяющих изготавливать детали сложной геометрии с заданными эксплуатационными свойствами [2-3].

Аддитивные технологии, основанные на принципах послойного моделирования и наплавления, занимают ключевое место в современном производстве. Среди них выделяются методы прямого и непрямого лазерного сплавления, а также технологии, позволяющие формировать изделия в металлосодержащем слое. Данные процессы широко применяются для работы с композиционными материалами, функциональными наполнителями, а также для производства деталей сложной геометрии.

Аддитивные технологии, появившиеся в конце XX века, представляют собой принципиально новый подход к производству изделий, основанный на послойном формировании объекта по цифровой модели. В отличие от традиционных методов обработки, они обеспечивают высокую точность, снижение отходов материала и возможность создания конструкций, ранее недоступных для изготовления.

Одними из первых системный подход к внедрению аддитивных методов в горное машиностроение предложили авторы [4], которые рассмотрели возможности использования композиционных материалов при производстве горных машин. Авторы подчеркивают, что аддитивные технологии открывают путь к созданию деталей с заданным распределением свойств по объему, что особенно важно для элементов, подверженных контактному износу.

Значительное внимание уделяется также вопросам технической подготовки производства. В своей работе [5] авторы анализируют

современные принципы организации подготовки производства горных машин, отмечая, что цифровизация и внедрение аддитивных технологий требуют пересмотра традиционных подходов к технологическому циклу.

Практические аспекты применения АТ для ремонта и восстановления узлов горных машин отражены в работе [6], где на примере шестеренного насоса НШ-32 показана эффективность аддитивных методов для восстановления гидропривода. Это направление особенно актуально в условиях удаленных горнодобывающих предприятий, где сокращение времени простоя техники критически важно.

В последние годы появились исследования, посвященные обоснованию выбора материалов и конструктивных параметров деталей, изготавливаемых аддитивными методами. Так, в работах [7, 8] проведено комплексное обоснование возможности применения аддитивного производства для изготовления ножа геликоидной формы исполнительного органа геодода. Авторами выполнены расчеты напряженно-деформированного состояния, предложены критерии выбора материала и подтверждена целесообразность использования АТ для получения сложнопрофильных деталей рабочего органа горнопроходческой машины.

Технологические аспекты, связанные с подготовкой металлических порошков и оптимизацией режимов лазерного сплавления, рассмотрены в работах [9, 10]. Исследователи акцентируют внимание на плазменной обработке порошковых материалов, что позволяет повысить их сыпучесть и качество формируемого слоя; второй автор анализирует влияние опорных структур на точность и деформативность изделий при SLM-печати.

Международный опыт и перспективы применения АТ в горной промышленности обобщены в работе коллектива авторов [11], где отмечено, что аддитивные технологии позволяют сократить сроки разработки и изготовления запасных частей в 3–5 раз по сравнению с традиционными методами.

Важность интеграции аддитивных технологий с реверсивным инжинирингом подчеркивается [12], разработана методика 3D-сканирования и цифрового воссоздания корпусных деталей для последующего аддитивного производства. Такой подход особенно востребован при восстановлении импортного оборудования в условиях импортозамещения.

Таким образом, можно отметить, что аддитивные технологии в горном машиностроении находятся на стадии активного внедрения. Наибольшее количество работ посвящено изготовлению и восстановлению деталей сложной формы, применению композиционных материалов, а также интеграции АТ с цифровыми методами проектирования и реверс-инжиниринга. Вместе с тем отмечается недостаток системных исследований по оптимизации технологических режимов применительно к конкретным узлам горных машин, что определяет перспективы дальнейших исследований.

Аддитивное производство основано на последовательном нанесении слоев материала, формирующих трехмерную модель изделия. Такой подход позволяет:

- изготавливать детали сложной геометрической формы;
- минимизировать потери материала при производстве;
- варьировать свойства материала в различных зонах изделия;
- снижать затраты на изготовление оснастки;
- ускорять процесс прототипирования.

Несмотря на определённые преимущества, применение аддитивных технологий в горном машиностроении сопровождается рядом проблем:

- дефекты структуры материала;
- трещинообразование;
- высокая стоимость оборудования;
- необходимость постобработки;
- Отсутствие стандартизированных методик.

Выбор режимов печати и материалов осуществляется экспериментально, что увеличивает время внедрения технологии.

В условиях единичного производства аддитивные технологии позволяют существенно снизить затраты за счёт:

- отсутствия дорогостоящей оснастки;
- сокращения времени производства;
- уменьшения отходов материала.

Особенно эффективно их применение при изготовлении опытных образцов и сложных деталей с уникальной геометрией.

Развитие аддитивных производств открывает новые возможности для создания высокотехнологичных изделий со сложными поверхностями. Это особенно актуально для горного машиностроения, где к деталям предъявляются повышенные требования по надёжности и точности изготовления. Аддитивные методы позволяют получать геометрически сложные элементы, которые невозможно или экономически нецелесообразно изготавливать традиционными способами.

Важной особенностью аддитивных технологий является улучшение эксплуатационных свойств готовых изделий. Это достигается за счёт оптимизации термических циклов как в процессе формирования сложных поверхностей (встроенная термообработка), так и на этапе постобработки. В результате детали, предназначенные для использования в горном машиностроении, приобретают повышенную прочность и износостойкость, что критически важно при работе в тяжёлых условиях. Стоит отметить, что применение аддитивных технологий наиболее оправдано в условиях единичного или мелкосерийного производства, что соответствует специфике горного машиностроения.

Список литературы:

1. Цветков, В. Н. Перспективы применения аддитивных технологий в горном машиностроении / В. Н. Цветков, М. Л. Хазин // Технологическое оборудование для горной и нефтегазовой промышленности : сборник трудов XIX международной научно-технической конференции, проведенной в рамках Уральской горнопромышленной декады, Екатеринбург, 20–21 мая 2021 года. – Екатеринбург: Уральский государственный горный университет, 2021. – С.

382-385. – EDN PBKTGZ.

2. Петров, Н. В. Применение технологий 3D-сканирования в реверсивном инжиниринге корпусных деталей / Н. В. Петров, Ш. С. Нозирзода, Е. Д. Петрова // Вестник Кузбасского государственного технического университета. – 2023. – № 1(155). – С. 34-41. – DOI 10.26730/1999-4125-2023-1-34-41. – EDN TXZKFF.

3. Кравец Д.В. SLM-технология: анализ опорных структур изделий в зависимости от материала // Научное сообщество студентов XXI столетия. Технические науки. – 2021.

4. Набатников, Ю. Ф. Современные принципы организации технической подготовки производства горных машин / Ю. Ф. Набатников, В. У. Мнацаканян // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2017. – № S1. – С. 307-316. – EDN YSHJMG.

5. Лесков, А. В. Аддитивные технологии: изучить, знать, применять / А. В. Лесков // Кулагинские чтения: техника и технологии производственных процессов: Материалы XXV Международной научно-практической конференции, Чита, 24 ноября – 05 2025 года. – Чита: Забайкальский государственный университет, 2025. – С. 89-93. – EDN WEKJGI.

6. Пумпур, Е. В. Применение аддитивных технологий для ремонта гидропривода горных машин на примере шестеренного насоса НШ-32 / Е. В. Пумпур // Проблемы разработки месторождений углеводородных и рудных полезных ископаемых. – 2016. – № 1. – С. 311-314. – EDN XHWGZB.

7. Нозирзода, Ш. С. Обоснование возможности применения технологии аддитивного производства для изготовления ножа геликоидной формы исполнительного органа геохода / Ш. С. Нозирзода, А. Б. Ефременков // Вестник Кузбасского государственного технического университета. – 2024. – № 2(162). – С. 79-89. – DOI 10.26730/1999-4125-2024-2-79-89. – EDN MELRYS.

8. Нозирзода Ш.С., Ефременков А.Б., Оганесян А.С. Обоснование выбора материала для изготовления ножа исполнительного органа геохода // Устойчивое развитие горных территорий. – 2023.

9. Кравец Д.В. SLM-технология: анализ опорных структур изделий в зависимости от материала // Научное сообщество студентов XXI столетия. Технические науки. – 2021.

10. Салихов Р.В., Кудимов О.В., Нагулин К.Ю., Гильмутдинов А.Х. Плазменная обработка металлических порошковых материалов для лазерных аддитивных технологий // Нигматуллинские чтения. – 2018.

11. Применение аддитивных технологий в горной промышленности / Г. Реджепова, С. Аташов, О. Тойлыев, Г. Аманов // Символ науки: международный научный журнал. – 2024. – Т. 2, № 11-1. – С. 36-37. – EDN BYRGZM.

12. Петров, Н. В. Применение технологий 3D-сканирования в реверсивном инжиниринге корпусных деталей / Н. В. Петров, Ш. С. Нозирзода, Е. Д. Петрова // Вестник Кузбасского государственного технического университета. – 2023. – № 1(155). – С. 34-41. – DOI 10.26730/1999-4125-2023-1-34-41. – EDN TXZKFF.