

УДК 621.891:621.833

РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА FDM-ПЕЧАТИ ШЕСТЕРНИ РЕДУКТОРА ДЛЯ ПОЛЕВЫХ УСЛОВИЙ

Гарсия Монтерросо Рандальф Армандо⁽¹⁾

Студент магистратуры 2 года⁽¹⁾,

кафедра «Технологии обработки материалов»

Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана

Научный руководитель: В.Б. Самойлов

В условиях эксплуатации редукторных систем выход из строя шестерён является одной из наиболее распространённых причин отказа оборудования. Особую проблему представляет восстановление работоспособности редукторов в полевых условиях, где отсутствует специализированное оборудование и техническая документация. Целью данной работы является разработка технологического процесса изготовления шестерни редуктора методом **FDM (Fused Deposition Modeling — моделирование методом послойного наплавления)** с использованием металлокомпозитного материала, обеспечивающим заданные эксплуатационные характеристики в условиях полевого ремонта.

В работе проведен анализ критериев работоспособности и типовых повреждений шестерен редуктора. Установлено, что для деталей, изготавливаемых аддитивными методами, ключевыми критериями являются износостойкость, прочность на изгиб и технологическая воспроизводимость. На основе сравнительного анализа существующих методов изготовления и восстановления зубчатых колес, для полевых условий была выбрана технология FDM-печати как наиболее мобильная, экономически целесообразная и простая в использовании.

Для определения оптимального материала были изготовлены стандартизованные образцы-диски из шести различных металлокомпозитных филаментов (Bestfilament BFCopper, eSUN eCopper, YOUSU PLA Bronze, U3 ART Red Copper, Eryone Metallic Copper, а также базовый PLA в качестве эталона). Трибологические испытания образцов проводились на установке «Триботест-02» по схеме «диск-шар» (ASTM G99) в условиях трения со смазкой «Литол-24» и без нее. Для оценки износостойкости определялись коэффициент трения, объемный износ и интенсивность изнашивания.

В результате экспериментальных исследований установлено, что филамент Eryone Metallic Copper обладает наилучшим комплексом трибологических характеристик. В условиях работы со смазкой он продемонстрировал рекордно низкий коэффициент трения ($\mu = 0,0249$) и минимальную интенсивность изнашивания ($0,062 \cdot 10^{-6}$ мм³/(Н·м)), что более чем в 2 раза ниже, чем у ближайшего конкурента. Материал также показал высокую технологическую плотность (1,26 г/см³), подтверждающую качество печати.

На основе полученных данных разработаны итоговые рекомендации по технологическому процессу, включающие выбор оборудования (FDM-принтер с твердосплавным соплом 0,6 мм), режимы печати (температура сопла 200-210 °С, отключенный обдув, 100% заполнение) и обязательную пост-обработку со смазкой. Предложенная технология позволяет в течение 24 часов восстановить функциональность узла при отсутствии стационарной ремонтной базы. Разработанный процесс может быть рекомендован для оперативного ремонта в полевых условиях как временное ресурсное решение, обеспечивающее вывод техники к месту полноценного ремонта.

Литература

1. *Грибков С.А., Злобин М.В.* Основы аддитивных технологий: учебное пособие. М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2021. 112 с.
2. *Рабинович Е.З.* Трение и износ в машинах. М.: Машиностроение, 2018. 288 с.
3. Технический паспорт на филамент «Eryone Metallic Copper». Режим доступа: <https://www.eryone.com/> (дата обращения: 01.04.2025).
4. ASTM G99-17. Standard Test Method for Wear Testing with a Pin-on-Disk Apparatus. ASTM International, 2017.
5. ГОСТ 21150-87. Смазки пластичные. Общие технические условия.