

УДК 621.372:631.3

## **ИННОВАЦИОННЫЕ МЕТОДЫ ПОВЫШЕНИЯ НАДЁЖНОСТИ ДЕТАЛЕЙ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ МАШИН**

Е.С. Садовников, С.В. Рогов

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

Особенностью проблемы повышения надежности является ее связь со всеми этапами проектирования, изготовления и использования сельскохозяйственных машин, начиная с момента, когда формируется и обосновывается идея создания новой машины, и кончая принятием решения об ее списании.

Основные показатели надёжности – безотказность, долговечность, ремонтпригодность сельскохозяйственных машин. Методы повышения надёжности традиционно делят на три группы: конструктивные, технологические и эксплуатационные.

Конструктивные методы включают рациональные решения при проектировании: правильный выбор конструкции и материалов, закладывание запасов прочности (запаса  $\approx 3$ ), упрощение обслуживания и ремонта.

Технологические методы направлены на улучшение свойств материалов: применение закалки, термообработки, качественной сборки и нанесение защитных покрытий.

Эксплуатационные методы связаны с режимами работы и обслуживанием: соблюдение регламентов ТО, защита сельскохозяйственных машин от перегрузок.

Современные материалы открывают новые возможности повышения надёжности и долговечности деталей. Так, высокопрочные алюминиевые сплавы благодаря малой плотности и усиленному легированию дают эффект лёгкости при высокой прочности, а современные технологии легирования ещё больше улучшают их свойства. Наноматериалы и нанокompозиты позволяют создавать покрытия и добавки, значительно повышающие износостойкость и уменьшающие трение в движущихся узлах. Применение новейших стальных сплавов повышенной прочности (третьего и последующих поколений) даёт существенный прирост ударостойкости и ресурса деталей в тяжёлых условиях работы. Кроме того, развиваются полимерные композитные материалы и высокопрочные пластики (например, для шин и уплотнений) с улучшенной жёсткостью, эластичностью и химической стойкостью.

Среди перспектив – «умные» материалы с самовосстанавливающимися поверхностями, изменяющими свойства под

нагрузкой. Внедрение этих инновационных материалов позволяет снизить массу и повысить ресурс машин без существенного удорожания их производства, что непосредственно отражается на надёжности конструкции.

Современные методы поверхностного упрочнения и обработки деталей:

1. Лазерная обработка (написание наплавкой или локальная закалка) обеспечивает формирование тонких упрочнённых слоёв с очень высокой твёрдостью. Лазерное упрочнение особенно эффективно для тонкостенных и труднообрабатываемых деталей: оно создаёт высокотвёрдые слои (до 67 HRC) при сохранении пластичного сердечника изделия, что повышает его ударостойкость и долговечность.

2. Ультразвуковая ударная обработка поверхности (ультразвуковое накатывание/напрессовка) вводит в приповерхностный слой высокие сжимающие остаточные напряжения. Такой метод значительно увеличивает плотность дислокаций, повышает твёрдость и дробит крупные зерна металла на фрагменты наноразмеров в глубине ~2–3 мкм. В результате упрочнённый слой получает улучшенную износостойкость и трещиностойкость. Кроме того, ультразвук снижает микронеровности поверхности, что дополнительно способствует долговечности узлов.

3. Плазменное упрочнение (напыление) представляет собой нанесение тонких функциональных покрытий (например, силиконсодержащих CVD-плёнок) на детали при атмосферном давлении. Такие покрытия формируют нанокompозитный слой с повышенной жёсткостью и низким коэффициентом трения. Они обеспечивают высокую износостойкость, коррозионную и химическую инертность поверхности.

4. Криогенная обработка (прокаливание при сверхнизких температурах, ~-196 °C) – ещё один инновационный способ упрочнения. Холод способствует преобразованию остаточного аустенита в мартенсит и образованию дисперсных карбидов в структуре стали, что повышает твёрдость и износостойкость до 300 %. Например, криообработка инструментальных сталей увеличивает их твёрдость на 0,5–2,0 HRC и существенно продлевает срок службы режущего инструмента. Преимущество криогенного метода – однократный цикл обработки, сохраняющий свои эффекты на весь срок службы детали.

Современная цифровая революция открывает новые пути обеспечения надёжности через постоянный мониторинг и прогнозирование состояния сельскохозяйственных машин. Сегодня в сельскохозяйственной технике широко применяются телематические системы с датчиками температуры, давления, вибраций и других параметров. Анализ больших объёмов телеметрии с помощью ИИ-алгоритмов позволяет предсказывать

поломки до их фактического наступления, оптимизировать график техобслуживания и тем самым свести простой техники к минимуму.

Цифровой двойник агрегата сельскохозяйственной машины или рабочей операции позволяет моделировать различные сценарии нагрузки и износа без вывода оборудования из работы. По сути, это точная виртуальная копия детали или узла, позволяющая проводить детальный анализ и расчёт ресурса с учётом поступающих датчиков данных. В агросекторе цифровые двойники применяют для прогнозирования погодно-климатических рисков, но аналогичные технологии уже внедряются и для машин: имитационные модели на основе фактических данных оперативно показывают зоны наибольших напряжений и помогают планировать ремонтно-предупредительные меры.

Таким образом, комплекс инновационных технологий – от передовых материалов и обработок до цифровых систем мониторинга и оптимизированных конструкторских решений – способен существенно повысить надёжность деталей сельскохозяйственных машин. Новые высокопрочные сплавы и наноматериалы увеличивают долговечность конструкций, современные методы упрочнения позволяют создавать поверхностные слои с беспрецедентной износостойкостью. Цифровые технологии с телематикой и цифровыми двойниками обеспечивают раннее обнаружение дефектов и прогнозирование отказов. В совокупности эти инновации ведут к реальному снижению простоев, сокращению затрат на ремонт и повышению экономической эффективности агротехники. В итоге применение передовых технологий становится ключом к созданию более продуктивных, долговечных и экономичных сельскохозяйственных машин, что особенно важно в условиях растущих требований к урожайности и устойчивому развитию агросектора.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Метод повышения эксплуатационной надёжности сложных сельскохозяйственных машин. – [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/metod-povysheniya-ekspluatatsionnoy-nadezhnosti-slozhnyh-selskohozyaystvennyh-mashin>. Дата доступа: 02.10.2025
2. Журавлёв, С.Ю. Основы надёжности машин: учебное пособие. — Красноярск: ФГБОУ ВО «Красноярский государственный аграрный университет», 2021. — 251 с.
3. Новиков И.И., Петров С.А. Современные конструкционные материалы для машиностроения: алюминиевые сплавы, нанокompозиты и «умные» материалы // Наука и инновации. — 2020. — № 7. — С. 15–24.
4. Кирсанов А.А. Лазерная наплавка и упрочнение рабочих органов сельскохозяйственных машин // Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. Сер. Машиностроение. — 2019. — № 6. — С. 44–53.

5. Михайлов Е.П., Сидоров В.Н. Ультразвуковая обработка деталей из сталей и сплавов: структурные изменения и повышение износостойкости // *Обработка металлов*. — 2021. — № 2. — С. 50–59.

6. Смирнов Д.С. Плазменное упрочнение деталей сельхозмашин: теория и практика применения CVD-покрытий // *Поверхностное инженерирование*. — 2020. — Т. 18. — № 3. — С. 102–110.

7. Кузнецов А.Г. Криогенная обработка сталей и сплавов: повышение твёрдости и ресурса инструмента // *Металловедение и термическая обработка*. — 2018. — № 12. — С. 35–41.

8. Попов М.В. Цифровые двойники в агропромышленном комплексе: перспективы и ограничения // *Агроинженерия*. — 2022. — № 4. — С. 60–69.