

4. Лялякин, В. П. Восстановление и упрочнение деталей машин в агропромышленном комплексе России и Белоруссии / В. П. Лялякин, В. П. Иванов // Ремонт. Восстановление. Модернизация. – 2004. – № 2. – С. 2-7. – EDN QVVGREO.

5. Восстановление деталей машин: состояние и перспективы / В. И. Черноиванов, И. Г. Голубев; М-во сел. хоз-ва Рос. Федерации, Федер. гос. науч. учреждение «Рос. науч.-исслед. ин-т информ. и техн.-экон. исслед. по инж.-техн. обеспечению агропром. комплекса» (ФГНУ «Росинформагротех»). – М.: ФГНУ «Росинформагротех», 2010.

6. Ипатов, А. Г. Упрочнение и восстановление короткоимпульсной лазерной наплавкой деталей керамическими материалами / А. Г. Ипатов // Сельский механизатор. – 2025. – № 10. – С. 27-29. – DOI 10.47336/0131-7393-2025-10-27-28-29. – EDN NLESEN.

7. Физико-механические свойства керамических покрытий, получаемых короткоимпульсной лазерной наплавкой порошковой смеси на основе бора / А. Г. Ипатов, М. Н. Ерохин, С. П. Казанцев [и др.] // Агроинженерия. – 2023. – Т. 25, № 1. – С. 71-76.

8. Kharanzhevskiy, E.V., Ipatov, A.G., Makarov, A.V. et al. Towards eliminating friction and wear in plain bearings operating without lubrication. Sci Rep 13, 17362 (2023). <https://doi.org/10.1038/s41598-023-44702-6>

УДК 631.353.722

Василевский П.Н.¹, старший преподаватель;

Бондаренко А.Д.², студент

¹ *Учреждение образования «Белорусский государственный аграрный технический университет», г. Минск, Республика Беларусь*

² *Белорусский национальный технический университет,
г. Минск, Республика Беларусь*

ПОВЫШЕНИЕ ЭКСПЛУАТАЦИОННОГО РЕСУРСА РЕЖУЩИХ ЭЛЕМЕНТОВ РОТОРНЫХ КОСИЛОК МЕТОДАМИ ПОВЕРХНОСТНОГО УПРОЧНЕНИЯ

Аннотация. В работе рассмотрены методы повышения эксплуатационного ресурса режущих элементов роторных косилок, функционирующих в условиях интенсивного абразивного и ударного изнашивания. Основное внимание уделено нитроцементации с последующей закалкой и низким отпускком, обеспечивающей формирование упрочненного диффузионного слоя с повышенной микротвердостью. Показано, что применение поверхностного упрочнения позволяет увеличить износостойкость ножей, улучшить стабильность режущих свойств и повысить срок службы сменных деталей. Отмечена перспективность электроискрового легирования и лазерной модификации поверхности.

Abstract. This paper examines methods for increasing the service life of rotary mower cutting elements operating under conditions of intense abrasive and impact wear. Primary attention is paid to nitrocarburizing followed by hardening and low-temperature tempering, which ensures the formation of a hardened diffusion layer with increased

microhardness. It is shown that surface hardening can increase the wear resistance of blades, improve the stability of cutting properties, and extend the service life of replaceable parts. The potential of spark etching and laser surface modification is highlighted.

Ключевые слова. Роторная косилка, нож, режущий элемент, поверхностное упрочнение, нитроцементация, микроструктура, микротвердость, износостойкость, эксплуатационный ресурс.

Keywords. Rotary mower, knife, cutting element, surface hardening, nitrocarburizing, microstructure, microhardness, wear resistance, service life.

Эксплуатационная надежность роторных косилок в значительной степени определяется состоянием их режущих элементов. Ножи работают в условиях сложного сочетания ударных нагрузок, абразивного воздействия и трения при ограниченной смазке либо в ее отсутствии [1]. При контакте с растительной массой, частицами почвы, песком, мелкими камнями и другими твердыми включениями происходит интенсивное изнашивание рабочей кромки, что приводит к ухудшению качества среза и сокращению срока службы деталей.

Одной из основных причин выхода ножей из строя является развитие поверхностных повреждений в виде сколов, микротрещин, выкрашиваний, зазубрин и каверн. Эти дефекты нарушают геометрию режущей части, повышают сопротивление резанию и снижают эффективность работы косилки. В связи с этим актуальной задачей является разработка технологических решений, направленных на повышение износостойкости и прочности режущих элементов.

К числу наиболее нагруженных деталей относятся ножи дисковых режущих аппаратов роторных косилок, пример конструктивного исполнения которых представлен на рисунке 1.



Рисунок 1 – Конструктивное исполнение ножа роторной косилки размером

Практика производства показывает, что для изготовления ножей широко применяются сравнительно недорогие конструкционные стали, подвергаемые стандартной термической обработке – закалке и отпуску. Наиболее распространены стали 45, 40Х, 65Г и аналогичные марки. После обработки такие изделия, как правило, имеют твердость в пределах 35–48 HRC, предел прочности порядка 900–1200 МПа и ударную вязкость 0,2–0,6 МДж/м².

Особенно часто для изготовления ножей используют высокоуглеродистую сталь 65Г. После термической обработки для нее характерны значения $\sigma_B > 600$ МПа, KCU около 30 Дж/см² и твердость 40–50 HRC. Однако при эксплуатации в реальных полевых условиях сравнительно невысокая ударная вязкость может вызывать разрушение ножа при встрече с камнями, металлическими предметами и другими препятствиями. При высоких скоростях вращения режущих органов это повышает опасность выброса фрагментов детали из-под защитного кожуха машины. Вместе с тем наличие марганца в составе таких сталей способствует увеличению прочности, твердости и упругих свойств за счет образования твердого раствора в железе.

Более благоприятное сочетание механических характеристик могут обеспечивать легированные мартенситные стали 33ХС и 30ХГСА. Для стали 33ХС характерны предел прочности $\sigma_B = 880$ МПа и ударная вязкость KCU = 59 Дж/см². Для стали 30ХГСА данные показатели составляют соответственно $\sigma_B = 1670$ МПа и KCU = 75 Дж/см². Применение указанных материалов позволяет получить более высокую сопротивляемость ударному разрушению при сохранении достаточной прочности и технологичности.

Существенное влияние на срок службы ножей оказывает не только выбор материала, но и состояние поверхностного слоя. Наиболее интенсивному разрушению подвергается именно режущая кромка, поэтому перспективным направлением является использование методов поверхностного упрочнения, позволяющих улучшить свойства рабочей зоны без значительного снижения вязкости сердцевины.

Одним из таких методов является нитроцементация с последующей термической обработкой. Эффективность данного подхода обусловлена тем, что при диффузионном насыщении поверхностного слоя углеродом и азотом формируется структура, содержащая карбиды и нитриды, способствующие повышению твердости, износостойкости и стабильности режущих свойств.

При данной обработке формируется выраженный упрочненный слой с характерной многокомпонентной структурой. Микроструктурный анализ показал, что после нитроцементации и закалки поверхностная зона содержит остаточный аустенит, мелкодисперсные карбиды и нитриды, распределенные в мелкоигольчатой мартенситной матрице. Сердцевина изделия была представлена мелкоигольчатым мартенситом отпуска. Микроструктурное состояние материала после различных стадий обработки приведено на рисунке 2.

Исследования показали, что общая толщина сформированного упрочненного слоя находилась в пределах 20–24 мкм. По строению он

включал наружную двухфазную зону с дисперсными выделениями вторичной фазы и внутренний однофазный подслоя, надежно связанный с металлической основой. Такая структура обеспечивает сочетание высокой твердости рабочей поверхности и достаточной прочности переходной области.

Изменение структурного состояния закономерно отразилось на уровне микротвердости обработанной поверхности. После нитроцементации микротвердость диффузионного слоя достигала 9000 МПа, тогда как микротвердость сердцевины составляла около 6000 МПа. После низкого отпуска наблюдалось некоторое снижение твердости поверхностной зоны. Это связано с выделением углерода из пересыщенного твердого раствора и образованием карбидов, а также с уменьшением внутренних термических и структурных напряжений, возникших при закалке.

Следовательно, термодиффузионное упрочнение обеспечивает существенное повышение механических характеристик поверхности ножей при сохранении более вязкой сердцевины. Такое сочетание свойств особенно важно для деталей, работающих в условиях ударного и абразивного изнашивания.

Наряду с химико-термической обработкой практический интерес представляют высококонцентрированные энергетические методы модификации поверхности. К их числу относятся электроискровое легирование и лазерная обработка. Эти технологии позволяют локально изменять состояние режущей кромки и формировать поверхностные слои с улучшенными физико-механическими и триботехническими характеристиками (рисунк 2).



Рисунок 2 – Варианты поверхностной модификации ножа роторной косилки:
а – состояние режущей кромки после электроискрового легирования;
б – состояние поверхности после лазерной обработки

Применение указанных методов способствует значительному увеличению микротвердости лезвийной части, повышению сопротивляемости абразивному воздействию и более длительному сохранению режущей способности. Кроме того, при рациональном подборе параметров обработки возможно формирование эффекта самозатачивания, что положительно сказывается на качестве среза и уменьшает интенсивность затупления ножей в процессе эксплуатации.

Список использованной литературы

1. Шилов И.Н. Повышение работоспособности деталей рабочих органов сельскохозяйственных машин / Шилов И.Н., Бетень Г.Ф., Маринич Л.А. – Минск.: БГАТУ, 2010. – 319 с.

Summary. Thus, increasing the service life of rotary mower cutting elements should be considered a comprehensive materials science and engineering challenge. It has been established that traditional structural steels, after standard heat treatment, do not always provide the required blade durability under abrasive and impact wear. Nitrocarburizing followed by hardening and low-temperature tempering creates a hardened diffusion layer 20–24 μm thick with high microhardness, which contributes to increased wear resistance and consistent cutting performance. Electrospark alloying and laser surface modification can provide additional benefits. These hardening methods are an effective way to extend the service life of blades and improve the reliability of rotary mowers.

УДК 658.581

Селюк Ю.Н., старший преподаватель;

Бондарчук О.В., кандидат технических наук

*Учреждение образования «Белорусский государственный аграрный
технический университет», г. Минск, Республика Беларусь*

ПЛАНИРОВАНИЕ ЭКСПЛУАТАЦИИ ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ В АПК С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕТОДИКИ РИСК-ОРИЕНТИРОВАННОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ

Аннотация. В статье приведена методика реализации риск-ориентированного обслуживания (RCM) электроустановок на примере электроактиватора биологической системы ячменя. Что позволяет обеспечить его рациональную эксплуатацию, снизить затраты на обслуживание, повысить эксплуатационную надежность, снизить ущерб от отказов оборудования.

Abstract. This article outlines a methodology for implementing risk-based maintenance (RCM) of electrical installations, using the example of an electrical activator for a barley biological system. This approach ensures efficient operation, reduces maintenance costs, improves operational reliability and minimizes the damage caused by equipment failures.

Ключевые слова. методика RCM, эксплуатация электрооборудования, надежность, обслуживание.

Key words. RCM methodology, operation of electrical equipment, reliability, maintenance.

В настоящее время АПК РБ – это отрасль с достаточно высоким уровнем электрификации и автоматизации технологических процессов. Вследствие этого значительно возрастают требования к надёжности функционирования высокопроизводительного оборудования, реализация которых возможна за счёт повышения эффективности его эксплуатации. Важная