

практической конференции. В 3 ч. Ч. 1. – Курск : Курская государственная сельскохозяйственная академия, 2017. – С. 356–359.

8. Григорьев, Ю. Н. Геосинтетические материалы в дорожном строительстве / Ю. Н. Григорьев, А. П. Лупанов. – М. : МАДИ, 2011. – 112 с.

9. Аналитические исследования рабочей зоны эксцентрика в устройстве очистки льнокостры с колеблющейся сетчатой лентой / В. А. Шаршунов [и др.] // Вестник Белорусской государственной сельскохозяйственной академии. – 2026. – № 1. – С. 127–132.

10. Теоретическое обоснование кинематики эксцентрикового воздействия на сетчатую ленту транспортера для очистки вороха льнокостры / В. А. Шаршунов [и др.] // Вестник Белорусской государственной сельскохозяйственной академии. – 2026. – № 1. – С. 100–105.

11. Мельников, С. В. Планирование эксперимента в исследованиях сельскохозяйственных процессов / С. В. Мельников, В. Р. Алешкин, П. М. Рощин. – Л. : Колос, 1972. – 168 с.

12. Митков, А. Л. Статистические методы в сельхозмашиностроении / А. Л. Митков. – М. : Машиностроение, 1978. – 360 с.

Summary. Deformation and Strength Characteristics of Polymer Mesh Belts under Combined Loading: Experimental and Mathematical Modeling.

This paper presents the results of a study on the mechanical behavior of glass fiber and polyester mesh belts under combined tensile and bending loading. Calibration relationships of force versus displacement and multifactor models of relative elongation were developed, and the ultimate material characteristics were determined. The analysis reveals that glass fiber mesh exhibits rigid, nonlinear behavior and fails instantaneously, whereas polyester mesh demonstrates greater ductility and stability. The obtained linear and multifactor regression models ($R^2 \geq 0.95$) adequately describe the material behavior under various loading conditions. A closed mathematical model is proposed to predict both the elastic deformation region and failure conditions. The results can be applied in the design of belt conveying systems, including those for flax shive cleaning processes.

УДК 621.9

Леонов С.Л., доктор технических наук, профессор;

Иконников А.М., доктор технических наук, доцент;

Ковальчук А.Е., магистрант; **Иконников Н.А.**, студент
*ФГБОУ ВО «Алтайский государственный технический университет
им. И.И. Ползунова», г. Барнаул, Российская Федерация*

МАГНИТО-АБРАЗИВНАЯ ОБРАБОТКА В СОВРЕМЕННОМ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОМ МАШИНОСТРОЕНИИ

Аннотация. В статье рассматриваются перспективы и эффективность применения магнитно-абразивной обработки в производстве деталей сельскохозяйственного машиностроения. Описываются технологические

особенности метода, позволяющие достигать высокого качества поверхностей сложной формы и повышать качество изделий. Реализация данной технологии способствует значительному увеличению износостойкости и долговечности узлов современной агротехники.

Abstract. The article examines the prospects and efficiency of using magnetic-abrasive processing in the production of agricultural engineering parts. The technological features of the method are described, allowing to achieve high-quality surfaces of complex shapes and improve the quality of products. The implementation of this technology contributes to a significant increase in the wear resistance and durability of modern agricultural machinery components.

Ключевые слова. Магнитно-абразивная обработка, индуктор, магнитная индукция, магнитное поле, Ansys Maxwell.

Keywords. Magnetic abrasive finishing, inductor, magnetic induction, magnetic field, Ansys Maxwell.

Современное сельскохозяйственное машиностроение характеризуется высокими требованиями к надежности, ресурсу и точностным характеристикам рабочих органов машин. Детали почвообрабатывающих, посевных и уборочных агрегатов (лезвия ножей, диски, лапы культиваторов, высевающие аппараты) работают в условиях интенсивного износа, ударных и циклических нагрузок. Традиционные методы финишной обработки, такие как шлифование, полирование, электрохимические способы, не всегда обеспечивают требуемые физико-механические свойства поверхности, таких как высокая микротвёрдость, отсутствие прижогов и остаточных растягивающих напряжений.

Одним из перспективных методов повышения эксплуатационной стойкости деталей является магнитно-абразивная обработка (МАО), совмещающая механическое микрорезание с действием магнитного поля. В промышленности этот метод доказал свою эффективность для чистовой обработки сложнопрофильных деталей, однако его применение в сельскохозяйственном машиностроении получило малое развитие. [1]

Следуя из этого целью данной работы является обоснование технологических параметров магнитно-абразивной обработки для обработки деталей сельскохозяйственного назначения.

Магнитно-абразивная обработка (МАО) представляет собой способ абразивного резания, в которых для управления режущим инструментом используется магнитное поле, создаваемое в зоне обработки детали. В отличие от традиционных методов шлифования, где абразив жестко закреплен на связке, при МАО роль инструмента выполняет ферромагнитный абразивный порошок, частицы которого под действием магнитного поля ориентируются в рабочем зазоре.

Процесс съема металла сочетает два механизма: механическое микрорезание абразивными зернами и пластическое деформирование микронеровностей поверхности под действием движущейся магнитной

щетки. Абразивные частицы, удерживаемые в порошке магнитными силами, совершают сложное движение относительно обрабатываемой поверхности, что обеспечивает равномерную обработку даже на труднодоступных участках.

Электромагнитные индукторы позволяют плавно регулировать магнитную индукцию в рабочем зазоре путем изменения тока в катушках. Однако они имеют существенные недостатки: большие габариты, необходимость в источнике питания, сложность герметизации при работе с СОЖ и значительные потоки рассеивания.

У индукторов на постоянных магнитах нет этих недостатков: они автономны, компактны, надежны и не требуют электропитания. Конструктивно такой индуктор собирается из элементарных магнитных ячеек, где одинаковые полюса соседних магнитов обращены друг к другу, а стальные магнитопроводы направляют магнитный поток в рабочую зону. [3]

Ключевые преимущества МАО перед традиционными методами:

1. Отсутствие жесткого закрепления абразива - инструмент адаптируется к геометрии детали, что исключает риск «завала» кромок и обеспечивает обработку фасонных поверхностей.

2. Низкая температура в зоне резания - отсутствие прижогов и микроструктурных изменений. Этот пункт важен для деталей, работающих под циклическими нагрузками.

3. Возможность обработки широкого спектра материалов - от конструкционных сталей до твердых сплавов и немагнитных материалов.

Современное сельскохозяйственное машиностроение предъявляет специфические требования к обрабатываемым деталям, которые могут быть эффективно реализованы с помощью МАО. Наиболее перспективные направления для внедрения МАО представлены ниже.

Почвообрабатывающая техника - рабочие органы почвообрабатывающих машин работают в условиях интенсивного абразивного износа, вызываемого трением рабочих частей о почву с содержанием кварцевых частиц. Традиционные методы упрочнения, такие как наплавка, термическая обработка, не всегда обеспечивают требуемый ресурс из-за неравномерности упрочненного слоя или снижения вязкости материала.

Почвообрабатывающая техника включает широкий спектр рабочих органов, имеющих прямой контакт с почвой:

Лапы культиваторов (стрельчатые, долотообразные, рыхлительные) - работают на глубине 5-25 см при скоростях до 12-15 км/ч. Диски борон (сферические, вырезные) - испытывают знакопеременные нагрузки при вращении и удары о камни. Ножи дисковых лушильников - чисто режущий инструмент с высокой концентрацией напряжений на кромке. Долога и рыхлители глубокорыхлителей - работают на глубинах до 50-60 см. Сошники посевных комплексов - испытывают совместное воздействие абразивного износа и коррозии от минеральных удобрений.

Для обработки дисковых рабочих органов наиболее эффективны роторные установки с кольцевыми индукторами, обрабатывающие обе стороны диска одновременно. Обработка стрельчатых лап требует использования индукторов с использованием многоосевых систем, обеспечивающих доступ к внутренним углам и радиусным переходам.

Режущие аппараты уборочной техники испытывают воздействия абразивного износа, ударных нагрузок и коррозионного воздействия растительных соков.

Уборочная техника (зерноуборочные, кормоуборочные комбайны, косилки, силосоуборочные комплексы) включает быстроизнашивающиеся режущие элементы:

Сегменты ножей режущих аппаратов – треугольные или трапециевидные пластины с заточенными кромками, совершающие возвратно-поступательное движение. Пальцы режущих аппаратов – неподвижные противорежущие детали, по которым скользят сегменты. Дисковые ножи ротационных косилок – вращаются с окружной скоростью до 70-100 м/с. Бильные молотки дробилок – испытывают абразивно-ударное воздействие частиц зерна, соломы, минеральных примесей. Ножи измельчителей силоса – работают в зелёной массе с высоким содержанием кремнезёма.

Посевная техника работает в контакте с семенным материалом и абразивными частицами почвы. Повышенные требования предъявляются также к коррозионной стойкости в условиях контакта с минеральными удобрениями.

Посевные комплексы (сеялки точного высева, рядовые сеялки, стерневые сеялки прямого посева) содержат ответственные детали:

Высевающие диски (аппараты) - стальные или полимерные диски с ячейками для захвата семян. Абразивный износ приводит к изменению размера ячеек, повышению травмируемости семян и неравномерности высева. Высевающие катушки (желобчатые, рифлёные) - работают в потоке семян с кусочками почвы и камнями. Сошники (анкерные, дисковые, двухдисковые) - при движении в почве испытывают трение о грунт и коррозионное воздействие удобрений. Направители семян (семяпроводы, сошниковые вкладыши) - должны иметь гладкую поверхность с низким коэффициентом трения. [2]

Исходя из анализа конструкций индукторов и особенностей обрабатываемых деталей, можно выделить три основные технологические схемы, наиболее перспективные для внедрения в сельскохозяйственное машиностроение:

Схема 1. Роторная обработка плоских деталей. Используется для дисков борон, ножей косилок. Деталь закрепляется на столе, а индуктор располагается над обрабатываемой поверхностью. Возможно применение двухсторонней схемы с двумя оппозитными индукторами.

Схема 2. Проходная обработка длинномерных деталей. Применяется для сегментов ножей режущих аппаратов. Деталь протягивается через рабочую зону кольцевого индуктора. Преимущество – возможность включения в поточную линию.

Схема 3. Обработка фасонных поверхностей на многоосевых установках. Для штампованных деталей сложной геометрии (стрельчатые лапы, корпуса высевающих аппаратов) используются установки с индукторами на постоянных магнитах, закрепленными на подвижных головках с ЧПУ. Возможность перемещения по трем координатам и поворота на 360° обеспечивает доступ к любой точке детали.

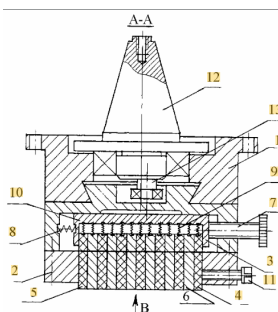


Рисунок 1 – Пример схемы устройства для МАО, реализуемой по технологической схеме 1 [5]

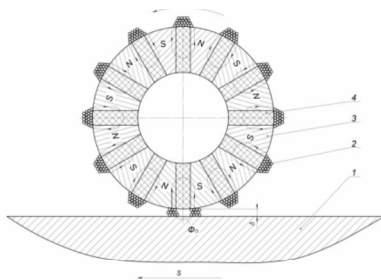


Рисунок 2 – Пример схемы устройства для МАО реализуемой по технологической схеме 2 [4]

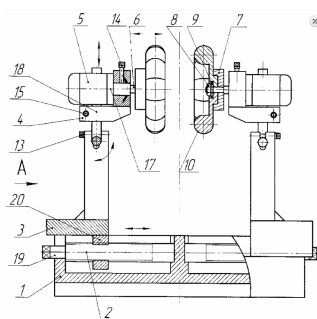


Рисунок 3 – Пример схемы устройства для МАО, реализуемой по технологической схеме 3 [6]

Предварительная оценка показывает, что применение МАО для чистовой и упрочняющей обработки рабочих органов сельскохозяйственной техники позволяет повысить ресурс деталей за счет комплексного улучшения микрорельефа, поверхностной микротвердости

и напряженного состояния, снизить коэффициент трения о почву и растительные материалы, обеспечить стабильность геометрических параметров при серийном производстве.

МАО позволяет достичь высокого качества шероховатости поверхности. При этом температура в зоне обработки не превышает 60-80 °С, тогда как при традиционном шлифовании она достигает 200-300 °С. Это исключает появление прижогов, отпуск мартенсита и другие структурные изменения в поверхностном слое деталей из термоупрочняемых сталей (65Г, 30ХГСА, 40Х), широко применяемых в сельхозмашиностроении.

Список использованной литературы

1. Акулович, Л. М. Упрочняющая и финишная абразивная обработка в магнитном поле деталей сельскохозяйственных машин : монография / Л. М. Акулович, А. В. Миранович, Л. Е. Сергеев, О. Н. Ворошуха ; под ред. Л. М. Акуловича. - Минск : БГАТУ, 2022. – 360 с.
2. Акулович, Л. М. Магнитно-абразивная обработка сложногопрофильных поверхностей деталей сельскохозяйственных машин : монография / Л. М. Акулович, Л. Е. Сергеев. – Минск : БГАТУ, 2019. – 270 с.
3. Фёдоров, В. А. Классификация и разработка устройств с индукторами на постоянных магнитах для магнитно-абразивной обработки фасонных поверхностей / В. А. Фёдоров, А. М. Иконников, В. А. Столбов // Обработка металлов. - 2019. - № 4. - С. 100-107.
4. Иконников А.М., Теоретические основы обеспечения качества и повышения производительности магнитно-абразивной обработки сложногопрофильных поверхностей: диссертация на соискание учёной степени доктора технических наук: 05.02.07 311 с.
5. Патент РФ №2220836. Устройство для магнитно-абразивной обработки / В. А. Фёдоров, А. А. Ситников, Е. Ю. Татаркин и др. ; заявл. 22.04.2002 ; опубл. 10.01.2004.
6. Фёдоров, В. А. Устройство для магнитно-абразивной обработки : пат. 2220836 Рос. Федерация / В. А. Фёдоров, А. А. Ситников, Е. Ю. Татаркин, А. М. Иконников, А. В. Балашов, И. Ф. Коневский ; и. – № 2002110761/02 ; заявл. 22.04.2002 ; опубл. 10.01.2004, Бюл. № 1. - 5 с. : ил..

Summary. The article examines the use of magnetic-abrasive finishing (MAF) for agricultural machinery parts. Unlike traditional grinding, MAF uses a magnetic field to control abrasive particles, ensuring low processing temperatures (60–80 °C) and no thermal damage. Three main processing schemes are described: rotary for flat parts (disc harrows, mower blades), feed-through for long parts (segment knives), and multi-axis for shaped parts (cultivator shares, seeding discs). The method is especially effective for tillage, harvesting, and seeding equipment.