

УДК 621.833

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ МЕТОДОВ ПОВЫШЕНИЯ РАБОТОСПОСОБНОСТИ НОЖЕЙ РЕЖУЩЕГО БАРАБАНА КОРМОУБОРОЧНОГО КОМБАЙНА ПО КРИТЕРИЮ ИЗНОСОСТОЙКОСТИ

П. Н. БОГДАНОВИЧ

Учреждение образования «Белорусский государственный университет транспорта», г. Гомель

М. И. МИХАЙЛОВ, К. М. МИХАЙЛОВ

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

Ключевые слова: кормоуборочный комбайн, ножи режущего барабана, материал, физико-механические свойства, износостойкость.

Введение

На современном этапе развития сельскохозяйственного машиностроения стоит задача разработки и выпуска машин, позволяющих обеспечить максимальное сбережение сырьевых, топливных и энергетических ресурсов на всех этапах производства, переработки и использования сельскохозяйственной продукции [1].

В условиях современного производства растет производительность, экономичность и надежность сельскохозяйственной техники, снижается их масса на единицу мощности, повышается точность изготовления изделий. Современные машиностроительные предприятия выпускают изделия с высокими эксплуатационными качествами при минимальных затратах общественного труда. Большое влияние на безотказность системы оказывают условия ее работы, а именно воздействующие на систему и элементы механические, климатические нагрузки и т. д. При проектировании системы необходимо максимально уменьшить влияние внешних и внутренних нагрузок на ее элементы [1]–[8].

Цель работы: повышение работоспособности ножей режущего барабана кормоуборочного комбайна.

Методика проведения испытаний

Испытания образцов на абразивное изнашивание проводилось на торцевой машине трения (рис. 1).

В качестве контртела был выбран влажный песок, находящийся в металлическом поддоне. Такой состав моделировал реальные условия работы ножей (песок – естественная среда). Принцип испытания заключался в том, что образец 1, закрепленный в оправке 6, опускался на поддон 4, в котором находилось рабочее вещество. Поддон приводился во вращение от электродвигателя в корпусе 5.

На край кронштейна 3 навешивался груз 7 из набора разновесов, что позволяло проводить испытания при различных нагрузках. Держатель имел возможность перемещаться вдоль кронштейна, что позволяло менять радиус от центра диска до образца и проводить испытания с изменением скорости.

В качестве критерия определения триботехнических свойств была выбрана массовая интенсивность изнашивания. Образцы взвешивались до и после проведения испытаний, и по потере массы можно было определить наиболее износостойкий образец при данных условиях проведения эксперимента.

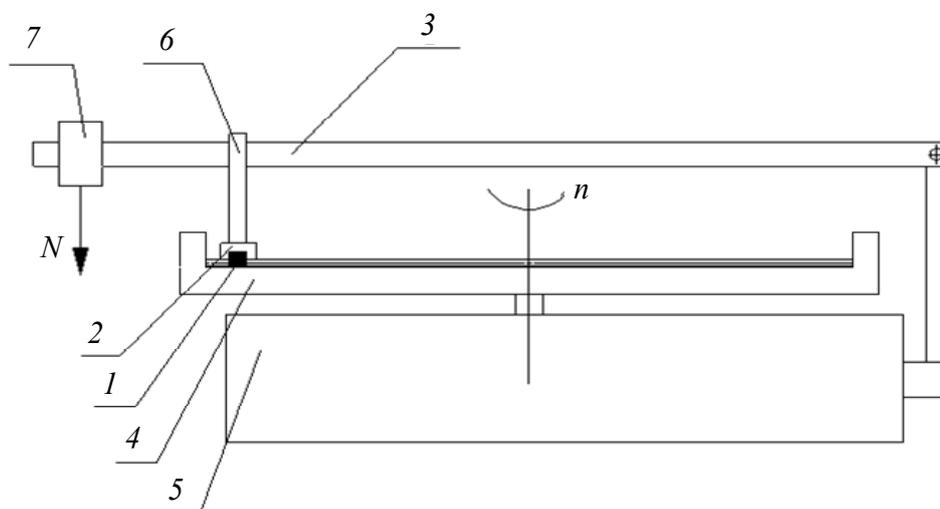


Рис. 1. Схема торцевой машины трения:

1 – рабочее вещество; 2 – образец; 3 – кронштейн; 4 – поддон; 5 – корпус машины;
6 – держатель; 7 – груз

Конструкция поддона была выбрана исходя из свойств рабочей среды, в которой должен был проводиться эксперимент. Поддон имеет дисковую форму с проточкой, обеспечивающей удержание в нем рабочей среды.

Поддон устанавливался и закреплялся на вращающемся столе, в него наливается водная взвесь калийной соли и песка.

Образцы вырезались из ножа кормоуборочного комбайна, материалом которого являлся высокопрочный чугун с шаровидным графитовым включением [3]–[7]. Образцы вырезались в количестве девяти штук.

Перед началом проведения испытания на микротвердость вырезался элемент из ножа кормоуборочного комбайна, так что бы в измеряемой поверхности находились и упрочненный слой, и сам материал ножа. После эта поверхность подвергалась обработке абразивной пастой до зеркального блеска. Затем образец заливался смолой в цилиндре диаметром 30 и высотой 20 мм так, чтобы обработанная поверхность слегка покрывалась смолой.

Результаты испытаний

Чугун ВЧГГ подвергался трем закалкам с различными температурами отпуска. В табл. 1 представлены результаты измерения твердости после трех термических операций. Анализ табл. 1 позволяет заключить, что закалка при 210 и 220 °С эффективнее повышает твердость, чем при 240 °С.

На рис. 2 можно выделить два различных участка по твердости. Это объясняется тем, что траектория измерения была прямой и путь проходил как по материалу основы, так и по упрочненной лазером части. Первый участок пути попал на упрочненный слой (первые пять точек), а затем уже идет материал образца. Полученные результаты позволяют заключить, что твердость основного слоя и материала различны, у упрочненного слоя твердость составляет в среднем 66,2 HRC, а у самого материала 52,7 HRC.

Твердость чугуна ВЧТГ

| Температура закалки, °С | Номер образца | Твердость образца, HRC | | | Среднее значение, HRC | Среднее значение твердости для температурного режима, HRC |
|-------------------------|---------------|------------------------|----|----|-----------------------|---|
| | | 1 | 2 | 3 | | |
| 240 | 1 | 49 | 51 | 51 | 50,3 | 50,4 |
| | 2 | 49 | 53 | 50 | 50,6 | |
| | 3 | 51 | 50 | 50 | 50,3 | |
| 210 | 1 | 56 | 57 | 54 | 55,6 | 54,6 |
| | 2 | 54 | 54 | 54 | 54 | |
| | 3 | 54 | 53 | 56 | 54,3 | |
| 220 | 1 | 55 | 52 | 55 | 54 | 53,7 |
| | 2 | 56 | 54 | 55 | 54 | |
| | 3 | 53 | 55 | 52 | 53,3 | |

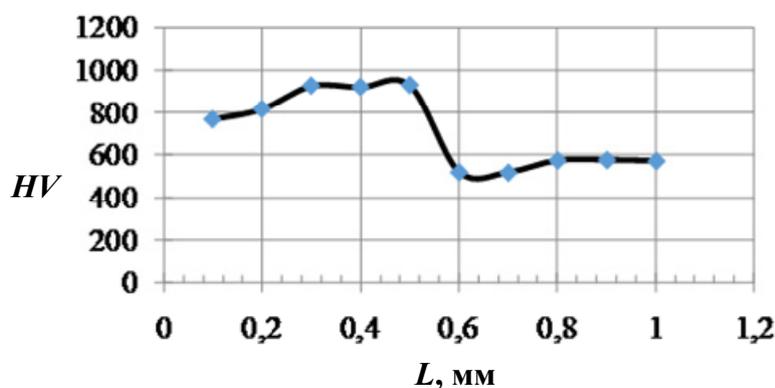


Рис. 2. Микротвердость упрочненного ножа ВЧТГ лазерным методом

Далее испытания проводились на образцах, поверхности которых упрочнены алмазоподобным покрытием (АПП) (рис. 3).

Анализ полученных результатов позволяет заключить, что твердость АПП выше в 1,5 раза, чем материал, упрочненный лазерным лучом. Невзирая на то, что слой АПП с подслоем титана имеет малую толщину и в ходе испытаний алмазный индентор продавливал слой и далее контакт уже проходил с основным материалом.

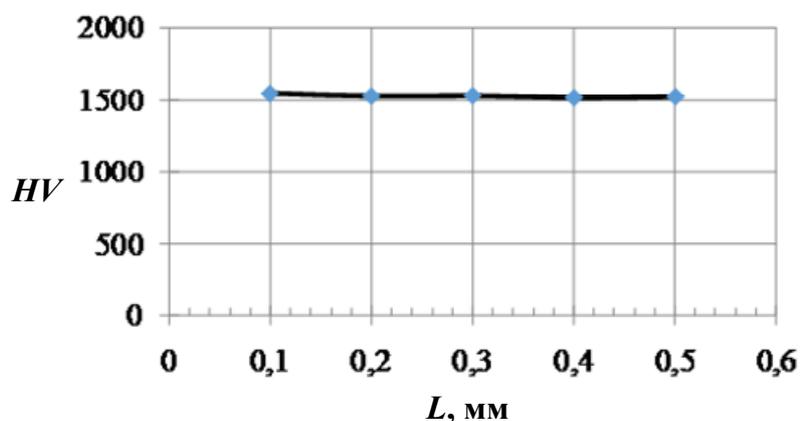


Рис. 3. Микротвердость ножа ВЧТГ с алмазоподобным покрытием

Испытания на интенсивность изнашивания проводились на четырех режимах нагружения и при двух скоростях: низкой скорости $v = 8,3$ и высокой скорости $v = 14,5$ м/с.

Нагрузка на образец N , кг, рассчитывается по формуле

$$N_n = \frac{(N + N_{in})l_1}{l_2}, \quad (1)$$

где N – вес кронштейна, кг; N_{in} – нагрузка для каждого режима, кг; l_1 – длина всего кронштейна, м; l_2 – расстояние от края кронштейна до образца, м; N_i – нагрузка для каждого режима нагружения.

Таким образом, нагрузка на образец для четырех режимов составляла примерно 18, 25, 29 и 34 Н, соответственно.

Интенсивность изнашивания I_n для каждого образца рассчитывалась по формуле

$$I_n = \frac{\Delta m_n}{\rho A_a v_n t}, \quad (2)$$

где Δm_n – изменение массы образца; ρ – плотность, кг/м³ (для высокопрочного чугуна $\rho = 7200$ кг/м³); A_a – площадь контакта образца с тарелкой, м²; v_n – скорость вращения тарелки, м/с; t – время проведения испытаний, с ($t = 3600$ с).

По полученным результатам изменения массы рассчитывалась интенсивность изнашивания образцов без упрочнения, упрочненных АПП и лазерным лучом.

Результаты изнашивания чугуна ВЧТГ в сухом и влажном абразиве представлены в табл. 2.

Таблица 2

Износ чугуна ВЧТГ

| Среда испытания | Скорость вращения тарелки, м/с | Нагрузка на образец N , Н | | | |
|---|--------------------------------|-----------------------------|-------|------|-------|
| | | 18 | 25 | 29 | 34 |
| Изменение массы Δm , 10^{-6} кг | | | | | |
| Сухой абразив | 14,5 | 54,4 | 71,95 | 88 | 108,1 |
| | 8,3 | 45,4 | 55,2 | 60,6 | 69,8 |
| Влажный абразив | 14,5 | 60,1 | 46,5 | 51,7 | 65,7 |
| | 8,3 | 44,3 | 31,3 | 40 | 52,3 |

Интенсивность изнашивания высокопрочного чугуна с графитовым включением шаровидной формы в сухом абразиве при высокой скорости определялась по формуле (2). Во время вращения между поддоном и образцом образуется малый зазор, и в этот зазор проникает песок и контактирует в большей степени с нижней поверхностью образца, а также является абразивом.

В первых двух испытаниях использовался сухой песок при различной скорости. Изнашивание при высокой скорости меньше чем при малой, и с увеличением нагрузки разница между ними уменьшалась (рис. 4).

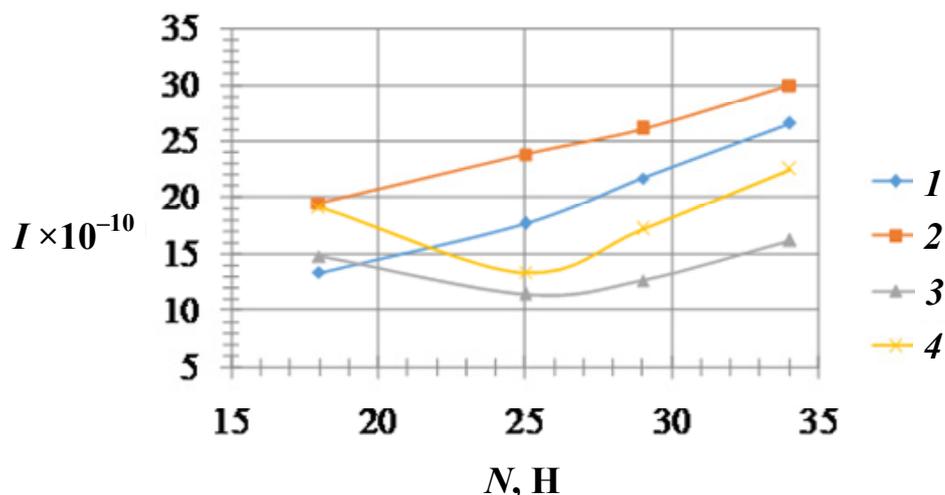


Рис. 4. Влияние нагрузки на износ чугуна ВЧТГ:

1 – в сухом абразиве на высокой скорости; 2 – в сухом абразиве на низкой скорости;
3 – во влажном абразиве на высокой скорости; 4 – во влажном абразиве на низкой скорости

Это обусловлено тем, что при низкой скорости абразивные частицы успевают глубже внедряться в материал, чем при высокой, а значит, и больше срезают материала с поверхности образца.

При увеличении нагрузки в обоих случаях износ растет. Это характеризуется тем, что во время вращения абразив прижимается, с одной стороны, поверхностью образца, а с другой – поверхностью поддона, и с увеличением нагрузки абразив прижимается больше, а значит, частица песка внедряется глубже в поверхность материала, так как твердость частиц песка выше. Далее при движении по поверхности образца абразив срезает больше материала из-за большей глубины внедрения абразива.

Испытания во влажной среде позволяют заключить, что износ при разных скоростях возрастает, но наблюдается высокая интенсивность при минимальной нагрузке на обеих скоростях. Это объясняется тем, что при минимальной нагрузке во время вращения влажный песок не прилипал к поверхности материала, так как между образцом и поддоном существовал большой зазор. Частицы абразива в максимальном количестве проникали в зону контакта, и износ подобен износу при сухом трении, т. е. поверхность образца полностью контактировала с поверхностью поддона.

В дальнейшем при увеличении нагрузки зазор между образцом и поддоном торцевой машины трения уменьшился, поэтому в зону контакта попадало меньше абразивных частиц, следовательно, износ материала становится меньше. Также влага выступала в качестве смазочного вещества, т. е. происходило скольжение абразивных частиц по поверхности и износ материала с поверхности образца уменьшался. Визуальный анализ показывает, что на поверхность начинал налипать песок, тем самым уменьшая площадь контакта поверхности образца с абразивом, и следовательно, уменьшается износ образца. Из-за образования как бы сгустка песка перед образцом во время вращения в зону контакта поступает меньше абразивных частиц, чем при трении с сухим песком. Это и объясняло меньший износ образца во влажном песке.

Также следует отметить, что при испытании во влажном песке на дорожке трения и на самой поверхности трения образца наблюдались частицы черного оттенка. Это свидетельствует о том, что при испытании во влажной среде присутствовали факторы коррозионного изнашивания, а следовательно, это тоже оказывало влияние на износ материала.

Результаты изнашивания чугуна ВЧТГ с АПП в сухом и влажном абразиве представлены в табл. 3.

Таблица 3

Износ чугуна ВЧТГ с алмазоподобным покрытием

| Среда испытания | Скорость вращения тарелки, м/с | Нагрузка на образец N, Н | | | |
|-----------------|--------------------------------|--|------|------|------|
| | | 18 | 25 | 29 | 34 |
| | | Изменение массы $\Delta m, 10^{-6}$ кг | | | |
| Сухой абразив | 14,5 | 43,1 | 67,2 | 68,3 | 70,7 |
| | 8,3 | 17,5 | 35 | 36 | 29 |
| Влажный абразив | 14,5 | 44,9 | 36,9 | 36,1 | 46,8 |
| | 8,3 | 30,7 | 25,7 | 34,5 | 32,5 |

Интенсивность изнашивания чугуна ВЧТГ с АПП в сухом абразиве при высокой скорости рассчитывалась по формуле (2).

Процесс изнашивания и влияние абразивной среды на износ чугуна с АПП такие же, как и при испытании чугуна без упрочнения. Однако следует отметить, что линейный рост интенсивности изнашивания снизился (рис. 5). Это связано с тем, что часть износа приходилось на нанесенный слой. Этот слой имеет твердость выше, чем основной слой чугуна, а значит, глубина внедрения абразивных частиц в поверхностный слой становилась меньше, следовательно, изнашивание материала с поверхности также становилось меньше. Кроме этого влияние нагрузки на износ также уменьшилось.

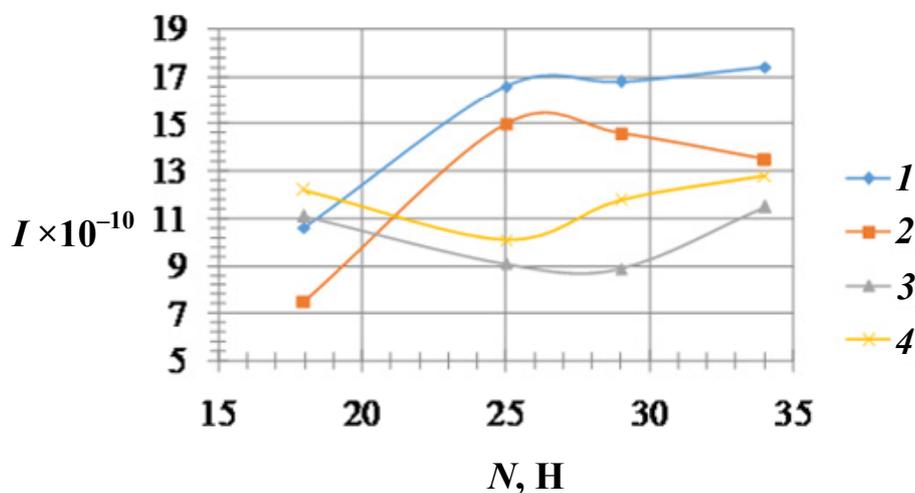


Рис. 5. Влияние нагрузки на износ чугуна ВЧТГ с АПП:
 1 – в сухом абразиве на высокой скорости; 2 – в сухом абразиве на низкой скорости;
 3 – во влажном абразиве на высокой скорости; 4 – во влажном абразиве на низкой скорости

Результаты изнашивания чугуна ВЧТГ, упрочненного лазерным методом, в сухом и влажном абразиве представлены в табл. 4.

Износ чугуна ВЧТГ после лазерного упрочнения

| Среда испытания | Скорость вращения поддона, м/с | Нагрузка на образец $N, Н$ | | | |
|-----------------|--------------------------------|--|------|------|------|
| | | 18 | 25 | 29 | 34 |
| | | Изменение массы $\Delta m, 10^{-6} кг$ | | | |
| Сухой абразив | 14,5 | 40,4 | 59,3 | 73,1 | 80,3 |
| | 8,3 | 13 | 23,2 | 25,2 | 40,1 |
| Влажный абразив | 14,5 | 41,7 | 37,2 | 34,9 | 43,4 |
| | 8,3 | 35 | 26 | 24 | 23 |

Интенсивность изнашивания чугуна ВЧТГ, упрочненного лазерным методом, в сухом абразиве при высокой скорости рассчитывалась по формуле (2).

Процесс изнашивания и влияние абразивной среды на износ чугуна после лазерного упрочнения (рис. 6) такие же, как и при испытании чугуна без упрочнения. Однако следует отметить, что линейный рост интенсивности изнашивания выше, чем у АПП. Это связано с тем, что износ также приходился на часть упрочненного слоя, но твердость упрочненного слоя, обработанного лазерным лучом, меньше чем у АПП, следовательно, внедрение абразивных частиц будет глубже и износ поверхности больше. Влияние нагрузки на износ становится меньше.

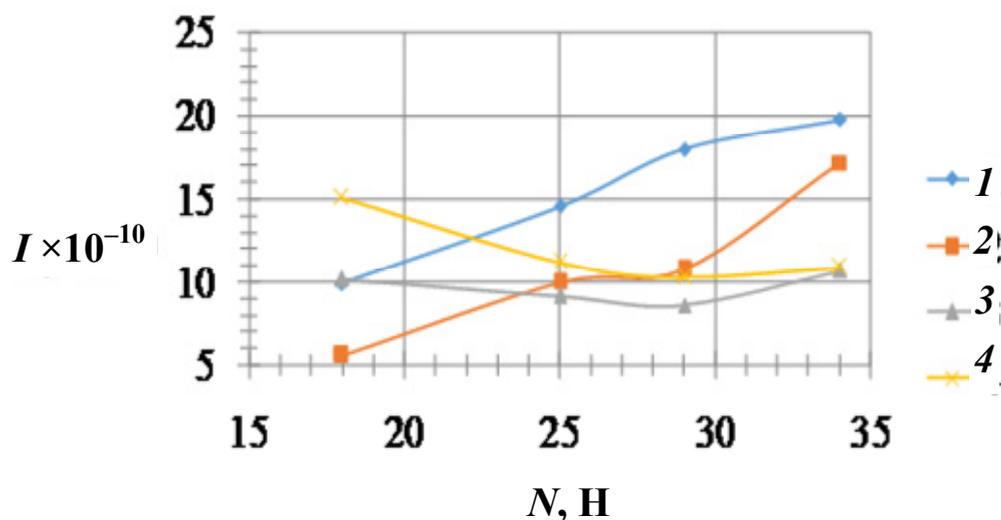


Рис. 6. Влияние нагрузки на износ чугуна ВЧТГ, упрочненного лазерным методом:
 1 – в сухом абразиве на низкой скорости; 2 – в сухом абразиве на высокой скорости;
 3 – во влажном абразиве на высокой скорости; 4 – во влажном абразиве на низкой скорости

Для сравнения методов упрочнения между собой рассчитывалась средняя интенсивность изнашивания I_{cp} по результатам двух скоростей каждого метода.

На рис. 7 представлено влияние упрочнения на износ в сухом абразиве. Самая высокая интенсивность изнашивания наблюдается у образца без упрочнения. Образец не имеет упрочненного слоя, и по всей поверхности контакта находится однородный материал – чугун ВЧТГ, у которого после проведения испытаний оказалась самая малая твердость. Следовательно, абразивные частицы удаляют большую массу, чем при АПП или лазерном упрочнении.

Результаты испытаний образцов с АПП и упрочненных лазерным методом позволяют заключить, что после лазерного упрочнения интенсивность изнашивания мень-

ше, чем у АПП (рис. 8). Это связано с тем, что хоть и слой лазерного упрочнения имеет меньшую твердость, но по глубине в 20 раз больше алмазоподобного (АПП $h = 0,1$ мкм, лазерное упрочнение $h = 0,2$ мм).

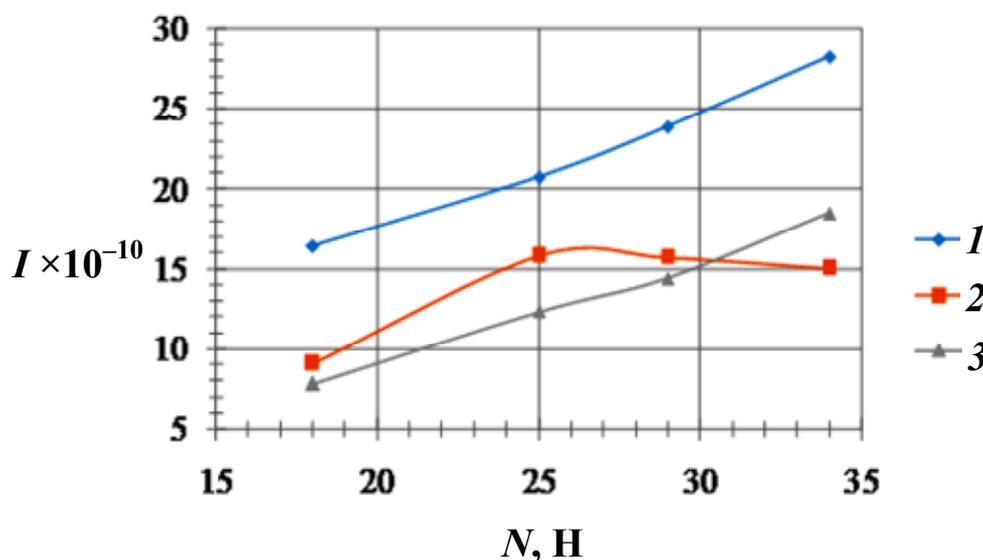


Рис. 7. Влияние упрочнения на износ в сухом абразиве:
1 – без упрочнения; 2 – алмазоподобное покрытие; 3 – лазерное упрочнение

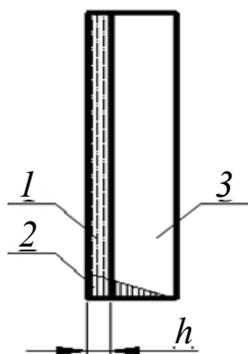


Рис. 8. Распределение износа по поверхности образца:
1 – упрочненный слой; 2 – зависимость износа;
3 – основной металл

После испытаний с нагрузкой 34 Н у образца с лазерным упрочнением интенсивность изнашивания возросла относительно образца с АПП. Это обусловлено тем, что твердость слоя лазерного упрочнения меньше, чем у АПП, и абразивные частицы под действием большей нагрузки стали глубже внедряться в поверхность образца с лазерным упрочнением, а следовательно, удалять больше слой, чем у образца с АПП.

На рис. 9 представлено влияние упрочнения на износ во влажном абразиве. Процесс изнашивания в зависимости от вида упрочнения такой же, как и в сухом абразиве, однако интенсивность изнашивания у всех трех образцов снизилась. Это связано с тем, что влага служит как смазка и частицы абразива скользят по поверхности образца, не удаляя с поверхности материал. Также из-за меньшей твердости износ образца с лазерным упрочнением возрос относительно образца с АПП после приложения нагрузки в 29 Н.

На рис. 10 представлены диаграммы средней интенсивности износа различных образцов.

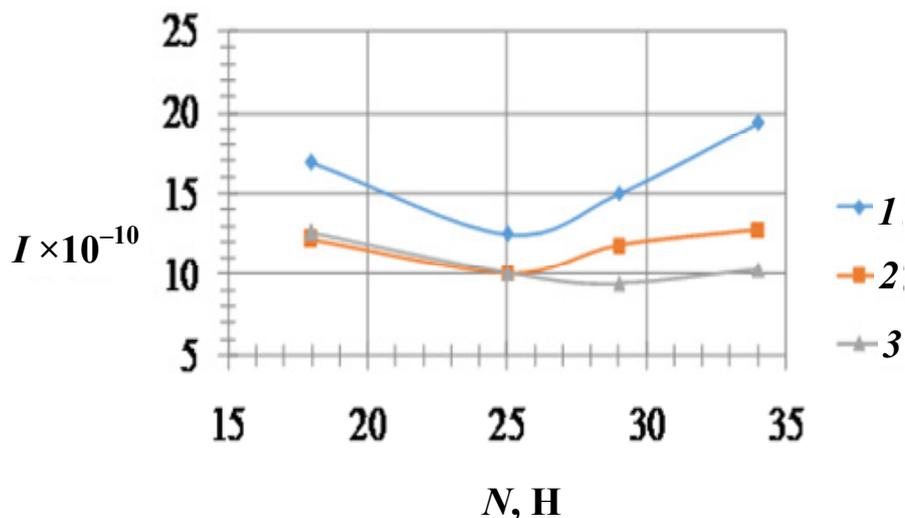


Рис. 9. Влияние упрочнения на износ во влажном абразиве:
1 – без упрочнения; 2 – алмазоподобное покрытие; 3 – лазерное упрочнение

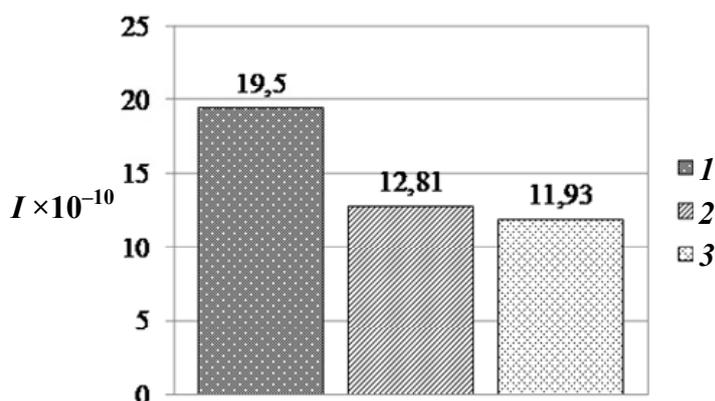


Рис. 10. Влияние упрочнения на износ:
1 – без упрочнения; 2 – алмазоподобное покрытие; 3 – лазерное упрочнение

Заключение

Анализ результатов позволяет заключить, что наиболее эффективным для упрочнения режущих элементов кормоуборочной техники является лазерное упрочнение, так как интенсивность изнашивания образцов при этом методе упрочнения является наименьшей относительно метода с нанесением АПП.

Литература

1. Рехлицкий, О. В. Развитие кормоуборочной техники производства ПО «Гомсельмаш» / О. В. Рехлицкий, В. Б. Попов // Исследования и разработки в области машиностроения, энергетики и управления : материалы XIII Междунар. науч.-техн. конф. студентов, магистрантов и молодых ученых, Гомель, 25–26 апр. 2013 г. / М-во образования Респ. Беларусь, Гомел. гос. техн. ун-т им. П. О. Сухого. – Гомель, 2013. – С. 11–19.
2. Шельманова, Е. П. Анализ процесса самозатачивания ножей измельчающего барабана кормоуборочного комбайна / Е. П. Шельманова // Исследования и разработ-

- ки в области машиностроения, энергетики и управления : материалы XIII Междунар. науч.-техн. конф. студентов, магистрантов и молодых ученых, Гомель, 25–26 апр. 2013 г. / М-во образования Респ. Беларусь, Гомел. гос. техн. ун-т им. П. О. Сухого. – Гомель, 2013. – С. 56–59.
3. Микрюков, В. М. Применение бейнитного высокопрочного чугуна / В. М. Микрюков, О. А. Сазонов // Чугуны с шаровидным и вермикулярным графитом и аустенитно-бейнитной матрицей. Современные материалы для литых деталей : информ. сб. техн. материалов / под ред. Н. Н. Александрова [и др.]. – М. : Metallurg, 2004. – С. 260–262.
 4. Шебашинов, М. П. Высокопрочный чугун в машиностроении / М. П. Шебашинов. – М. : Машиностроение, 1988. – 216 с.
 5. Беликов, А. И. Отливки из высокопрочного чугуна с шаровидным графитом / А. И. Беликов, Л. А. Жуков, Д. Н. Маццарелли. – М. : Машиностроение, 2006. – 448 с.
 6. Чугуны с шаровидным и вермикулярным графитом и аустенитно-бейнитной матрицей. Современные материалы для литых деталей / Н. Н. Александров [и др.]. – М. : Metallurg, 2004. – 419 с.
 7. Валков, К. Прочность и трещиностойкость сферографитных чугунов со структурой бескарбидного нанобейнита / К. Валков, М. Георгиев. – Пермь : Изд-во Перм. нац. политехн. ун-та, 2014. – 168 с.
 8. Техника сельскохозяйственная. Показатели надежности (Стандарт Беларуси) : СТБ 1616–2011. – Введ. 01.01.2012. – Минск : Белорус. гос. ин-т стандартизации и сертификации, 1995. – 20 с.

Получено 28.02.2019 г.