

УДК 691.175.5/8

К.М. МИХАЙЛОВ; В.И. ЖОРНИК д-р техн. наук
Объединенный институт машиностроения НАН Беларуси, г. Минск

М.И. МИХАЙЛОВ, д-р техн. наук; В.А. ПРОКОПОВИЧ
Гомельский государственный технический университет имени П.О. Сухого, Республика Беларусь

РАЗРАБОТКА КОМПОЗИЦИОННОГО ПОКРЫТИЯ ОПОРНОЙ ПОВЕРХНОСТИ ПОД НОЖАМИ ИЗМЕЛЬЧАЮЩЕГО БАРАБАНА КОРМОУБОРОЧНОГО КОМБАЙНА

Разработано композиционное покрытие на основе полимеров для опорной поверхности под ножами измельчающего барабана кормоуборочного комбайна. Установлен характер распределения значений перемещений ножей. Определено влияние покрытий из композиционных материалов и абразивных наполнителей на жесткость системы крепления ножей режущего барабана.

Ключевые слова: кормоуборочный комбайн, устройство измельчения растительной массы, измельчающий барабан, композиционное покрытие, перемещения ножей

Введение. При проектировании технологических систем должны учитываться условия, в которых они будут функционировать. Например, в устройстве измельчения растительной массы кормоуборочного комбайна необходимо учитывать силовую нагрузку и агрессивную среду (рисунок 1). Только с учетом этих условий можно ставить задачу об оптимизации и повышении работоспособности устройств и их элементов [1–10].

В ряде работ [11–15] приведены результаты исследования напряженно-деформированного состояния системы крепления ножей измельчающего барабана. Кроме этого, экспериментально исследовались ножи на работоспособность в различных условиях и из различных материалов [5–7, 9, 10]. Как известно, для повышения работоспособности систем используются различные покрытия на основе металлов и полимеров.

Цель работы — разработка композиционного покрытия опорной поверхности под ножами измельчающего барабана кормоуборочного комбайна.

Методика исследований. Исследования производились поэтапно. На первом этапе на опорные поверхности ножей был нанесен слой эпоксидной смолы, модифицированной полиэфирной смолой, которую покрыли слоем карбида кремния различной зернистости: 50 и 500 мкм. Для сравнения влияния покрытия использовались также пластины без композиционного покрытия. Структура рабочих поверхностей пластин со слоем карбида кремния представлена на рисунке 2.

Исследования проводились на специальном стенде (рисунок 3) [16], который представляет собой гидрофицированную установку, состоящую из нагружающей и измерительной систем.

Сила, с которой нагружался нож, совпадала по направлению с результирующей силой резания. Для исключения искажений при перенастройке стенда на другой нож измерительная система была смонтирована на специальных штангах 2. На штангах были размещены оптический источник (лазер) и приемник (светочувствительный элемент, работающий в режиме генератора) (см. рисунок 3 б). На окулярах, установленных на штангах соосно каждому лазеру, располагались светонепроницаемые пластины шириной l_1 со щелью, выполненной в вер-

тикальном направлении. Каждый из упомянутых лазеров установлен с возможностью расположения на расстоянии l_2 от соответствующей кромки ножа, размещаемого между упомянутыми лазерами и фотоприемниками, при этом ширина щели l_1 определялась из выражения

$$l_1 = K_1 d,$$

где K_1 — коэффициент, выбираемый в пределах от 0,015 до 0,02; d — диаметр светового потока, создаваемого полупроводниковым лазером, мм; l_2 — расстояние, определяемое из выражения

$$l_2 = K_2 \lambda,$$

где K_2 — коэффициент, выбираемый в пределах от $41 \cdot 10^3$ до $42 \cdot 10^3$.

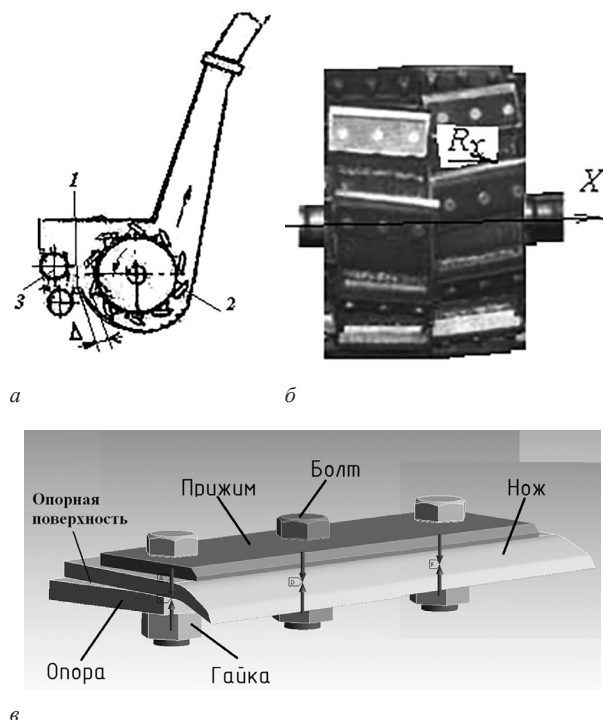


Рисунок 1 — Схема измельчающего аппарата кормоуборочного комбайна (а): 1 — противорежущий брус; 2 — измельчающий барабан; 3 — питающий аппарат; б — фото измельчающего барабана; в — фото питающего аппарата; г — схема крепления ножа

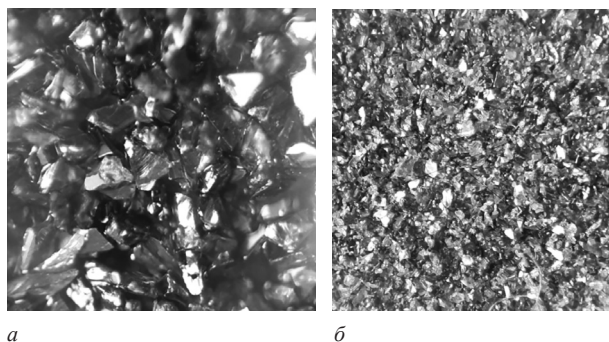
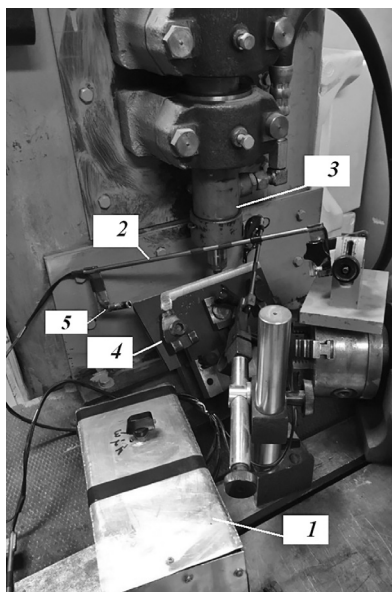
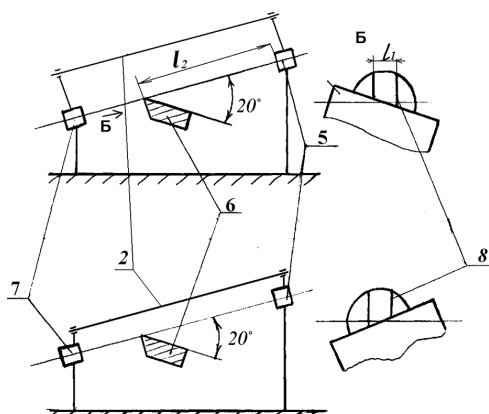


Рисунок 2 — Структура опорных поверхностей пластин:
 а — покрытие с карбидом кремния зернистостью 500 мкм;
 б — покрытие с карбидом кремния зернистостью 50 мкм

Принцип работы измерительной системы станда следующий: световой поток, выходящий из источника 5, падает на грань ножа 6 и частично отсекается, остальная часть светового потока попадает на приемник 7 (см. рисунок 3 б). В качестве источника использовался полупроводниковый лазер с длиной волны 600 нм. В качестве приемника был выбран фотодиод ФД-3.



а



б

Рисунок 3 — Фотография рабочей зоны станда для испытания системы крепления ножей (а) и схема установки датчиков (б): 1 — усилитель; 2 — штанги; 3 — гидроцилиндр; 4 — система крепления ножа; 5 — источники; 6 — нож; 7 — приемник; 8 — щель

Кроме того, был разработан усилитель с коэффициентом усиления, равным 500. Показания с него снимались милливольтметром Digital multimeter DT-830B.

Установив в систему крепления нож, воздействовали на него силами в 180, 345, 525, 700, 870, 1000, 1200, 1570 Н (имитирующими силы резания) и определяли его перемещения.

Для того, чтобы учесть погрешность от вариации сил зажима, ножи закреплялись при помощи динамометрического ключа. Тарирование нагружающего устройства проводилось с помощью динамометра ДОСМ-3.

Измерительная система тарировалась с использованием микрометрической скобы (рисунок 4). Датчики тарировались в следующей последовательности: сначала измерительная пятка скобы перемещалась перпендикулярно лучу лазера и показания прибора записывались через каждые 1 мкм, затем определялось среднее значение перемещений в микрометрах на 1 единицу показаний прибора.

В результате вычислений средних значений получили чувствительность схемы (0,16 мкм на одно деление прибора). Для уменьшения влияния формы светового потока на точность измерений на выходном окуляре источника закреплялась пластина со щелью шириной 0,1 мм. При измерении на опорную пластину крепятся специальные площадки, позволяющие определять суммарные перемещения опорной пластины и ножа.

Сравнительный анализ между результатами расчетов и экспериментов производился по перемещениям δ непосредственно в точке приложения нагрузки, для этого были построены в трехмерной системе координат плоскости касательные к передней поверхности ножа. Используя систему крепления со сменой ножей, определены положения плоскости, касательной к верхним граням ножа после нагружения (рисунок 5).

Результаты исследований. На рисунке 6 приведены результаты экспериментальных исследований, на которых видно, что перемещения имеют нелинейный вид. В результате проведенных испытаний фиксировали наибольшую нагрузку. Графики зависимости перемещения

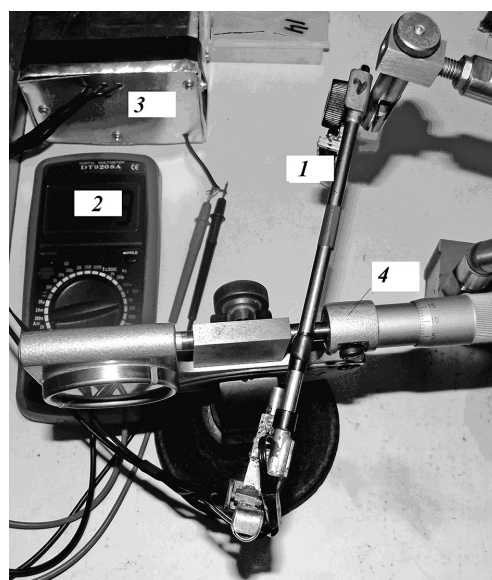


Рисунок 4 — Фотография рабочей зоны при тарировании измерительной системы: 1 — штанга с лазером и приемником; 2 — милливольтметр; 3 — усилитель; 4 — микрометрическая скоба

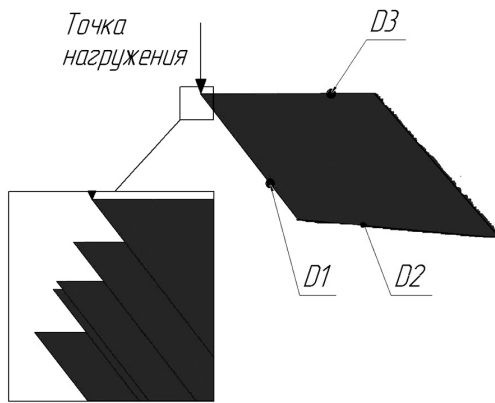


Рисунок 5 — Эскиз положений плоскостей, касательных к верхним граням ножа

от нагрузки для ножей с покрытием разной зернистости представлены на рисунке 6 (таблица).

После испытаний под микроскопом фотографировали характер поверхности, покрытой карбидом кремния, а также характер поверхности опорной пластины (рисунок 7).

На фотографиях видно, что зерна карбида кремния зернистостью 500 мкм внедрялись в стальную опорную пластину реж, пятен контакта меньше. Зерна с меньшей зернистостью внедрялись намного чаще.

Анализ полученных данных позволяет заключить, что при нагружении до 1300 Н с покрытием зернистостью 500 мкм, 1400 Н с покрытием зернистостью 50 мкм

Таблица — Значение максимальных перемещений пластины

Наличие/отсутствие покрытия (зернистость)	Прикладываемая нагрузка, Н		
	930	1400	1800
500 мкм	—	0,2	—
50 мкм	—	—	0,9
Без покрытия	0,125	—	—

и до 900 Н без покрытия происходят упругие линейные перемещения. При уменьшении зернистости более высокий предел нагрузок объясняется более высокими возможностями накопления упругой потенциальной энергии в слое покрытия.

На втором этапе исследований производились теоретические расчеты с использованием метода конечных элементов. Результаты расчетов представлены на рисунке 8.

Анализ полученных данных позволил установить характер распределения перемещений по плоскости ножа и влияние на него системы крепления.

Выводы. Установлен характер распределения значений перемещений ножей. Определено влияние покрытий из композиционных материалов и абразивных наполнителей на жесткость системы крепления ножей режущего барабана.

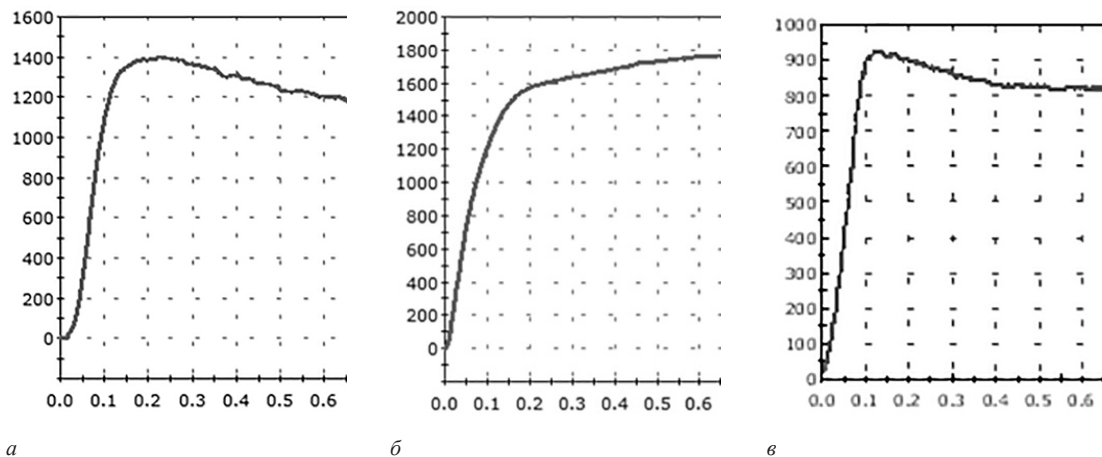


Рисунок 6 — Графики зависимости перемещения от нагрузки для пластин с покрытием: а — карбидом кремния зернистостью 500 мкм; б — карбидом кремния зернистостью 50 мкм; в — без покрытия

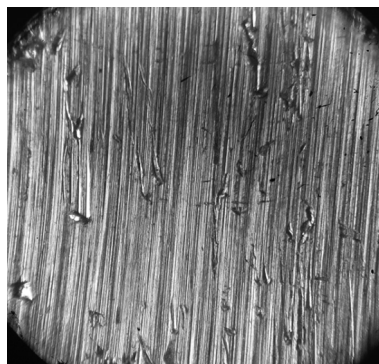
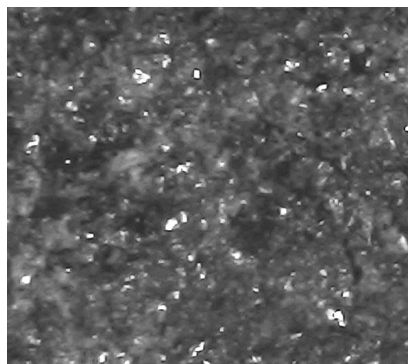


Рисунок 7 — Фотографии под микроскопом после испытаний: а — поверхности пластины с покрытием после испытаний; б — характер опорной пластины при 500 мкм; в — характер опорной пластины при 50 мкм

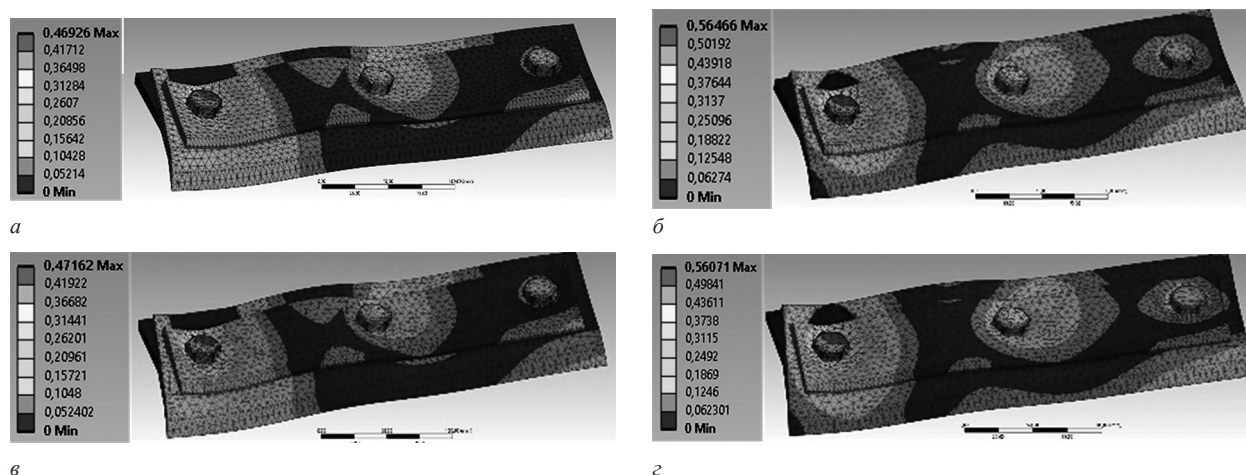


Рисунок 8 — Картины распределения перемещений системы крепления ножей болтами М18: *а* — без покрытия ножей из легированной стали; *б* — при толщине слоя покрытия 500 мкм опорной поверхности под ножами из легированной стали; *в* — без покрытия под ножами из ВЧТГ; *г* — при толщине слоя покрытия 500 мкм опорной поверхности под ножами из ВЧТГ

Использование предложенных исследований позволит оптимизировать параметры режущего барабана устройства измельчения растительной массы кормоуборочного комбайна, работающего в конкретных условиях.

Список литературы

1. Анилович, В.Я. Определение показателей надежности сельскохозяйственных машин по экспериментальным данным / В.Я. Анилович, И.П. Сычев // Научные труды: Украинский научно-исследовательский институт сельскохозяйственного машиностроения. — 1967. — Вып. 4. — С. 267–280.
2. Цитович, И.С. Безотказность и долговечность тракторов и сельскохозяйственных машин / И.С. Цитович, Н.Н. Дорожкин, В.А. Дьяченко. — Минск: Ураджай, 1977. — 152 с.
3. Альгин, В.Б. Надежность технически сложных изделий в свете «Индустрии 4.0» / В.Б. Альгин, Н.Н. Ишин // Актуальные вопросы машиноведения: сб. науч. тр. / Объедин. ин-т машиностроения НАН Беларуси; редкол.: С.Н. Поддубко [и др.]. — Минск, 2017. — Вып. 6. — С. 43–54.
4. Михлин, В.М. Управление надежностью сельскохозяйственной техники / В.М. Михлин. — М.: Колос, 1984. — 335 с.
5. Оценка стойкости ножей питающе-измельчающих аппаратов сельскохозяйственных комбайнов: теория, стендовые и полевые испытания / А.А. Новиков [и др.] // Вестн. БелГУта: наука и транспорт. — 2016. — № 1(32). — С. 201–208.
6. Дробышевский, П.С. Опыт применения чугуна ВЧТГ для изготовления ножей режущих барабанов кормоуборочных комбайнов / П.С. Дробышевский, А.А. Новиков // Инновационные технологии в агропромышленном комплексе — сегодня и завтра: тез. докл. междунар. науч.-практ. конф., Гомель, 4–5 окт. 2018 г. / НТЦК ОАО «Гомсельмаш». — Гомель, 2018. — С. 126–127.
7. Псырков, Н.В. Опыт внедрения специального чугуна марки ВЧТГ для изготовления ножей режущих кормоуборочной техники / Н.В. Псырков, А.А., А.А.Квитанов, В.О. Замятин // Актуальные вопросы машиноведения: сб. науч. тр. / Объедин. ин-т машиностроения НАН Беларуси; редкол.: А.А. Дюжев [и др.]. — Минск, 2013. — Вып. 2. — С. 388–390.
8. Высокопрочный чугун с шаровидным графитом высоким сопротивлением усталости. Марки и механические свойства: СТБ 2544-2019. — Введ. 01.10.2019. — Минск: ГОССТАНДАРТ, 2019. — 7 с.
9. Ножи кормоуборочных комбайнов КВК-800. Программа и методика сравнительных доводочных эксплуатационных испытаний. — Гомель: ОАО «Гомсельмаш», 2014. — 20 с.
10. Тюрин, С.А. Эксплуатационные испытания ножей кормоуборочных комбайнов и их результаты / С.А.Тюрин // Актуальные вопросы машиноведения: сб. науч. тр. / Объедин. ин-т машиностроения НАН Беларуси; редкол.: С.Н. Поддубко [и др.]. — Минск, 2021. — Вып.10. — С. 13–16.
11. Псырков, Н.В. К анализу напряженно-деформированного состояния и поврежденности трибофатической системы режущего аппарата сельскохозяйственной техники / Н.В. Псырков, С.С. Щербаков // Актуальные вопросы машиноведения: сб. науч. тр. / Объедин. ин-т машиностроения НАН Беларуси; редкол.: А.А. Дюжев [и др.]. — Минск, 2012. — Вып. 1. — С. 263–267.
12. Журавков, М.А. Напряженно-деформируемое состояние трибофатической системы «прижим — нож — основание режущего инструмента комбайна» / М.А. Журавков, С.С. Щербаков, А.В. Круподеров // Теоретическая и прикладная механика: межвед. сб. науч.-метод. статей / БНТУ. — Минск, 2012. — Вып. 27. — С. 219–224.
13. Щербаков, С.С. Напряженно-деформированное состояние и повреждаемость трибофатической системы «прижим — нож — опора» режущего инструмента комбайна / С.С. Щербаков // Механика машин, механизмов и материалов. — 2012. — № 2(19). — С. 75–80.
14. Объемная повреждаемость ножа и противорежущего бруса режущего аппарата комбайна в динамической постановке / М.А. Журавков [и др.] // Актуальные вопросы машиноведения: сб. науч. тр. / Объедин. ин-т машиностроения НАН Беларуси; редкол.: С.Н. Поддубко [и др.]. — Минск, 2015. — Вып. 4. — С. 232–236.
15. Миренков, В.В. Анализ напряженно-деформированного состояния ножа измельчающего барабана кормоуборочного комбайна / В.В. Миренков, В.Ф. Хиженко, П.Е. Родзевич // Вестн. ГГТУ им. П.О. Сухого. — 2014. — № 1(56). — С. 20–28.
16. Стенд для определения перемещений сменной пластины сборного режущего инструмента под воздействием нагрузки: пат. ВУ 23395 / М.И. Михайлов, К.М. Михайлов. — Оpubл. 30.04. 2021.

Mikhailov K.M., Zhornik V.I., Mikhailov M.I., Prokopovich V.A.

Development of a composite coating for the support surface under the knives of the chopping drum of a forage harvester

A composite coating based on polymers has been developed for the support surface under the knives of the chopping drum of a forage harvester. The distribution pattern of the knife displacement values has been specified. The effect of composite coatings and abrasive fillers on the rigidity of the knife fastening system of the cutting drum has been determined.

Поступила в редакцию 21.08.2024.