

УДК 621.833

**ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ  
ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ  
МАТЕРИАЛОВ НОЖЕЙ РЕЖУЩЕГО БАРАБАНА  
КОРМОУБОРОЧНОГО КОМБАЙНА  
НА ИХ ИЗНОСОСТОЙКОСТЬ**

**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*

**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 машины оказывают условия ее работы, а именно: воздействующие на машину и элементы механические, климатические нагрузки и т. д. При проектировании машины необходимо максимально уменьшить влияние внешних и внутренних нагрузок на ее элементы [2]–[10].

Процесс измельчения растительной массы проходит при высоких окружных скоростях и является самым энергоемким во всем технологическом процессе работы комбайна. Наиболее нагруженными, подверженными интенсивному изнашиванию являются ножи измельчающего барабана. Качество измельченной массы может характеризоваться длиной резки и степенью измельчения, т. е. объемной величиной частиц [1].

Масса, перемещаемая питающими вальцами, движется на противорежущую пластину со скоростью:

$$V_n = \eta \pi D_n / 60,$$

где  $\eta$  – коэффициент пробуксовывания стебля ( $\eta = 0,85–0,9$ );  $D_n$  – диаметр одного из питательных вальцов, м.

Длина частиц определяется по выражению

$$l_{\text{расч}} = V_n 60 / (nZ),$$

где  $n$  – частота вращения барабана;  $Z$  – число ножей.

Загрязненность и засоренность убранной массы почвой, остатками органических и минеральных удобрений или гербицидов, а также частицами раздробленных инородных предметов являются условиями работы измельчающего аппарата.

При резании толстого слоя усилие затрачивается не только на разрушение материала слоя, но и на преодоление трения между фасками лезвия и материалом. При этом сила возникающего трения между фасками и материалом пропорциональна площади контакта этих фасок с материалом. С увеличением угла скольжения  $\tau$  площадь контакта  $F$  увеличивается:

$$F = \frac{F_0}{\cos \tau},$$

где  $F_0$  – площадь контакта при  $\tau = 0$ .

Согласно исследований Н. Е. Резника и других ученых чем тоньше слой, тем меньше удельная работа, необходимая для его перерезания, и, следовательно, рациональнее резание [11], [12].

В рамках мероприятий по импортозамещению и внедрению в производство новых материалов создан высокопрочный чугун с шаровидным графитом марки ВЧТГ (патент РБ № 15617) с особым химическим составом [13]–[15]. В табл. 1 приведен химический состав высокопрочного чугуна. Основные служебные свойства данного материала, регулируемые термообработкой, находятся в следующих пределах: относительное удлинение при разрыве  $\sim 1,5$ – $3,5$  %; предел прочности при растяжении  $\sim 900$ – $1400$  МПа; твердость до 55 HRC. Главной особенностью чугуна марки ВЧТГ является то, что его характеристики сопротивления усталости практически достигают таковых для высокопрочной легированной стали. Поэтому в качестве материала для ножей измельчающего барабана используют высокопрочный чугун ВЧТГ, который по основным прочностным характеристикам практически не уступает стали.

Таблица 1

## Химический состав высокопрочного чугуна

C	Si	Mn	Ni	S	P	Cr	Cu
3,2–3,6	3–3,8	0,4–0,7	до 0,8	до 0,01	до 0,1	до 0,15	до 0,6

Кроме того, для изготовления ножей используется сталь 51CrV4 (производства Германии) и сталь 65Г. Химический состав стали 65Г приведен в табл. 2. Механические свойства стали 65Г представлены в табл. 3.

Таблица 2

## Химический состав стали 65Г

C	Si	Mn	Ni	S	P	Cr	Cu
0,63–0,67	0,17–0,37	0,9–1,2	до 0,25	до 0,035	до 0,035	до 0,25	до 0,2

Таблица 3

## Механические свойства стали 65Г

$\sigma_B$ , МПа	$\sigma_T$ , МПа	$\delta_5$ , %	$\Psi$ , %	КСУ, кДж/м <sup>2</sup>
980	785	8	30	76

В условиях СКБ ПО «Гомсельмаш» проведены натурные краш-тесты на дубовых и сосновых досках со стальными стержнями  $\varnothing 20$  мм и твердостью 40 HRC. При работе чугунных ножей происходило их локальное разрушение. В полевых условиях стойкость ножей составляла 30000 т, что на 10–20 % ниже, чем стальных ножей. Нестабильность условий испытания не позволяет установить относительную износостойкость материалов ножей.

Целью работы является проведение сравнительных исследований материалов ножей режущего барабана и установление влияния физико-механических свойств материалов ножей режущего барабана кормоуборочного комбайна на их износостойкость.

### Методика проведения исследований

Исследования образцов на абразивное изнашивание проводились на торцевой машине трения (рис. 1).

В качестве контртела использовалась сталь с водной взвесью ( $\text{NaCl}$  и  $\text{KCl}$  (3 мас. %) и  $\text{SiO}_2$  (5–10 мас. %)). Данное содержание моделировало реальные условия работы ножей (калийная соль – удобрение, песок – естественная среда). Принцип испытания заключался в том, что образец 2, закрепленный в держателе 6, опускался на поддон 4, в котором находилась водная взвесь калийной соли и песка. Поддон приводился во вращение от электродвигателя в корпусе 5. Износ происходил путем попадания абразива между поддоном и образцом, а также по причине протекания коррозионных процессов. На край кронштейна 3 навешивался груз 7 из набора разновесов, что позволяло проводить испытания при различных нагрузках. Держатель 6 имел возможность перемещаться вдоль кронштейна 3, что позволяло менять радиус от центра диска до образца и проводить испытания с изменением скорости.

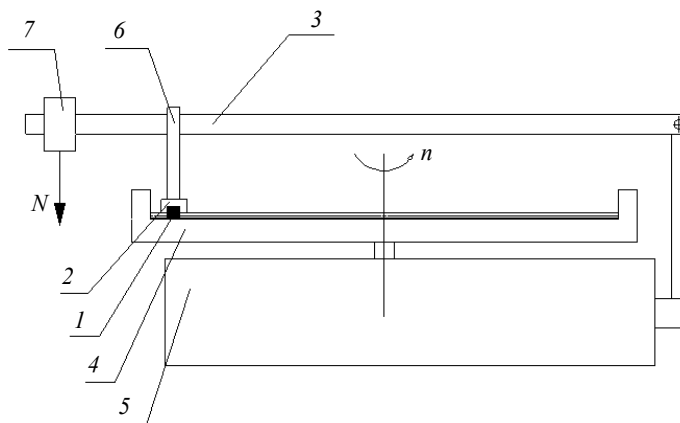


Рис. 1. Схема установки трения:

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

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. Поддон устанавливается и закрепляется на вращающемся столе, в него наливается водная взвесь калийной соли и песка. При вращении центробежными силами твердые частицы абразива выносятся к краям поддона, поэтому для равномерности концентрации абразивных частиц на кронштейне дополнительно закреплялась кисточка, которая непрерывно перемешивала рабочую среду.

В ходе предварительного подбора режимов для проведения экспериментов были выбраны следующие основные параметры: грузы весом 0,5; 1; 1,5 кг, скорости истирания 0,28–0,57 м/с, время проведения одного испытания – 15 мин.

Через 15 мин определялась потеря массы:

$$\Delta m = m_1 - m_2,$$

где  $m_1$  и  $m_2$  – соответственно, массы образцов до и после испытания, кг.

Затем производился расчет массовой интенсивности изнашивания:

$$I_m = \Delta m / \rho S,$$

где  $\rho$  – плотность материала образца, кг/м<sup>3</sup>;  $S$  – площадь поверхности трения, м<sup>2</sup>.

Испытания повторялись четыре раза для каждого образца из всех материалов, что повышало достоверность получаемых результатов.

### Результаты исследований

Для определения материала, обладающего наивысшими триботехническими показателями, проводились серии испытаний при экспериментально выбранных параметрах трения – давлении  $P = 9,1$  кПа,  $P = 18,2$  кПа, скорости истирания  $V = 0,28$  м/с,  $V = 0,57$  м/с. Исходя из условий эксплуатации были определены три основных режима проведения испытаний: режим № 1 –  $P = 9,1$  кПа,  $V = 0,57$  м/с, режим № 2 –  $P = 18,2$  кПа,  $V = 0,57$  м/с, режим № 3 –  $P = 18,2$  кПа,  $V = 0,28$  м/с. На рис. 2 представлена зависимость интенсивности изнашивания образцов при режиме № 1.

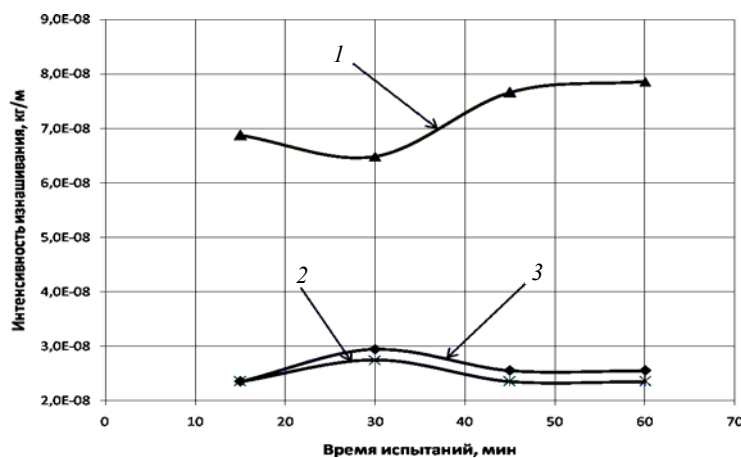


Рис. 2. Графики влияния времени испытания на интенсивность изнашивания при  $P = 9,1$  кПа,  $V = 0,57$  м/с:  
1 – сталь 65Г; 2 – сталь 51CrV4; 3 – чугун ВЧТГ

Как видно на рис. 2, наибольшую интенсивность изнашивания на режиме № 1 ( $P = 9,1$  кПа,  $V = 0,57$  м/с) проявляет сталь 65Г, так как она имеет наименьшую твердость ( $92 \text{ HB} \approx 11 \text{ HRC}$ ) по сравнению с образцами из чугуна ВЧТГ и стали 51CrV4, интенсивность изнашивания которых отличается незначительно при твердостях, соответственно, 30 HRC и 42 HRC, что объясняется высоким сопротивлением чугуна ВЧТГ и стали 51CrV4 внедрению абразивных частиц в объем материала. По образцам из чугуна ВЧТГ и стали 51CrV4 установлено, что в начале интенсивность изнашивания увеличивается, что связано с увеличением фактической площади контакта (процесс приработки). Дальнейшее снижение интенсивности изнашивания связано с уменьшением

размеров абразива. Рост интенсивности изнашивания стали 65Г связан с ее невысокой твердостью и увеличением фактической площади контакта. На рис. 3 представлена интенсивность изнашивания неупрочненных образцов на режиме № 2.

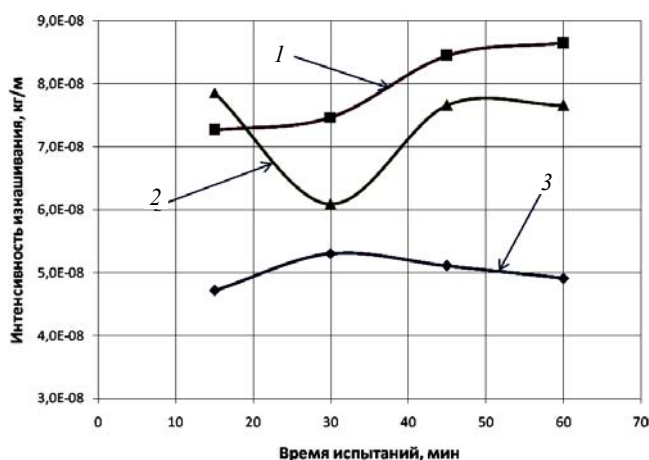


Рис. 3. Графики влияния времени испытания на интенсивность изнашивания при  $P = 18,2$  кПа,  $V = 0,57$  м/с:  
1 – сталь 65Г; 2 – сталь 51CrV4; 3 – чугун ВЧТГ

Как видно на рис. 3, наименьшая интенсивность изнашивания на режиме № 2 ( $P = 18,2$  кПа,  $V = 0,57$  м/с) наблюдается у чугуна ВЧТГ, так как он обладает высокой твердостью и проявляет хорошие антифрикционные свойства. Рост интенсивности изнашивания связан с ростом фактической площади трения, а уменьшение интенсивности изнашивания – с уменьшением размера абразивных частиц и наименьшим коэффициентом трения образца по поддону. Высокая интенсивность изнашивания в начальный момент времени у образца из стали 51CrV4 связана с его высокой шероховатостью. Снижение интенсивности изнашивания в интервале времени от 20 до 30 мин связано с уменьшением неровностей и давления на их выступах. Рост интенсивности изнашивания в интервале времени от 30 до 45 мин связан с увеличением фактической площади трения. Постоянный и наиболее высокий рост интенсивности изнашивания у стали 65Г связан с ее невысокой твердостью и увеличением фактической площади трения.

На рис. 4 представлена интенсивность изнашивания образцов стали 65Г при  $P = 18,2$  кПа,  $V = 0,28$  м/с (режим № 3).

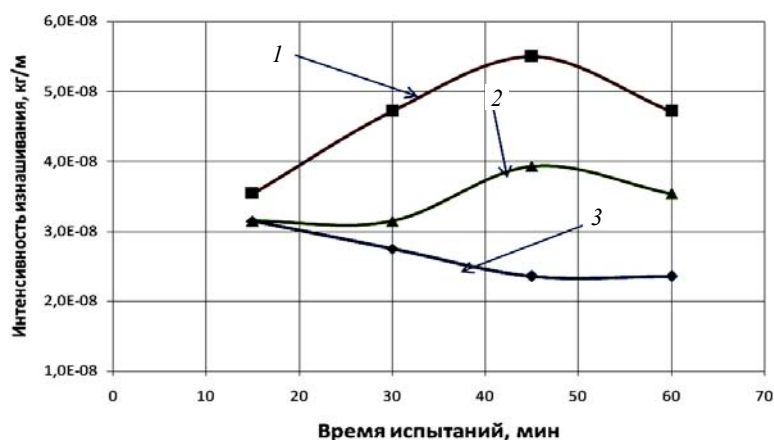


Рис. 4. Графики влияния времени испытания на интенсивность изнашивания при  $P = 18,2$  кПа,  $V = 0,28$  м/с:  
1 – сталь 65Г; 2 – сталь 51CrV4; 3 – чугун ВЧТГ

Как видно на рис. 4, наиболее высокую интенсивность изнашивания проявляет сталь 65Г. Рост интенсивности изнашивания связан с увеличением фактической площади трения, а снижение – с уменьшением размера абразивных частиц. Аналогичным образом объясняется изменение интенсивности изнашивания стали 51CrV4. Снижение интенсивности изнашивания чугуна ВЧТГ связано с уменьшением размера абразивных частиц и небольшим коэффициентом трения относительно стальных материалов.

Исходя из проведенных испытаний, можно сделать вывод, что наиболее высокую интенсивность изнашивания среди исследованных материалов проявляет сталь 65Г, что связано с ее невысокой твердостью (90–92 HRB). Сталь 51CrV4 и чугун ВЧТГ имеют приблизительно равную интенсивность изнашивания, что связано с более высокой твердостью (42 HRC и 30 HRC, соответственно) и, следовательно, более высоким сопротивлением абразивного изнашивания. Более низкие значения у чугуна, чем у стали 51CrV4, на режимах испытания  $P = 18,2$  кПа,  $V = 0,57$  м/с и  $P = 18,2$  кПа,  $V = 0,28$  м/с, соответственно, объясняются более высокими триботехническими свойствами чугуна. Из этого можно сделать вывод, что ножи, изготовленные из высокопрочного чугуна ВЧТГ и стали 51CrV4, будут обладать большей долговечностью, чем ножи из стали 65Г.

На рис. 5 представлена зависимость, отражающая влияние скорости скольжения на интенсивность изнашивания образцов.

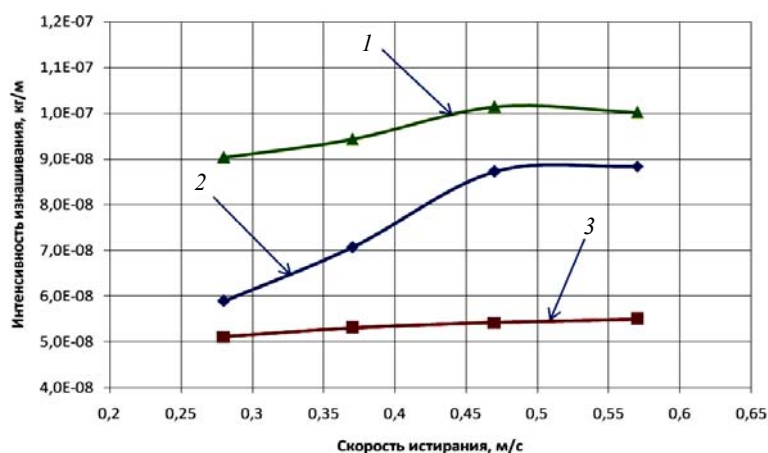


Рис. 5. Графики влияния скорости испытания на интенсивность изнашивания:  
1 – сталь 65Г; 2 – сталь 51CrV4; 3 – чугун ВЧТГ

Как видно на рис. 5, наибольшая интенсивность изнашивания наблюдается у образцов из стали 65Г. С увеличением скорости скольжения интенсивность изнашивания увеличивалась в связи с ростом пути трения. Значения интенсивности изнашивания у образцов из стали 51CrV4 ниже, так как у данной стали выше твердость, а интенсивность изнашивания образцов из чугуна ВЧТГ ниже, чем у стальных, что объясняется высокими антифрикционными свойствами материала.

Проведенные эксперименты позволяют заключить, что ножи, изготовленные из высокопрочного чугуна ВЧТГ и стали 51CrV4, будут обладать большей долговечностью, чем ножи из стали 65Г.

## Литература

1. Измельчающие аппараты современных кормоуборочных комбайнов / М. И. Белов [и др.] // Тракторы и с.-х. машины. – 2012. – № 3. – С. 43–50.

2. Основные требования к износостойкости режущих элементов кормоуборочных комбайнов / А. А. Дюжев [и др.] // Сельскохозяйственные машины для уборки зерновых культур, кормов и корнеклубнеплодов. Состояние, тенденции и направления развития : сб. докл. междунар. науч.-практ. конф., Гомель, 22–23 марта 2004. – Гомель, 2004. – С. 57–64.
3. Кравченко, И. Н. Основы надежности машин : учеб. пособие для вузов / И. Н. Кравченко, Е. А. Пучин. – М. : Машиностроение, 2007. – Ч. 1. – 224 с.
4. Прейсман, В. И. Основы надежности сельскохозяйственной техники : учеб. пособие / В. И. Прейсман. – Днепропетровск, 1972. – 230 с.
5. Власов, П. А. Надежность сельскохозяйственной техники / П. А. Власов. – Пенза : РИО ПГСХА, 2001. – 124 с.
6. Босой, Е. С. Теория, конструкция и расчет сельскохозяйственных машин / Е. С. Босой, О. В. Верняев. – М. : Машиностроение, 1978. – 457 с.
7. Лезин, П. П. Основы надежности сельскохозяйственной техники / П. П. Лезин. – Саранск : Изд-во Мордов. ун-та, 1997. – 223 с.
8. Аллилуев, В. А. Техническая диагностика тракторов и сложных сельскохозяйственных машин на индустриальной основе : автореф. дис. ... д-ра техн. наук / В. А. Аллилуев. – Л., 1984. – 33 с.
9. ГОСТ 27.002–83. Надежность в технике. Термины и определения. – М. : Изд-во стандартов, 1983. – 30 с.
10. Надежность и эффективность в технике : справочник : в 10 т. / под ред. В. И. Кузнецова, Е. Ю. Барзиловича. – Т. 8 : Эксплуатация и ремонт. – М. : Машиностроение, 1990. – 320 с.
11. Резник, Н. Е. Теория резания лезвием и основы расчета режущих аппаратов / Н. Е. Резник. – М. : Машиностроение, 1975. – 311 с.
12. Турбин, Б. Г. Сельскохозяйственные машины. Теория и технологический расчет / Б. Г. Турбин, А. Б. Лурьев, С. М. Григорьев. – М. : Машиностроение, 1967. – 357 с.
13. 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. : Металлургия, 2004. – С. 260–262.
14. Шебашинов, М. П. Высокопрочный чугун в машиностроении / М. П. Шебашинов. – М. : Машиностроение, 1988. – 216 с.
15. Псырков, Н. В. Опыт внедрения специального чугуна марки ВЧТГ для изготовления ножей режущих барабанов кормоуборочной техники / Н. В. Псырков, А. А. Капитонов, В. О. Замятин // Актуальные вопросы машиноведения : сб. науч. тр. / Объед. ин-т машиностроения НАН Беларуси ; редкол.: А. А. Дюжев [и др.]. – 2013. – Вып. 2. – С. 388–390.
16. Адлер, Ю. П. Планирование эксперимента при поиске оптимальных условий / Ю. П. Адлер, Е. В. Маркова, Ю. В. Грановский. – М. : Наука, 1976. – 280 с.

*Получено 15.04.2015 г.*