

## **ПРОЦЕССЫ И МАШИНЫ АГРОИНЖЕНЕРНЫХ СИСТЕМ**

## **PROCESSES AND MACHINES OF AGROENGINEERING SYSTEMS**

УДК 631.353.722

**Г. Ф. Бетенья<sup>1</sup>, Г. И. Анискович<sup>1</sup>, А. В. Кривцов<sup>2</sup>, С. Н. Рогожинский<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> Учреждение образования «Белорусский государственный аграрный технический университет»,  
Министерство сельского хозяйства и продовольствия Республики Беларусь, пр-т Независимости, 99, 220023 Минск,  
Республика Беларусь, +375 (017) 267 64 45, tnpc-bgatu@mail.ru

<sup>2</sup> Частное предприятие «ФРОС-М», ул. Минская, д. 1а, 223058 д. Лесковка, Минский р-н, Минская обл.,  
Республика Беларусь, +375 (29) 656 63 39, up.frosm@gmail.com

### **ИННОВАЦИОННАЯ ТЕХНОЛОГИЯ УПРОЧНЕНИЯ ДИСКОВ РОТОРОВ И ОСНОВАНИЙ БАШМАКОВ РЕЖУЩЕГО АППАРАТА КОСИЛОК**

В статье приведены результаты исследований элементного состава, структуры и основных механических свойств упрочнённых импульсной закалкой дисков роторов и оснований башмаков режущего аппарата роторных косилок. Подтверждена возможность изготовления этих сложнопрофильных деталей из углеродистых сталей с упрочнением импульсным закалочным охлаждением быстродвижущимся потоком воды. Упрочнение деталей осуществляется в закалочных устройствах, разрабатываемых индивидуально с учётом конструкций ротора и оснований башмака. При этом деталям обеспечиваются отвечающие условиям эксплуатации значения твёрдости, ударной вязкости, прочности, характерное структурное строение.

**Ключевые слова:** диск ротора; основание башмака; импульсная закалка; устройство закалочного охлаждения; твёрдость; ударная вязкость.

Табл. 2. Рис. 7. Библиогр.: 7 назв.

**G. F. Betenya<sup>1</sup>, G. I. Aniskovich<sup>1</sup>, A. V. Krivtsov<sup>2</sup>, S. N. Rogozhinsky<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> Educational Establishment “Belarusian State Agrarian Technical University”, Ministry of Agriculture and Food of the Republic of Belarus, 99, Independence ave., 220023, Minsk, the Republic of Belarus, +375 (017) 267 64 45, tnpc-bgatu@mail.ru

<sup>2</sup> Private enterprise “FROS-M”, 1a, Minskaya str., 223058 Leskovka, Minsk district, Minsk region, the Republic of Belarus, +375 (29) 656 63 39, up.frosm@gmail.com

### **INNOVATIVE TECHNOLOGY FOR ROTOR DISCS AND MOWER CUTTERBAR SHOE BASE STRENGTHENING**

The article deals with the results of the experimental study of elemental composition, structure and basic mechanical properties of rotor discs and mower cutterbar shoe base strengthened by pulse hardening. The possibility of producing these complex profile parts made of carbon steel hardened by quench cooling pulse of a fast-moving stream of water is confirmed. Hardening of parts is carried out in the quenching devices, constructed individually and taking into account the construction of the rotor and shoe bases. At the same time the parts are provided with hardness, toughness, strength, necessary structural composition, in accordance with the operating conditions.

**Key words:** rotor disk; shoe base; pulse hardening; quenching cooling device; hardness; toughness.

Table 2. Fig. 7. Ref.: 7 titles.

**Введение.** В конструкциях современных дисковых и роторных косилок к днищу основного бруса крепятся башмаки, которыми режущий аппарат опирается на почву, обеспечивая шарнирно закреплённому бусу копирование рельефа поля в вертикальной плоскости. Вдоль бруса устанавливаются роторы,

каждый из которых имеет два шарнирно закреплённых косилочных ножа. В процессе работы частота вращения диска ротора составляет около  $3\ 000\ \text{мин}^{-1}$ .

Диск ротора является сложным в геометрическом исполнении изделием. Он относится к классу пространственных сложнопрофильных конструкций. Кроме этого, как правило, диск ротора состоит из разнородных конструкционных материалов (стальная тонкостенная основа толщиной  $4\text{...}5\ \text{мм}$ , вставки для крепления косилочных ножей, сварные швы).

Основания башмаков (основное и дополнительное) брусьев режущих аппаратов косилок также являются сложными в геометрическом исполнении изделиями. Они представляют собой конструкцию коробчатого типа. Основания башмаков изготавливаются из тонколистового стального проката толщиной  $4\text{...}5\ \text{мм}$ . Ширина оснований  $200\text{...}370\ \text{мм}$ , длина  $440\text{...}480\ \text{мм}$ .

Показаны эскизы объектов исследований (диск ротора, основания башмаков) бруса режущего аппарата косилок (рисунок 1, а—в).

В процессе работы основание башмака и диск ротора подвергаются интенсивному коррозионно-механическому и абразивному изнашиванию, а также воздействию значительных динамических нагрузок, что требует придания этим деталям в процессе изготовления соответствующих условиям эксплуатации физико-механических и эксплуатационных свойств [1].

**Материалы и методы исследования.** Анализ зарубежных аналогов дисков роторов и оснований башмаков (немецких фирм CLAAS и KRONE, французской фирмы KUHN, словенской фирмы SILVERCUT) показал, что эти изделия должны обладать высокими прочностью (не менее  $1\ 500\ \text{МПа}$ ), ударной вязкостью (не менее  $0,6\ \text{МДж} / \text{м}^2$ ), твёрдостью (не менее  $35\text{...}40\ \text{HRC}$ ) и относительным удлинением (не менее  $6\text{...}8\%$ ).

Диски роторов и основания башмаков изготавливаются зарубежными фирмами из высокопрочных и износостойких бористых сталей. Прочность и износостойкость дисков и оснований башмаков, работающих в крайне тяжёлых условиях, преимущественно достигается применением изотермической заковки.

На предприятиях отечественного сельскохозяйственного машиностроения до настоящего времени практически не применяются технологии по упрочнению термообработкой пространственно-сложных тонкостенных стальных заготовок и сварных конструкций. Поэтому работы по упрочнению таких изделий относятся к разряду инновационных.

На сегодня отставание в области отечественного производства конкурентоспособных дисков и оснований башмаков бруса косилок, не уступающих по техническому уровню зарубежным аналогам, начинает сокращаться. Примером технического решения проблемы освоения отечественного производства этой конкурентоспособной продукции является использование упрочняющей технологии импульсного закалочного охлаждения потоком воды или водного раствора кальцинированной соды.

Данная технология [2] прошла проверку в производственных условиях на целом ряде предприятий Министерства промышленности Республики Беларусь и Министерства сельского хозяйства и продовольствия Республики Беларусь. Она является объектом конструкторской и опытно-технологической разработки с высокой степенью завершённости [3].

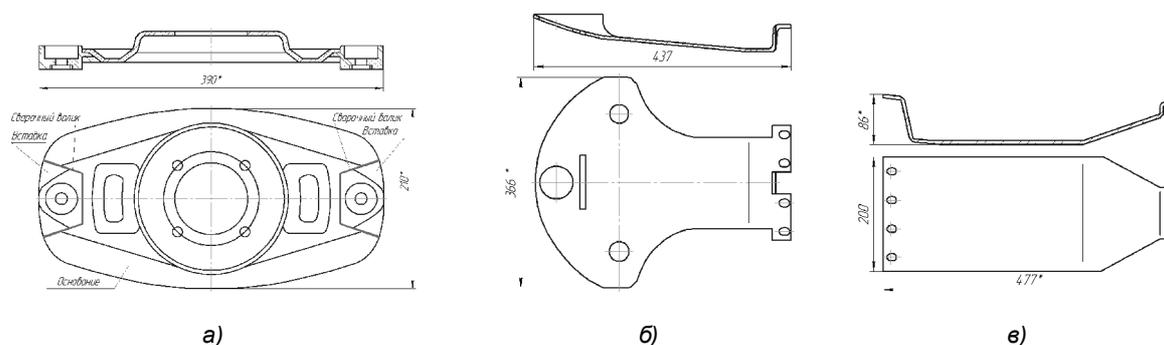


Рисунок 1. — Эскизы диска ротора (а), основного (б) и дополнительного основания (в) башмаков бруса режущего аппарата косилок

Технология импульсного закалочного охлаждения жидкостью (далее — ТИЗОЖ) является отечественной, энерго- ресурсо- и природосберегающей, обладает патентной чистотой и защищённостью [4]. Ей присуща высокая производительность, которая лимитируется пропускной способностью нагревательных печей. Основным классификационным признаком ТИЗОЖ является отнесение её к нанотехнологии, при реализации которой при заданных параметрах режима охлаждения в изделиях из конструкционной стали формируется наноструктурированное состояние, характеризующееся размером характерных структурных элементов в диапазоне 30...80 нм [5]. В зарубежной практике наиболее распространённым аналогом такого технического решения является технология под названием “Conit” (интеллектуальная собственность норвежской фирмы Kverneland) [6].

В соответствии с технологической схемой ТИЗОЖ нагретая до температуры аустенитизации и при выдержке ~10 мин стальная ремонтная заготовка (далее — РЗ) устанавливается в устройство закалочного охлаждения (далее — УЗО) и фиксируется. После этого в зазоры между РЗ и ограждающими поверхностями, формируемыми матрицей и пуансоном УЗО, подаётся быстродвижущийся поток охлаждающей жидкости (далее — ОЖ). Температура аустенитизации и скорость потока ОЖ (свыше 30 м / с) задаётся в определённом интервале. Как правило, УЗО имеют индивидуальное назначение. Их основными конструктивными элементами являются матрица и пуансон, с помощью которых моделируются потоки жидкости вокруг объекта закалки. Особенно важно это для деталей сложной пространственной геометрии. Однородное (равномерное) охлаждение РЗ сложной формы достигается равномерным потоком ОЖ, омывающей поверхность объекта закалки.

Для обеспечения конкурентоспособности дисков роторов и оснований башмаков исследования проводились с использованием горячекатаного стального проката из следующих марок сталей: сталь 25ХГСА и 30ХГСА (ГОСТ 4543-71) [7], бористая сталь RAEX B27 (Финляндия) — для основы диска и оснований башмаков; сталь 35Л (ГОСТ 1050-88) [8] — для вставок диска; сварочная проволока Св18ХГС, Нп30ХГСА (ГОСТ 10543-98) [9] — для сварных швов.

Анализ элементного состава, исследование структуры, измерение твёрдости и микротвёрдости стальных образцов выполнялись на базе аккредитованного испытательного центра Государственного научного учреждения «Институт порошковой металлургии».

Исследования элементного состава выполнены на аттестованном атомно-эмиссионном спектрометре ЭМАС-200Д. Погрешность метода в данном случае составляет 3...5 относительных процентов. Анализ на углерод проводили на экспресс-анализаторе АН 7529, анализ на серу — на экспресс-анализаторе АС 7932.

Исследование микроструктуры проводилось на световом микроскопе MeF-3 фирмы Reichert (Австрия) при увеличении  $\times 100$ ,  $\times 200$  и  $\times 500$ . Структура определялась по ГОСТ 8233-56 [10], размер зерна — по ГОСТ 5639-82 [11], полосчатость — по ГОСТ 5640-68 [12].

Твёрдость по Бринеллю измерялась на твердомере ТШ-2М по ГОСТ 9012-59 [13], твёрдость по Роквеллу — на твердомере ТК14-250 по ГОСТ 9013-59 [14].

**Результаты исследований и их обсуждение.** На первоначальном этапе проводились исследования элементного состава и структуры образцов сталей в состоянии поставки (таблица 1).

Т а б л и ц а 1. — Результаты исследования элементного состава образцов сталей

Материал	В процентах						
	C	S	Mn	Si	Ni	Cr	Fe
Сталь 35	0,37	0,016	0,51	0,31	0,02	0,07	Основа
09Г2С	0,11	0,0055	1,5	0,79	0,06	0,08	Основа
Сталь 20	0,18	0,014	0,40	0,23	0,02	0,07	Основа
30ХГСА	0,29	0,0055	0,90	1,0	0,04	0,86	Основа
60ПП	0,58	0,008	0,16	0,21	0,02	0,05	Основа
B27	0,26	0,0045	1,1	0,26	0,03	0,26	Основа

В результате анализа установлено, что по элементному составу с учётом погрешности измерений материал образцов соответствует: стали марки 35, стали марки 20 (ГОСТ 1050-88 [15]), стали марки 09Г2С (ГОСТ 19281-89 [16]), стали марки 30ХГСА, стали марки 25Г (ГОСТ 4543-71 [17]), стали марки 60ПП (ТУ 14-1-1926-76 [18]).

Структура образца из стали 35 (рисунок 2, а) феррито-перлитная, размер зерна находится в диапазоне 10...20 мкм. Средний диаметр зерна составляет 0,015 мм, что соответствует № 9 по ГОСТ 5639-82 [19], твёрдость образца — 165 НВ.

Структура образца 09Г2С (см. рисунок 2, б) феррито-перлитная, размер зерна находится в диапазоне 5...15 мкм. Средний диаметр зерна составляет 0,011 мм, что соответствует № 10 по ГОСТ 5639-82 [20]. Присутствует полосчатость 1 балла по ГОСТ 5640-68 [21]. Твёрдость образца составляет 165 НВ.

Структура образца сталь 20 (см. рисунок 2, в) феррито-перлитная, размер зерна находится в диапазоне 10...25 мкм. Средний диаметр зерна составляет 0,017 мм, что соответствует № 8 и № 9 по ГОСТ 5639-82 [22], твёрдость образца — 140 НВ.

Структура образца 30ХГСА (см. рисунок 2, г) феррито-перлитная, размер зерна находится в диапазоне 10...20 мкм. Средний диаметр зерна составляет 0,015 мм, что соответствует № 9 по ГОСТ 5639-82 [23], твёрдость образца — 220 НВ.

Структура образца В27 (см. рисунок 2, е) феррито-перлитная, основной размер зерна находится в диапазоне 3...10 мкм, наблюдаются зёрна размером до 25 мкм. Средний диаметр зерна составляет 0,011...0,015 мм, что соответствует № 10 и № 9 по ГОСТ 5639-82 [24]. Присутствует полосчатость 1 балла по ГОСТ 5640-68 [25]. Твёрдость образца составляет 195 НВ.

Структура образца 60ПП (см. рисунок 2, д) феррито-перлитная, с отдельными включениями цементита, располагающимися по границам зёрен в виде разорванной сетки. Размер зерна находится в диапазоне 10...30 мкм. Средний диаметр зерна составляет 0,015 мм, что соответствует № 9 по ГОСТ 5639-82 [26]. С двух сторон присутствует обезуглероженный слой: с одной стороны толщиной 30...80 мкм, с другой — 10...60 мкм. Твёрдость образца составляет 130...135 НВ.

Из приведённых марок сталей для исследовательских испытаний изготавливались плоские образцы шириной 65 мм, длиной 200 мм и толщиной 4 и 5 мм. Плоские образцы подвергались упрочнению

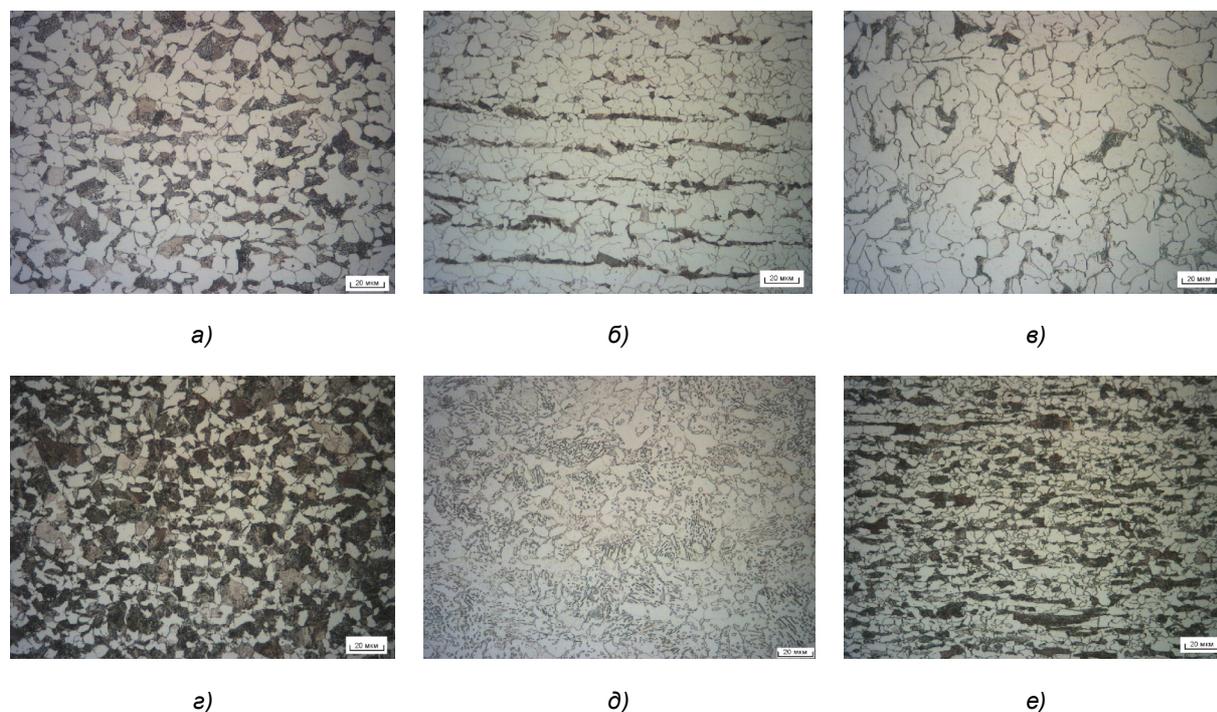


Рисунок 2. — Микроструктура материала образцов: сталь 35 (а), сталь 09Г2С (б), сталь 20 (в), сталь 30ХГСА (г), сталь 60ПП (д), сталь В27 (е).  $\times 500$

с использованием ТИЗОЖ, подробно изложенной в [27]. Избыточное давление воды составляло 0,40 МПа. Температура аустенитизации образцов устанавливалась для стали 35 — 850°C, стали 25ХГСА — 890...950°C, стали RAEX B27 — 890°C, стали 09Г2С — 950°C. Продолжительность цикла охлаждения составляла 1 с. Закалённые плоские образцы подвергались низкому отпуску при температуре 200°C с продолжительностью выдержки в течение 1 ч и среднему отпуску при температуре 300 и 350°C с продолжительностью выдержки 1 ч. После отпуска образцы из стали 35 и стали RAEX B27 охлаждались на воздухе. Образцы из стали 25ХГСА после отпуска охлаждались погружением в воду.

Упрочнённые пластины использовались для проведения структурного анализа, исследования твёрдости и ударной вязкости (КСУ).

Исследование ударной вязкости проводилось на стандартных образцах толщиной 2 мм (тип 4) и 5 мм (тип 3) по ГОСТ 9454-78 [28].

Представлены результаты испытаний на ударную вязкость и твёрдость упрочнённых образцов (таблица 2).

На основании проведённых исследований в качестве материала для дисков ротора и оснований башмаков принят листовой прокат из стали 25ХГСА (ГОСТ 4543) [29].

Заготовки диска ротора изготавливались с применением пластического деформирования в штампах в холодном состоянии с предварительным отжигом. Сборка заготовки диска со вставками осуществлялась с применением сварки в среде углекислого газа. В качестве сварочных электродов применялась проволока Св18ХГС (Нп30ХГСА).

Заготовки оснований башмаков также изготавливались с применением холодного пластического деформирования с предварительным отжигом в штампах.

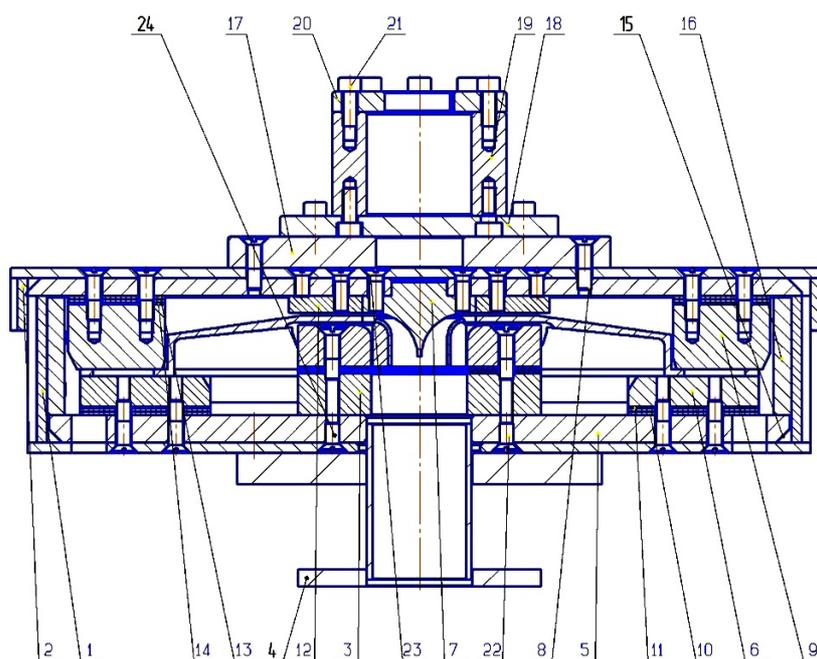
Для упрочнения заготовок деталей импульсной закалкой были разработаны закалочные устройства с учётом конструкций ротора и оснований башмака. В качестве примера представлена принципиальная схема устройства закалочного охлаждения для закалки дисков роторов (рисунок 3). Разработанные закалочные устройства прошли апробацию для импульсной закалки ротора и оснований башмака с применением системы закалочного охлаждения быстро движущимся потоком воды и использованием технического оснащения, соответствующего производственным условиям на материально-технической базе БГАТУ.

В соответствии с технологической схемой ТИЗОЖ нагретая до температуры аустенитизации и при выдержке (~10 мин) стальная РЗ устанавливается в УЗО и фиксируется. После этого в зазоры между РЗ и ограждающими поверхностями, формируемыми матрицей и пуансоном закалочного устройства, подается быстро движущийся поток ОЖ, температура и скорость которой задаётся в определённом интервале.

Упрочнённые опытные детали (диск ротора и основания башмаков) подвергались структурному анализу, исследованию твёрдости и микротвёрдости.

Т а б л и ц а 2. — Результаты исследования ударной вязкости и твёрдости упрочнённых образцов

Образец	Твёрдость, HRC	Ударная вязкость, KCU, Дж / см <sup>2</sup>	
		интервал	среднее значение
Импортный (аналог) ротор	46...48	96,76...118,76	110,10
Сталь 25ХГСА (ТИЗОЖ 950°C, отпуск 200°C 1 ч, охлаждение в воде)	43...45	108,99...124,00	114,82
Сталь 25ХГСА (ТИЗОЖ 890°C, отпуск 350°C 1 ч, охлаждение в воде)	45	99,41...107,46	103,27
Сталь В27 (ТИЗОЖ 890°C, отпуск 200°C 0,5 ч, охлаждение на воздухе)	45	108,08...119,62	114,84
Сталь 35 (ТИЗОЖ 850°C, отпуск 300°C 1 ч, охлаждение на воздухе)	45	66,92...81,06	73,65

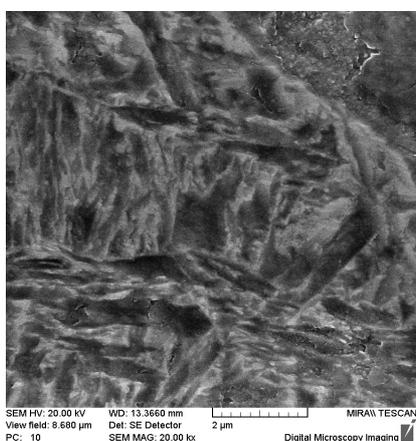


1 — основание; 2 — крышка; 3 — упор; 4 — фланец; 5 — плита основания;  
6 — упор; 7, 15, 16 — вставки; 8 — плита верхняя; 9 — упор; 10, 11, 13, 14 —  
прокладки; 12, 17 — кольцо; 18 — пластина; 19 — втулка; 20 — полукольцо

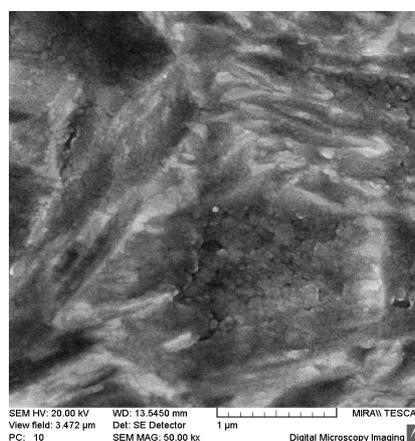
**Рисунок 3. — Принципиальная схема закалочного устройства диска роторов**

Для микроструктурного анализа использовался сканирующий электронный микроскоп высокого разрешения Miра фирмы Tescan (Чехия). Исследования структурного строения образцов проводились при увеличении до  $\times 80\,000$ . Микроструктура образцов из стали 35 представляет собой троостомартенсит (рисунок 4). Видно, что троостомартенситные пластины разбиты на фрагменты. Установлено, что разбиение на классы по длине фрагментов троостомартенситных пластин образцов из стали 35 свидетельствует о преимущественном интервале от  $0,02...0,04$  до  $0,08...0,10$  мкм (около 95%).

Твёрдость по Роквеллу упрочнённых образцов из стали 35 изучалась на твердомере TP 5014-01 по ГОСТ 9013-59 [30]. Установлено, что среднее значение твёрдости закалённой поверхности упрочнённых



а)



б)

**Рисунок 4. — Морфология троостомартенситных пластин в деталях из стали 35.  $\times 20\,000$  (а).  $\times 50\,000$  (б)**

образцов, термообработанных при избыточном давлении в интервале от 0,30 до 0,50 МПа, составляет в среднем 46 HRC.

Исследования изготовленных из стали 35 оснований башмаков, упрочнённых импульсной закалкой с последующим низким отпуском, показали, что по элементному составу с учётом погрешности измерений материал детали соответствует стали марки 35 (C — 0,34%, S — 0,012%, Mn — 0,52%, Si — 0,21%, Ni — 0,07%, Cr — 0,11%, Fe — основа) ГОСТ 1050-88 [31].

Структура материала деталей (рисунок 5) представляет собой мелко- и среднеигольчатый мартенсит с размером игл 6...10 мкм по ГОСТ 8233-56 [32]. Присутствует обезуглероженный слой глубиной до 70 мкм, твёрдость по Роквеллу составляет 53 HRC.

Характерными участками для диска ротора являлись основа, вставка и сварочные валики (рисунок 6).

Структура образца представляет собой троостит с ферритом. С двух сторон присутствует обезуглероженный слой: с наружной стороны толщиной 100...200 мкм, с внутренней — 100...150 мкм.

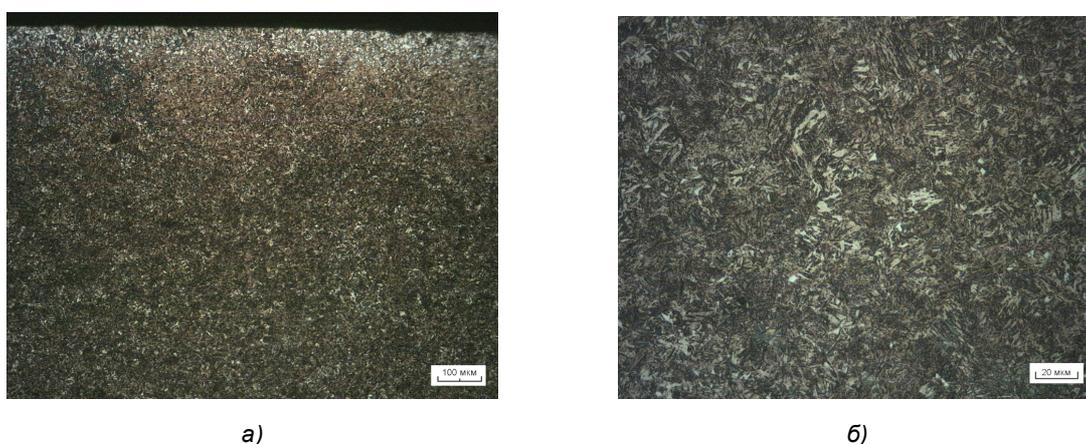


Рисунок 5. — Микроструктура оснований башмаков.  $\times 100$  (а).  $\times 500$  (б)

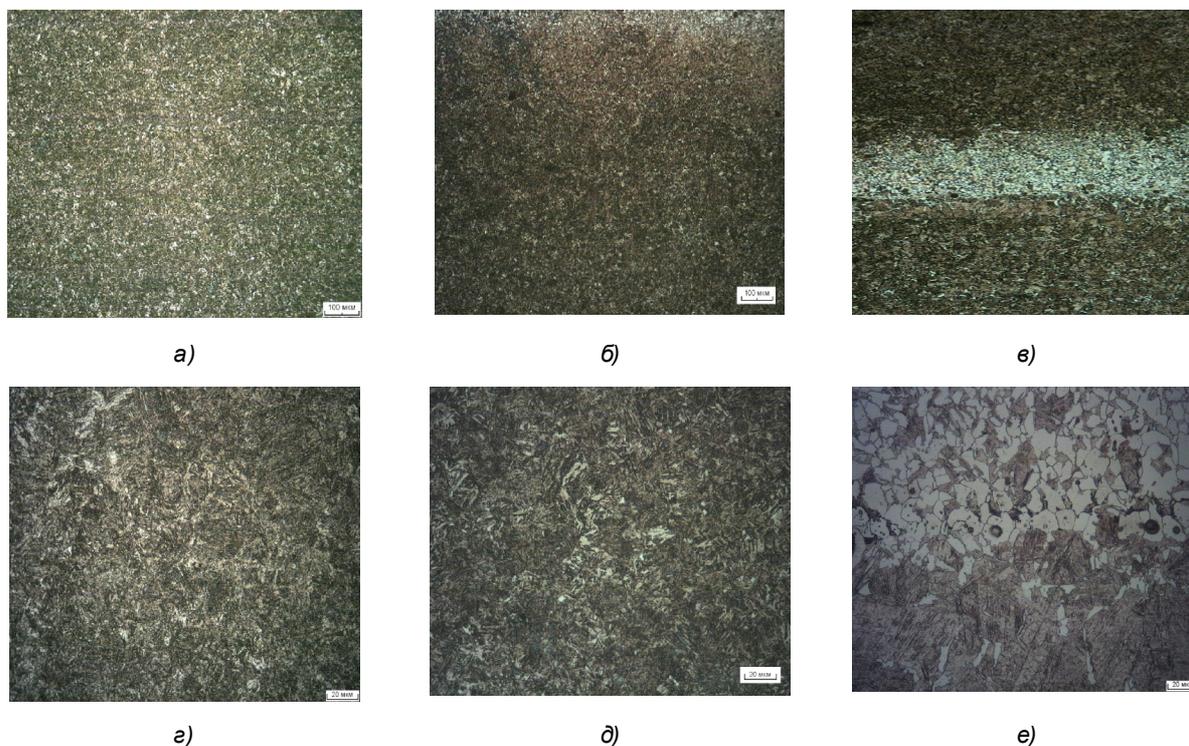


Рисунок 6. — Микроструктура основы (а, г), вставки (б, д) и сварочного валика (в, е) опытного образца ротора.  $\times 100$  (а, б, в).  $\times 500$  (г, д, е)

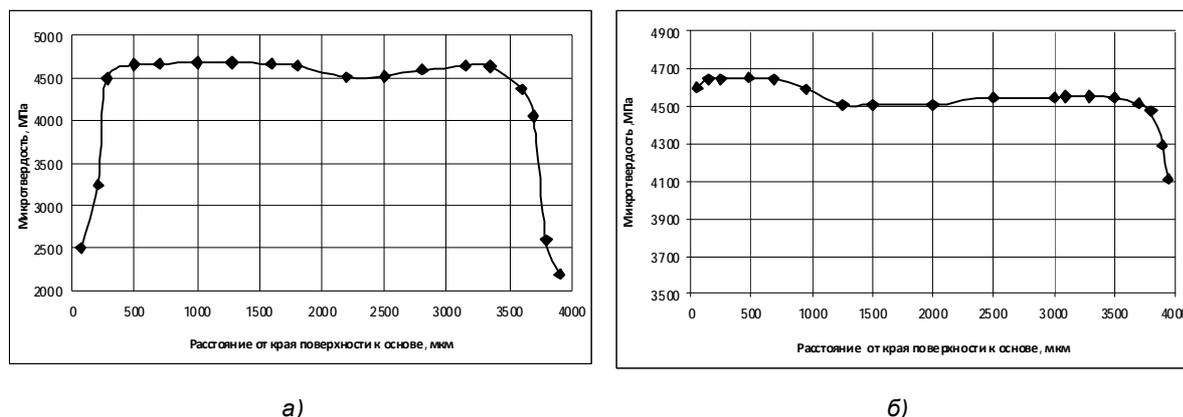


Рисунок 7. — Графики измерения микротвёрдости по сечению шлифов  
опытного образца диска ротора (а) и основания башмака (б)

Измерение микротвёрдости диска ротора и основания башмака проводилось от наружного края к внутреннему (рисунок 7).

Микроструктура опытного образца основания башмака представляет собой мелкоигльчатый троостомартенсит с длиной игл 2...4 мкм. Одна из сторон поверхности обезуглерожена на глубину до 60 мкм. Твёрдость необезуглерожённой поверхности составляет 48...49 HRC, обезуглерожённой — 42...44 HRC.

Таким образом, исследования элементного состава, структуры и основных механических свойств дисков роторов и оснований башмаков бруса режущего аппарата косилок, изготовленных из углеродистых сталей и упрочнённых импульсной закалкой, показали, что по этим параметрам они не уступают зарубежным аналогам.

**Закключение.** На основании вышеизложенного можно сделать следующие выводы: 1) для изготовления дисков ротора и оснований башмака рекомендуется использовать листовый прокат из стали 25ХГСА. Её применение соответствует требуемым эксплуатационным свойствам деталей, характеризующим прочностью, твёрдостью и ударной вязкостью; 2) при изготовлении дисков ротора и оснований башмака для их упрочнения обосновано применение технологии импульсного закалочного охлаждения водой, что обеспечивает требуемый для этих деталей уровень твёрдости, ударной вязкости, прочности, характерное структурное строение.

#### Список цитируемых источников

1. Повышение работоспособности деталей рабочих органов сельскохозяйственных машин / И.Н. Шило [и др.]. Минск : БГАТУ, 2010. 320 с.
2. Объёмные нанокристаллические износостойкие детали рабочих органов сельскохозяйственной техники / Г.Ф. Бетенья [и др.] // Вестник Полоцкого государственного университета. 2012. № 3. Сер. В. Промышленность. Прикладные науки. С. 46—51.
3. Бетенья Г.Ф., Анискович Г.И. Опыт упрочнения деталей из сталей пониженной прокаливаемости импульсным закалочным охлаждением жидкостью // Вестник БарГУ. 2013. Вып. 1. С. 152—159.
4. Технологический модуль для закалки деталей [Электронный ресурс] : пат. № U 2139 Респ. Беларусь / Бетенья Г.Ф. [и др.] ; заявл. 17.12.2004 ; опубл. 16.05.2005. URL: <http://bypatents.com/3-u2139-tehnologicheskij-modul-dlya-zakalki-detalejj.html> (дата обращения: 12.01.2016) ; Закалочное устройство для быстрого охлаждения тонкостенных заготовок [Электронный ресурс] : пат. № U 8779 Респ. Беларусь / Бетенья Г.Ф. [и др.] ; заявл. 26.04.2012 ; опубл. 30.12.2012. URL: <http://bypatents.com/3-u8779-zakalochnoe-ustrojstvo-dlya-bystrogo-ohlazhdeniya-tonkostennyh-zagotovok.html> (дата обращения: 12.01.2016).
5. Бетенья Г.Ф., Анискович Г.И. Модификация структуры и механических свойств стали пониженной прокаливаемости при импульсном закалочном охлаждении жидкостью // MOTOROL. Lublin—Pzeszow. 2013. Vol. 15. № 7. С. 80—86.
6. Soucek R., Pippig G. Maschinen und Gerate fur Bodenbearbeitung, Dungung und Aussaat. Berlin : Verl. Technik, 1990. 432 s.
7. Прокат из легированной конструкционной стали. Технические условия [Электронный ресурс] : ГОСТ 4543-71 // Открытая база ГОСТов. URL: [http://standartgost.ru\\_4543-71](http://standartgost.ru_4543-71) (дата обращения: 12.01.2016).
8. Прокат сортовой, калиброванный, со специальной отделкой поверхности из углеродистой качественной конструкционной стали. Общие технические условия [Электронный ресурс] : ГОСТ 1050-88 // Открытая база ГОСТов. URL: [http://standartgost.ru\\_](http://standartgost.ru_) (дата обращения: 12.01.2016).

9. Проволока стальная наплавочная. Технические условия [Электронный ресурс] : ГОСТ 10543-98 // Открытая база ГОСТов. URL: <http://standartgost.ru> (дата обращения: 12.01.2016).
10. Сталь. Эталоны микроструктуры [Электронный ресурс] : ГОСТ 8233-56 // Открытая база ГОСТов. URL: <http://standartgost.ru> (дата обращения: 12.01.2016).
11. Стали и сплавы. Методы выявления и определения величины зерна [Электронный ресурс] : ГОСТ 5639-82 // Открытая база ГОСТов. URL: <http://standartgost.ru> (дата обращения: 12.01.2016).
12. Сталь. Металлографический метод оценки микроструктуры листов и ленты [Электронный ресурс] : ГОСТ 5640-68 // Открытая база ГОСТов. URL: <http://standartgost.ru> (дата обращения: 12.01.2016).
13. Металлы. Метод измерения твёрдости по Бринеллю [Электронный ресурс] : ГОСТ 9012-59 // Открытая база ГОСТов. URL: <http://standartgost.ru> (дата обращения: 12.01.2016).
14. Металл. Метод измерения твёрдости по Роквеллу [Электронный ресурс] : ГОСТ 9013-59 // Открытая база ГОСТов. URL: <http://standartgost.ru> (дата обращения: 12.01.2016).
15. Прокат сортовой, калиброванный, со специальной отделкой поверхности из углеродистой качественной конструкционной стали. Общие технические условия [Электронный ресурс] : ГОСТ 1050-88 // Открытая база ГОСТов. URL: <http://standartgost.ru> (дата обращения: 12.01.2016).
16. Прокат из стали повышенной прочности. Общие технические условия [Электронный ресурс] : ГОСТ 19281-89 // Открытая база ГОСТов. URL: <http://standartgost.ru> (дата обращения: 12.01.2016).
17. Прокат из легированной конструкционной стали. Технические условия [Электронный ресурс] : ГОСТ 4543-71 // Открытая база ГОСТов. URL: <http://standartgost.ru> (дата обращения: 12.01.2016).
18. Прокат горячекатаный из углеродистой качественной конструкционной стали с пониженной прокаливаемостью марок 58 (55пп) и 60пп. Технические условия [Электронный ресурс] : ТУ 14-1-1926-76 // Электронный магазин стандартов. URL: <http://www.standards.ru/document/3368249.aspx> (дата обращения: 12.01.2016).
19. Стали и сплавы. Методы выявления и определения величины зерна [Электронный ресурс] : ГОСТ 5639-82 // Открытая база ГОСТов. URL: <http://standartgost.ru> (дата обращения: 12.01.2016).
20. Там же.
21. Сталь. Металлографический метод оценки микроструктуры листов и ленты [Электронный ресурс] : ГОСТ 5640-68 // Открытая база ГОСТов. URL: <http://standartgost.ru> (дата обращения: 12.01.2016).
22. Стали и сплавы. Методы выявления и определения величины зерна [Электронный ресурс] : ГОСТ 5639-82 // Открытая база ГОСТов. URL: <http://standartgost.ru> (дата обращения: 12.01.2016).
23. Там же.
24. Там же.
25. Сталь. Металлографический метод оценки микроструктуры листов и ленты [Электронный ресурс] : ГОСТ 5640-68 // Открытая база ГОСТов. URL: <http://standartgost.ru> (дата обращения: 12.01.2016).
26. Стали и сплавы. Методы выявления и определения величины зерна [Электронный ресурс] : ГОСТ 5639-82 // Открытая база ГОСТов. URL: <http://standartgost.ru> (дата обращения: 12.01.2016).
27. Объёмные нанокристаллические износостойкие детали рабочих органов сельскохозяйственной техники / Г.Ф. Бетенья [и др.]. С. 46—51.
28. Металлы. Метод испытания на ударный изгиб при пониженных, комнатной и повышенных температурах [Электронный ресурс] : ГОСТ 9454-78 // Открытая база ГОСТов. URL: <http://standartgost.ru> (дата обращения: 12.01.2016).
29. Прокат из легированной конструкционной стали. Технические условия [Электронный ресурс] : ГОСТ 4543-71 // Открытая база ГОСТов. URL: <http://standartgost.ru> (дата обращения: 12.01.2016).
30. Металлы. Метод измерения твёрдости по Роквеллу [Электронный ресурс] : ГОСТ 9013-59 // Открытая база ГОСТов. URL: <http://standartgost.ru> (дата обращения: 12.01.2016).
31. Прокат сортовой, калиброванный, со специальной отделкой поверхности из углеродистой качественной конструкционной стали. Общие технические условия [Электронный ресурс] : ГОСТ 1050-88 // Открытая база ГОСТов. URL: <http://standartgost.ru> (дата обращения: 12.01.2016).
32. Сталь. Эталоны микроструктуры [Электронный ресурс] : ГОСТ 8233-56 // Открытая база ГОСТов. URL: <http://standartgost.ru> (дата обращения: 12.01.2016).

Поступила в редакцию 31.05.2016.