

УДК 631.353.722

**Анискович Г.И.**, кандидат технических наук, доцент;  
**Литовчик Д.П.**, инженер;  
**Рогожинский С.Н.**, инженер  
*УО «Белорусский государственный аграрный технический университет», г. Минск, Республика Беларусь*

## **УПРОЧНЕНИЕ ОСНОВАНИЙ БАШМАКОВ РЕЖУЩЕГО БРУСА РОТОРНЫХ КОСИЛОК**

***Аннотация.** В статье приведены результаты исследований элементного состава, структуры и основных механических свойств упрочненных импульсной закалкой оснований башмаков роторных косилок. Подтверждена возможность изготовления этих сложнопрофильных деталей из углеродистых сталей с упрочнением импульсной закалкой. При этом деталям обеспечиваются, отвечающие условиям эксплуатации, значения твердости, ударной вязкости, прочности, характерное структурное строение.*

***Ключевые слова:** основание башмака, импульсная закалка, устройство закалочного охлаждения, структура, твердость, ударная вязкость.*

### **Введение**

В конструкциях современных дисковых и роторных косилок к днищу основного бруса крепятся башмаки, которыми режущий аппарат опирается на почву, обеспечивая шарнирно закрепленному брусу копирование рельефа поля в вертикальной плоскости.

Основания башмаков (основное и дополнительное) брусьев режущих аппаратов косилок, относится к классу пространственно-сложнопрофильных конструкций. Они являются конструкцией коробчатого типа. Основания башмаков изготавливается из тонколистового стального проката толщиной 4 – 5 мм. Ширина оснований 200 – 370 мм, длина 440 – 480 мм.

На рисунке 1 (а, б) показаны эскизы объектов исследований (основания башмаков) бруса режущего аппарата косилок.

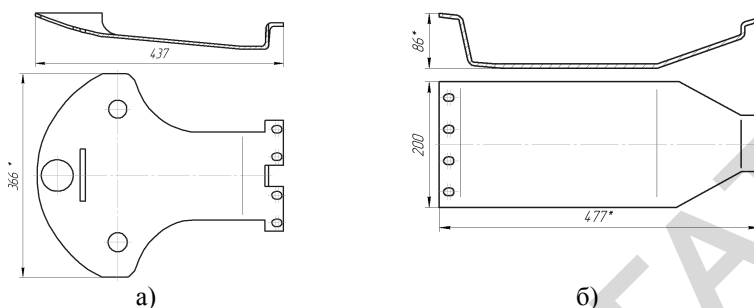


Рисунок 1 – Эскизы основаного (а) и дополнительного основания (б) башмака режущего бруса роторных косилок

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

### Основная часть

Анализ зарубежных аналогов оснований башмаков (немецких фирм «CLASS» и «KRONE», французской фирмы «KUNH», словенской фирмы «SILVERCUT») показал, что эти изделия должны обладать высокой прочностью (не менее 1500 МПа), ударной вязкостью (не менее 0,6 МДж/м<sup>2</sup>), твердостью (не менее 35 – 40 HRC) и относительным удлинением (не менее 6 – 8%).

Основания башмаков изготавливаются зарубежными фирмами из высокопрочных и износостойких бористых сталей. Прочность и износостойкость этих деталей, работающих в крайне тяжелых условиях, преимущественно достигается применением изотермической закалки.

На предприятиях отечественного сельскохозяйственного машиностроения до настоящего времени практически не применяются технологии по упрочнению термообработкой пространственно-сложных тонкостенных стальных заготовок. На сегодняшний день отечественное производство конкурентоспособных оснований башмаков бруса косилок, не уступающих по техническому уровню

зарубежным аналогам, может быть решено использованием упрочняющей технологии импульсного закалочного охлаждения потоком воды или водного раствора кальцинированной соды.

Данная технология [2] прошла проверку в производственных условиях на целом ряде предприятий Минпрома и Минсельхозпрода РБ и является разработкой с высокой степенью завершенности [3].

Технология импульсного закалочного охлаждения жидкостью (ТИЗОЖ) является отечественной, энерго- ресурсо- и природосберегающей, обладает патентной чистотой и защищенностью [4, 5]. 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 характерного структурного элемента в диапазоне 30 – 80 нм [6]. В зарубежной практике аналогом такого технического решения наиболее распространенной является технология под названием «Conit» (интеллектуальная собственность норвежской фирмы «Kverneland») [7].

В соответствии с технологической схемой ТИЗОЖ, нагретая до температуры аустенитизации и выдержке (~10 мин) стальная ремонтная заготовка (РЗ) устанавливается в устройство закалочного охлаждения (УЗО) и фиксируется. После этого в зазоры между РЗ и ограждающими поверхностями, формируемыми матрицей и пуансоном УЗО, подается быстродвижущийся поток охлаждающей жидкости (ОЖ). Температура аустенитизации и скорость потока ОЖ (свыше 30 м/с) задается в определенном интервале. УЗО имеют, как правило, индивидуальное назначение. Их основными конструктивными элементами являются матрица и пуансон. С помощью матрицы и пуансона направляются потоки жидкости вокруг объекта закалки. Особенно важно это для деталей сложной пространственной геометрии. Однородное (равномерное) охлаждение РЗ сложной формы достигается равномерным потоком ОЖ, омываемой поверхностью объекта закалки.

Для обеспечения конкурентоспособности оснований башмаков исследования проводились с использованием горячекатаного стального проката из следующих марок сталей: сталь 25ХГСА

(30ХГСА) (ГОСТ 4543 – 71), сталь марки 60ПП (ТУ 14-1-1926 – 76), бористая сталь RAEX B27 (Финляндия).

Анализ элементного состава, исследование структуры и измерение твердости и микротвердости образцов стали выполнялись на базе аккредитованного Испытательного Центра ГНУ «ИПМ».

Исследование элементного состава выполнено 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 проводили на экспресс-анализаторе АС 7932.

Исследование микроструктуры проводилось на световом микроскопе «MeF-3» фирмы «Reichert» (Австрия) при увеличении  $\times 100$ ,  $\times 200$ ,  $\times 500$ . Структура определялась по ГОСТ 8233 – 56 "Сталь. Эталоны микроструктуры». Размер зерна определяли по ГОСТ 5639 – 82 «Стали и сплавы. Методы выявления и определения величины зерна». Полосчатость определяли по ГОСТ 5640 – 68 «Сталь. Металлографический метод оценки микроструктуры листов и ленты».

Твердость по Бринеллю измерялась на твердомере ТШ-2М по ГОСТ 9012 – 59. Твердость по Роквеллу измерялась на твердомере ТК14 – 250 по ГОСТ 9013 – 59.

На первоначальном этапе проводились исследования элементного состава и структуры образцов сталей в состоянии поставки. Результаты исследования элементного состава образцов сталей приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Результаты исследования элементного состава образцов сталей

| Материал образцов | Элементный состав материала образцов, % |        |      |      |      |      |        |
|-------------------|-----------------------------------------|--------|------|------|------|------|--------|
|                   | C                                       | S      | Mn   | Si   | Ni   | Cr   | Fe     |
| 25ХГСА            | 0,24                                    | 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 |

Структура образца 25ХГСА (рисунок 2, а) феррито-перлитная, размер зерна находится в диапазоне 10 – 20 мкм. Средний размер зерна составляет 0,015 мм, что соответствует 9 баллу по ГОСТ 5639–82. Твердость образца составляет 220 НВ.

Структура образца В27 (рисунок 2, б) феррито-перлитная, основной размер зерна находится в диапазоне 3 – 10 мкм, наблюдаются зерна размером до 25 мкм. Средний размер зерна составляет 0,011 – 0,015 мм, что соответствует 10, 9 баллам по ГОСТ 5639 – 82. Присутствует полосчатость 1 балла по ГОСТ 5640–68. Твердость образца составляет 195 НВ.

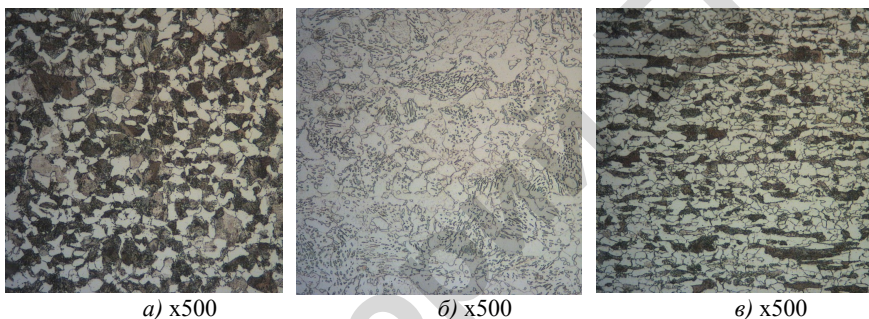


Рисунок 2 – Микроструктура материала образцов:  
сталь 25ХГСА (а), сталь 60ПП (б), сталь В27 (в)

Структура образца 60ПП (рисунок 2, в) феррито-перлитная, с отдельными включениями цементита, располагающимися по границам зерен в виде разорванной сетки. Размер зерна находится в диапазоне 10 – 30 мкм. Средний размер зерна составляет 0,015 мм, что соответствует 9 баллу по ГОСТ 5639-82. С двух сторон присутствует обезуглероженный слой: с одной стороны толщиной 30–80 мкм, с другой стороны – 10 – 60 мкм. Твердость образца составляет 130 – 135 НВ.

Из приведенных марок сталей изготавливались плоские образцы для исследовательских испытаний шириной 65 мм, длиной 200 мм и толщиной 4 и 5 мм. Плоские образцы подвергались упрочнению с использованием ТИЗОЖ, подробно изложенной в [2]. Избыточное давление воды составляло 0,40 МПа. Температура аустенитизации

образцов устанавливалась для стали 25 ХГСА – 890 – 950 °С, стали RAEX В27 – 890 °С. Продолжительность цикла охлаждения составляло 1 с. Закаленные плоские образцы подвергались низкому отпуску при температуре 200 °С продолжительностью выдержки в течение 1 часа и среднему отпуску при температуре 300 и 350 °С с продолжительностью выдержки 1 ч. После отпуска образцы из стали RAEX В27 охлаждались на воздухе. Образцы из стали 25ХГСА после отпуска охлаждались погружением в воду.

Упрочненные пластины использовались для проведения структурного анализа, исследования твердости 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. «Металлы. Метод испытания на ударный изгиб при пониженных, комнатной и повышенных температурах».

Результаты испытаний на ударную вязкость и твердость упрочненных образцов представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Результаты исследования ударной вязкости и твердости упрочненных образцов

| Образец                                                              | Твердость, HRC | Ударная вязкость, KCU, Дж/см <sup>2</sup> |                  |
|----------------------------------------------------------------------|----------------|-------------------------------------------|------------------|
|                                                                      |                | интервал                                  | среднее значение |
| Импортный (аналог)                                                   | 46 – 48        | 96,76 – 118,76                            | 110,1            |
| Сталь 25ХГСА (ТИЗОЖ 950 °С, отпуск 200 °С 1 ч, охлаждение в воде)    | 43 – 45        | 108,99 – 124,00                           | 114,82           |
| Сталь 25ХГСА (ТИЗОЖ 890 °С, отпуск 350 °С 1 ч, охлаждение в воде)    | 45             | 99,41 – 107,46                            | 103,27           |
| Сталь В27 (ТИЗОЖ 890 °С, отпуск 200 °С 0,5 ч, охлаждение на воздухе) | 45             | 108,08 – 119,62                           | 114,84           |

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

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

Для упрочнения заготовок деталей импульсной закалкой были разработаны закалочные устройства с учетом конструкции оснований башмака. Разработанные закалочные устройства прошли апробацию для импульсной закалки оснований башмака с применением системы закалочного охлаждения быстродвижущимся 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 выдержке (~10 мин) стальная ремонтная заготовка (РЗ) устанавливается в устройство закалочного охлаждения и фиксируется. После этого в зазоры между РЗ и ограждающими поверхностями, формируемыми матрицей и пуансоном закалочного устройства, подается быстродвижущийся поток охлаждающей жидкости. Температура и скорость потока ОЖ задается в определенном интервале.

Упрочненные опытные детали подвергались структурному анализу, исследованию твердости и микротвердости.

Микроструктура опытного образца основания башмака (рисунок 3) представляет собой мелкоигльчатый троостомартенсит с длиной игл 2–4 мкм. Одна из сторон поверхности обезуглерожена на глубину до 60 мкм. Твердость необезуглероженной поверхности составляет 48 – 49 HRC, обезуглероженной – 42 – 44 HRC.

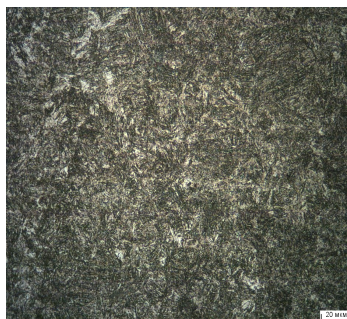
Таким образом, исследования элементного состава, структуры и основных механических свойств, изготовленных из стали 25ХГСА и упрочненных импульсной закалкой оснований башмаков бруса режущего аппарата косилок показали, что по этим параметрам они не уступают импортным аналогам.

### **Заключение**

1. Для изготовления дисков ротора и оснований башмака рекомендуется использовать листовой прокат из стали 25ХГСА. Ее применение соответствует эксплуатационным условиям деталей, характеризующихся прочностью, твердостью и ударной вязкостью.



а) x100



б) x500

Рисунок 3 – Микроструктура оснований башмаков

Измерение микротвердости основания башмака проводилось от наружного края к внутреннему. График измерения представлены на рисунке 4.

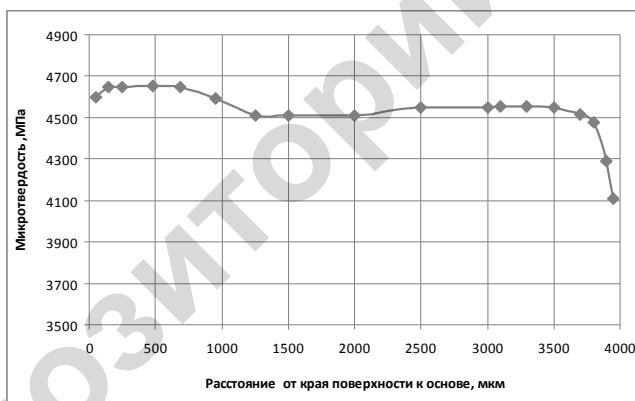


Рисунок 4 – Графики измерения микротвердости по сечению опытного образца основания башмака

2. При изготовлении оснований башмака для их упрочнения обосновано применение технологии импульсного закалочного охлаждения водой, обеспечивающей требуемый для этих деталей уровень твердости, ударной вязкости, прочности, характерное структурное строение.



Список использованных источников

1. Повышение работоспособности деталей рабочих органов сельскохозяйственных машин/И. Н. Шило [и др.] – Минск: БГАТУ, 2010. – 320с.

2. Бетень, Г.Ф. Объемные нанокристаллические износостойкие детали рабочих органов сельскохозяйственной техники /Г.Ф.Бетень [и др.]//Вестник Полоцкого государственного университета/ - 2012, №3, серия В. Промышленность. Прикладные науки. – С.46-51.

3. Бетень, Г.Ф. Опыт упрочнения деталей из сталей пониженной прокаливаемости импульсным закалочным охлаждением жидкостью/Г.Ф.Бетень, Г.И.Анискович //Вестник БарГУ/ - 2013, вып.1 – С. 152-159.

4. Технологический модуль для закалки деталей: патент № 2139 РБ / Бетень Г.Ф. [и др.]; УО БГАТУ. Опубл. 16.05.2005 // Дзяржаўны рэестр карысных мадэляў/Нацыянальны цэнтр інтэлектуальнай маёмасці.

5. Закалочное устройство для быстрого охлаждения тонкостенных заготовок: патент №19291 РБ на изобретение / Бетень Г.Ф. [и др.] /, 2015.

6. Бетень, Г.Ф. Модификация структуры и механических свойств стали пониженной прокаливаемости при импульсном закалочном охлаждении жидкостью / Г.Ф. Бетень, Г.И. Анискович // MOTOROL – Lublin-Pzeszow, 2013, vol.15, №7 – С.80-86.

7. Soucek, R. Maschinen und Gerate fur Bodenbearbeitung, Dungkung und Aussaat / Б Soucek, G. Pippig. – Berlin: Verl. Technik, 1990. – 432 s.

**Abstract.** In article results of the elemental composition of studies of the structure and basic of mechanical properties hardened by quenching pulsed the grounds shoes cutting apparatus rotornyh of mowers. Confirmed the possibility of fabricate these complex profile parts made of carbon steel with hardening pulse quench cooled fast-moving stream of water. In this case the details are provided, corresponding to the operating conditions, hardness, toughness, strength, structural characteristic structure.

**Key words:** the base of the shoe, impulse hardening device hardening cooling, structure, hardness, toughness.