

/ Л.М. Акулович, В.К. Шелег. – Минск : Новое знание; М. : ИН-ФРА-М, 2012. – 488с.

2. Система автоматизированного проектирования технологических процессов механической обработки деталей PRAMEN. Руководство пользователя. ОРГС 4664.013.ИЗ. – Минск : ОАО «Институт Белоргстанкинпром», 2005. – 135 с.

**Abstract.** It is proposed to use the method of synthesis in the design of end-to-end manufacturing processes of sheet metal parts. This makes it possible to combine the operations of cutting metal and machining the surfaces of parts and provides an economic metal by reducing the allowances for processing.

УДК 631.353.722

**Анискович Г.И.**, кандидат технических наук, доцент;

**Литовчик Д.П.**, инженер

*УО «Белорусский государственный аграрный технический университет»,  
г. Минск, Республика Беларусь*

## **УПРОЧНЕНИЕ ДИСКОВ РОТОРОВ РЕЖУЩЕГО АППАРАТА РОТОРНЫХ КОСИЛОК**

***Аннотация.** В статье приведены результаты исследований элементного состава, структуры и основных механических свойств упрочненных импульсной закалкой дисков роторов 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.*

**Введение.** В конструкциях современных дисковых и роторных косилок на режущем брусе устанавливаются роторы, каждый из которых имеет два шарнирно-закрепленных косилочных ножа. В

процессе работы частота вращения диска ротора составляет около  $3000 \text{ мин}^{-1}$ .

Диск ротора является сложным в геометрическом исполнении изделием. Он относится к классу пространственно-сложнопрофильных конструкций. Кроме этого, как правило, диск ротора состоит из разнородных конструкционных материалов (стальная тонкостенная основа толщиной 4 – 5 мм, вставки для крепления косиловых ножей, сварные швы).

На рисунке 1 показан эскиз диск ротора режущего аппарата косилок.

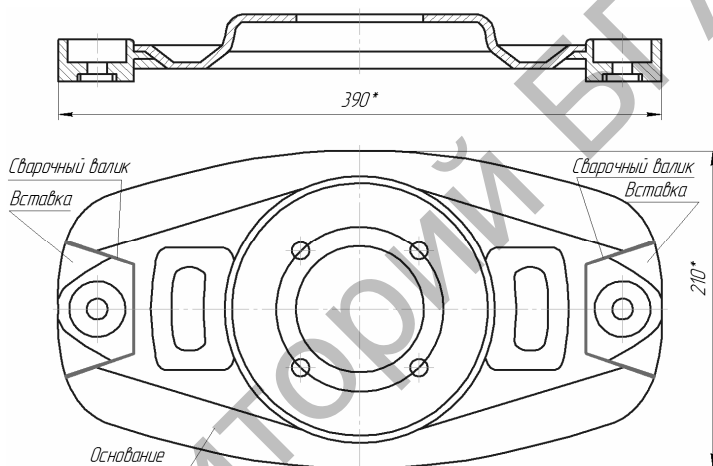


Рисунок 1 – Эскиз диска ротора режущего аппарата косилок

В процессе работы диски роторов 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 дисков роторов показал, что эти изделия должны обладать высокой прочностью (не менее 1500 МПа), ударной вязкостью (не менее  $0,6 \text{ МДж/м}^2$ ), твердостью (не менее 35 – 40 HRC) и относительным удлинением (не менее 6 – 8%).

Зарубежными фирмами диски роторов изготавливаются из высокопрочных и износостойких бористых сталей. Прочность и износостойкость этих деталей, работающих в крайне тяжелых условиях, преимущественно достигается применением изотермической заковки.

На предприятиях отечественного сельскохозяйственного машиностроения до настоящего времени практически не применяются технологии по упрочнению термообработкой пространственно-сложных тонкостенных и сварных конструкций. На сегодняшний день отечественное производство конкурентоспособных дисков роторов косилок, не уступающих по техническому уровню зарубежным аналогам, может быть решено использованием упрочняющей технологии импульсного закалочного охлаждения потоком воды или водного раствора кальцинированной соды [2].

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

В зарубежной практике аналогом такого технического решения наиболее распространенной является технология под названием «Conit» (интеллектуальная собственность норвежской фирмы «Kverneland») [4].

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. УЗО имеют, как правило, индивидуальное назначение. Их основными конструктивными элементами являются матрица и пуансон. 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. С помощью матрицы и пуансона направляются потоки жидкости вокруг объекта заковки. Особенно важно это для деталей сложной пространственной геометрии. Однородное (равномерное) охлаждение РЗ сложной формы достигается равномерным потоком ОЖ, омываемой поверхность объекта заковки.

Для обеспечения конкурентоспособности дисков роторов исследования проводились с использованием горячекатаного сталь-

ного проката из следующих марок сталей: сталь 25ХГСА и 30ХГСА (ГОСТ 4543 – 71), бористая сталь RAEX B27 (Финляндия) – для основы диска; сталь 35Л (ГОСТ 1050 – 88) – для вставок диска; сварочная проволока Св 18ХГС, Нп 30ХГСА (ГОСТ 10543 – 98) – для сварных швов.

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  $\times 500$ . 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

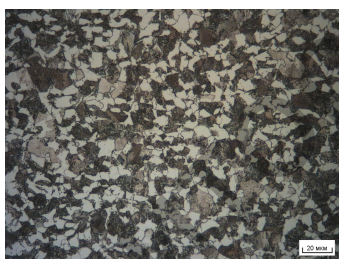
| Материал образцов | Элементный состав материала образцов, % |        |      |      |      |      |        |
|-------------------|---|--------|------|------|------|------|--------|
|                   | C                                       | S      | Mn   | Si   | Ni   | Cr   | Fe     |
| 25ХГСА            | 0,24                                    | 0,0055 | 0,90 | 1,0  | 0,04 | 0,86 | основа |
| 30ХГСА            | 0,29                                    | 0,0055 | 0,90 | 1,0  | 0,04 | 0,86 | основа |
| Сталь 35          | 0,37                                    | 0,016  | 0,51 | 0,31 | 0,02 | 0,07 | 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.

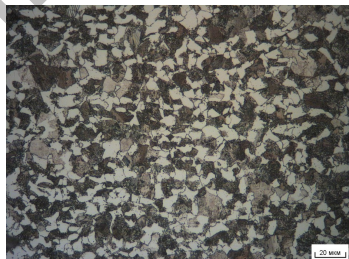
Структура образца 30ХГСА (рисунок 2 б) феррито-перлитная, размер зерна находится в диапазоне 10 – 20 мкм. Средний размер зерна составляет 0,015 мм, что соответствует 9 баллу по ГОСТ 5639–82. Твердость образца составляет 220 НВ.

Структура образца сталь 35 (рисунок 2 в) 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 165 НВ.

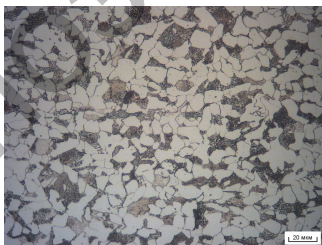
Структура образца В27 (рисунок 2 г) феррито-перлитная, основной размер зерна находится в диапазоне 3 – 10 мкм, наблюдаются зерна размером до 25 мкм. Средний размер зерна составляет 0,011 – 0,015 мм, что соответствует 10, 9 баллам по ГОСТ 5639 – 82. Присутствует полосчатость 1 балла по ГОСТ 5640–68. Твердость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



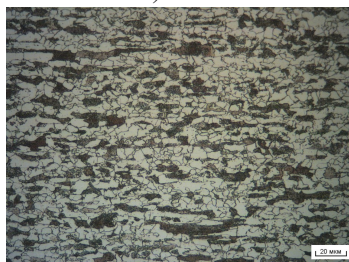
а) x500



б) x500



в) x500



г) x500

Рисунок 2 – Микроструктура материала образцов:  
сталь 25ХГСА (а), сталь 30ХГСА (б), сталь 35 (в), сталь В27 (г)

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, 5]. Избыточное давление воды составляло 0,40 МПа. Температура аустенитизации образцов устанавливалась для стали 25 ХГСА – 890 — 950 °С, стали 35 – 850 °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 35 и 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, КСУ, 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 35 (ТИЗОЖ 850 °С, отпуск 300 °С 1 ч, охлаждение на воздухе)    | 45             | 66,92 – 81,06                             | 73,65            |
| 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 принят листовой прокат из стали 25ХГСА (ГОСТ 4543).

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).

Для упрочнения заготовок деталей импульсной закалкой были разработаны закалочные устройства с учетом конструкции ротора. Разработанные закалочные устройства прошли апробацию для импульсной закалки дисков роторов с применением системы закалочного охлаждения быстро движущимся потоком воды и использованием технического оснащения соответствующего производственным условиям на материально-технической базе БГАТУ.

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

Характерными участками для диска ротора являлись основа, вставка и сварочные валики. Микроструктура этих материалов показана на рисунке 3.

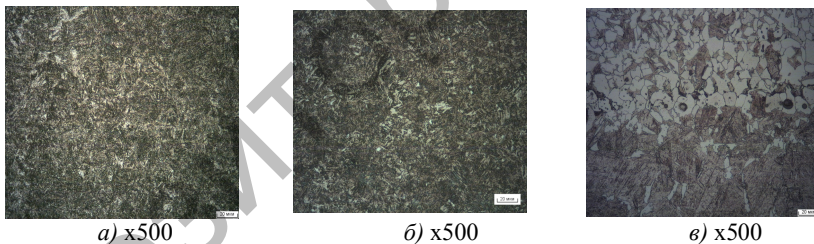


Рисунок 3 – Микроструктура основы (а), вставки (б) и сварочного валика (в) опытного образца ротора

Структура образца представляет собой троостит с ферритом. С двух сторон присутствует обезуглероженный слой: с наружной стороны толщиной 100 – 200 мкм, с внутренней стороны – 100 – 150 мкм. Твердость не обезуглероженной поверхности составляет 45 – 47 HRC.

Измерение микротвердости диска ротора проводилось от наружного края к внутреннему. График измерения представлен на рисунке 4.

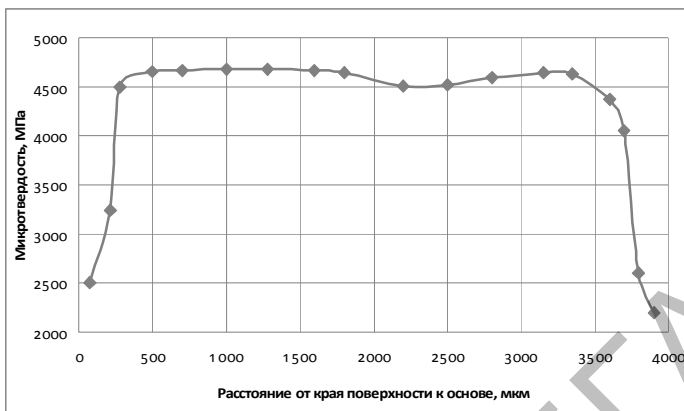


Рисунок 4 – График измерения микротвердости по сечению опытного образца диска ротора

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

**Заключение.** 1. Для изготовления дисков роторов рекомендуется использовать листовой прокат из стали 25ХГСА. Ее применение соответствует эксплуатационным условиям деталей, характеризующимся прочностью, твердостью и ударной вязкостью.

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

#### Список использованной литературы

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

4. Soucek, R. Maschinen und Gerate fur Bodenbearbeitung, Dungung und Aussaat / Б Soucek, G. Pippig. - Berlin: Verl. Technik, 1990. - 432 s.

5. Бетеня 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.

**Abstract.** In article, results of the elemental composition of studies of the structure and basic of mechanical properties hardened by quenching pulsed the disk of rotor 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.

УДК 621.793.71

**Девойно О.Г.<sup>1</sup>**, доктор технических наук, профессор;  
**Кардаполова М.А.<sup>1</sup>**, кандидат технических наук, доцент;  
**Лапковский А.С.<sup>1</sup>**; **Василевский П.Н.<sup>2</sup>**, магистр технических наук, старший преподаватель

<sup>1</sup>*Белорусский национальный технический университет,  
г. Минск, Республика Беларусь,*

<sup>2</sup>*УО «Белорусский государственный аграрный  
технический университет», г. Минск, Республика Беларусь*

## **ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЛАЗЕРНЫХ И ПЛАЗМЕННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ДОЛГОВЕЧНОСТИ БЫСТРОИЗНАШИВАЮЩИХСЯ ДЕТАЛЕЙ СЕЛЬХОЗТЕХНИКИ**

**Аннотация.** В статье представлены технологии лазерной и плазменной обработки, применяемые в процессах восстановления и упрочнения деталей сельхозтехники, приведён сравнительный анализ стоимостей данных видов обработки.