

УДК 631.3.02:621.78

Анискович Г.И., кандидат технических наук, доцент;
Шевчук М.А., ассистент;
Шукан М.М., аспирант

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

ОТЕЧЕСТВЕННЫЕ МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ И ТЕХНОЛОГИЯ УПРОЧНЕНИЯ СМЕННЫХ ПОЧВОРЕЖУЩИХ ДЕТАЛЕЙ РАБОЧИХ ОРГАНОВ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ МАШИН

Аннотация. В статье приведены сведения о зарубежных и отечественных материалах, применяемых для изготовления сменных почворежущих деталей сельскохозяйственных машин, результаты исследований структуры и основных механических свойств упрочненных импульсной закалкой образцов из отечественных среднеуглеродистых конструкционных сталей.

Abstract. The article provides information on foreign and domestic materials used for the manufacture of replaceable parts of deep cultivators. The results of research on the structure and basic mechanical properties of samples made from domestic medium-carbon structural steels, hardened by pulse hardening, are presented.

Ключевые слова. Абразивное изнашивание, упрочнение, термообработка, прочность, структура, твердость, ударная вязкость.

Keywords. Abrasive wear, hardening, strength, structure, heat treatment, hardness, wear resistance, impact toughness.

Повышение технического уровня сменных почворежущих деталей рабочих органов сельскохозяйственных машин – актуальная проблема АПК. В процессе эксплуатации эти детали подвергаются динамическим нагрузкам, воздействию абразивных частиц почвы, что провоцирует разрушение поверхностного их слоя.

В результате интенсивного абразивного изнашивания изменяется геометрия режущей части и общие размеры рабочих органов, что является причиной нарушения агротехнических требований, снижения качества обработки почвы, повышения энергетических затрат. Вынужденная частая замена деталей рабочих органов снижает производительность труда и повышает затраты на обработку [1].

Западноевропейскими фирмами для изготовления сменных деталей почвообрабатывающих машин наиболее часто используются износостойкие стали Raex, Domex, Hardox, Weldox шведской компании SSAB и немецкой компании ThyssenKrupp AG.

Эти стали характеризуются содержанием углерода от 0,18 до 0,42 %, отличаются широким спектром марок (в зависимости от условий применения), более строгими требованиями по содержанию вредных примесей – серы и фосфора, причем требования тем жестче, чем более высокий уровень прочности стали и сложными композициями легирования. Практически все зарубежные износостойкие стали микролегированы бором.

Предел прочности зарубежных сталей после закалки в воду может достигать значений 1580–2050 МПа в зависимости от выбранной композиции легирования, а при закалке в масло значения временного сопротивления на 100–150 МПа ниже. Твердость после термообработки находится в пределах 53–57 HRC [2,3].

Анализ материалов, применяемых предприятиями Республики Беларусь, для изготовления сменных деталей почвообрабатывающих машин показывает, что используются в основном недорогие, недефицитные стали. Также используются традиционные методы упрочнения – термообработка (закалка и отпуск). Подавляющее количество деталей, изготавливают из сталей 35, 45, 40Х, 153, 65Г, 55С2, 60С2.

Изделия из таких сталей в сочетании с традиционной упрочняющей термообработкой не обладают достаточным уровнем твердости, прочности и абразивной износостойкости при работе в экстремальных условиях. Твердость изделий составляет 35–48 HRC, прочность не превышает 900–1200 МПа, ударная вязкость находится в пределах 0,2–0,6 МДж/м². Такие изделия не могут полноценно конкурировать с изделиями ведущих западноевропейских фирм. Для изготовления деталей, обрабатываемых на высокую прочность, также можно использовать стали 30ХГСА, 30ХГСНА, 35ХГСА, 30ХГТ, 20ХГНМ, 45ХНМФА (ГОСТ 4543-71). Однако использование данных марок сталей экономически нецелесообразно по причине существенного увеличения себестоимости изготавливаемых из них деталей.

Отечественным предприятиям в условиях все возрастающей конкуренции и требований к качеству выпускаемой продукции необходим новый подход к выбору материалов и технологий для комплексного решения проблем повышения надежности и срока службы почворежущих деталей и придания им специальных свойств.

ТКП 572-2015 «Детали сельскохозяйственных машин подвергающиеся интенсивному износу. Требования к параметрам устойчивости к абразивному, ударно-абразивному изнашиванию и пластической деформации» устанавливает, что почворежущие детали, такие как лемеха, долота плугов, лапы культиваторов и др. должны иметь прочность не менее 1500 МПа, твердость на уровне 50 HRC, ударную вязкость не менее 0,6 МДж/м².

Экономическая целесообразность производства предприятиями республики сменных деталей почвообрабатывающих машин требуемого уровня качества и конкурентоспособности предполагает использование при их изготовлении недорогие и недефицитные среднеуглеродистые марки сталей и

придание необходимых физико-механических свойств за счет применения специальной упрочняющей обработки.

Отечественное производство конкурентоспособных почворежущих деталей рабочих органов сельскохозяйственных машин, не уступающих по техническому уровню зарубежным аналогам, может быть решено использованием упрочняющей технологии импульсного закалочного охлаждения потоком воды [4,5,6]. Данный вид термообработки успешно осваивается белорусскими производителями сельскохозяйственной техники.

Для обеспечения конкурентоспособности почворежущих деталей рабочих органов сельскохозяйственных машин, исследования проводились с использованием горячекатаного стального проката из следующих марок сталей: сталь 35, 45, 25ХГСА, 60ПП.

В ходе исследований физико-механических свойств упрочненных экспериментальных образцов выполнялись: исследование структуры, измерение твердости, микротвердости и ударной вязкости.

Определение динамических свойств упрочненных образцов осуществлялось по методу ударного нагружения в соответствии с требованиями ГОСТ 9454-78 на образцах без надреза.

По результатам испытаний ударная вязкость образцов из сталей 45 и 35 после импульсной закалки и отпуска при 230°C и 280°C в течение 1 часа находилась на уровне 300 Дж/см², из стали 60 ПП (импульсная закалка и отпуск при 200°C в течение 1 ч) – 280,0 – 282,6 Дж/см², из стали 25 ХГСА (импульсная закалка и отпуск 400 °С) – 137,5–145,0 Дж/см².

Твердость по Роквеллу определялась на твердомере ТК14-250 по ГОСТ 9013-59. Измерение микротвердости проводилось на микротвердомере «Micromet-II» с нагрузкой 100 г. по ГОСТ 9450-76. Перевод чисел микротвердости в твердость по Роквеллу осуществлялся по таблицам ASTM. Погрешность перевода составляет ± 10 %.

Результаты измерения поверхностной твердости упрочненных импульсной закалкой (ИЗ) образцов представлены в табл.1

Исследование структуры образцов проводили на световом микроскопе «MeF-3» фирмы «Reichert» (Австрия) при увеличении ×500.

Микроструктурные исследования показали, что у всех упрочненных образцов у края поверхности присутствует безуглероденный слой на глубину 10–50 мкм.

Микроструктура образца из стали 45 после импульсной закалки и низкого отпуска при температуре 280°C (рис. 1а) в упрочненных зонах на глубину до 2,5 мм представляет собой троостомартенсит с микротвердостью 5100–5200 МПа (48–50 HRC), в сердцевине – тростит с микротвердостью 4600 МПа (45 HRC).

Таблица 1 – Твердость поверхности упрочненных импульсной закалкой образцов

Марка стали и вид ТО	45, ИЗ, отпуск 280°C	45, ИЗ, отпуск 230°C	35, ИЗ, отпуск 280°C	35, ИЗ, отпуск 230°C	60ПП, ИЗ, отпуск 200°C	25ХГСА, ИЗ, отпуск 400°C
Твердость, HRC	48-50	50-53	42-45	47-49	56-60	43-45

Микроструктура образца из стали 45 после импульсной закалки и низкого отпуска при температуре 280°C (рис. 1а) в упрочненных зонах на глубину до 2,5 мм представляет собой троостомартенсит с микротвердостью 5100–5200 МПа (49–50 HRC), в сердцевине – тростит с микротвердостью 4600 МПа (45 HRC).

В образце из стали 45 после импульсной закалки и низкого отпуска при температуре 230°C (рис. 1б) микроструктура в упрочненных зонах на глубину до 2,5 мм представляет собой троостомартенсит с микротвердостью 5600–5700 МПа (52–54 HRC), в сердцевине – тростит с микротвердостью 4600 МПа (45 HRC).

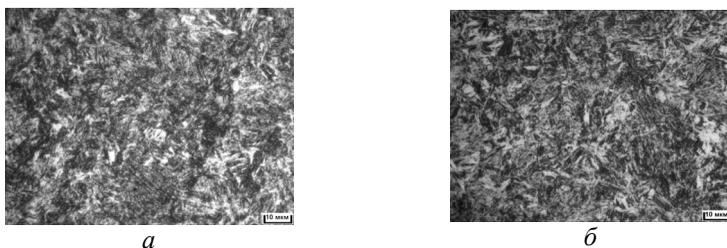


Рисунок 1 – Микроструктура (x500) образцов из стали 45 после импульсной закалки и отпуска 280°C (а) и 230°C (б)

Микроструктура образца из стали 35 после импульсной закалки и низкого отпуска при температуре 280°C (рис. 2а) в упрочненных зонах на глубину до 3,5 мм представляет собой мартенсит, троостомартенсит с микротвердостью 5600–4500 МПа (52-45 HRC), в сердцевине – троостосорбит с микротвердостью 3600–3800 МПа (37–39 HRC).

Микроструктура образца из стали 35 после импульсной закалки и низкого отпуска при температуре 230°C (рис. 2б) в упрочненных зонах на глубину до 3,5 мм представляет собой троостит с микротвердостью 4100–4800 МПа (41–47 HRC), в сердцевине – троостосорбит с микротвердостью 3500 МПа (36 HRC).

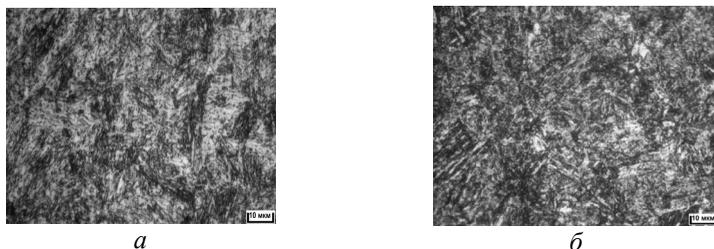


Рисунок 2 – Микроструктура (x500) образцов из стали 35 после импульсной закалки и отпуска 280 °С (а) и 230 °С (б)

В образце из стали 60ПП (импульсная закалка, отпуск 200°С) микроструктура в упрочненных зонах (рис. 3а) на глубину до 3,5 мм представляет собой мартенсит, троостомартенсит с микротвердостью 7200–4500 МПа (60–45 HRC), в сердцевине – троостосорбит с микротвердостью 3500–3600 МПа (36–37 HRC).

Микроструктура образца из стали 25 ХГСА представляет собой мелкокогильчатый троостомартенсит с микротвердостью 4300–4500 МПа (43–45 HRC).

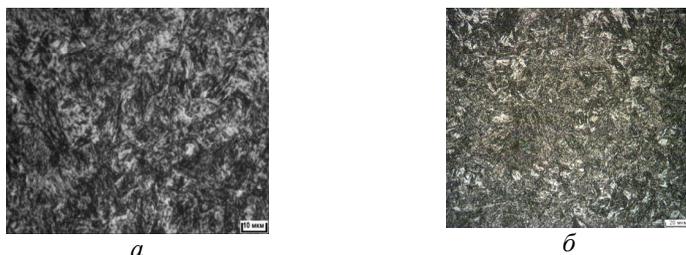


Рисунок 3 – Микроструктура (x500) образцов из стали 60ПП после импульсной закалки и отпуска 200 °С (а) и из стали 25 ХГСА после импульсной закалки и отпуска 400 °С (б)

Результаты исследования микроструктуры и механических свойств экспериментальных образцов деталей, изготовленных из среднеуглеродистых сталей и упрочненных импульсной закалкой показывают, что в изделиях образуются достаточно прочный поверхностный слой и вязкая сердцевина, что обеспечивает уровень ударной вязкости, принципиально более высокий, чем получаемый после закалки по традиционной технологии.

Детали изготовленные из сталей 45 и 60ПП после упрочнения импульсной закалкой с последующим низким отпуском имеют соответственно троостомартенситную и мартенситную структуру, твердость 50–53 HRC и 56–60 HRC, ударную вязкость на уровне 300 Дж/см², и свыше 280 Дж/см², прочность 1700 МПа. Такой комплекс механических свойств согласуется с требованиями ТКП 572-2015 установленными к деталям сельскохозяйственных машин работающим в условиях интенсивного ударно-абразивного изнашивания. Таким

образом, для изготовления сменных почворезущих деталей сельскохозяйственных машин могут успешно применяться стали 45 и 60ГП с упрочнением по импортозамещающей технологии импульсной закалки.

Список использованной литературы

1. Бернштейн Д.Б. Абразивное изнашивание лемешного лезвия и работоспособность плуга // Тракторы и сельскохозяйственные машины. 2002. №6. С. 39–42.
2. Future Materials in Agricultural Construction – Technical report (Domex Hardenable Steel) // проспект фирмы SSAB.
3. Juna H.J., Kanga J.S., Seob D.H., Kangb K.B., Park C.G. Effects of deformation and boron on microstructure and continuous cooling transformation in low carbon HSLA steels // Materials Science and Engineering. 2006. A 422. pp. 157–162.
4. Бетенья, Г.Ф. Объемные нанокристаллические износостойкие детали рабочих органов сельскохозяйственной техники / Г.Ф. Бетенья [и др.] // Вестник Полоцкого государственного университета/ – 2012, №3, серия В. Промышленность. Прикладные науки. – С. 46–51.
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. Анискович, Г. И. Упрочнение башмаков и дисков режущего аппарата ротационных косилок / Г. И. Анискович, Д. П. Литовчик, М. А. Шевчук // Современные проблемы освоения новой техники, технологий, организации технического сервиса в АПК : материалы Международной научно-практической конференции "Беларго-2019", Минск, 6–7 июня 2019 г. – Минск : БГАТУ, 2019. – С. 43–53.

Summary. The analysis of the elemental composition, investigation of the structure, and measurement of hardness and microhardness, determination of impact toughness of the studied samples showed that the most acceptable material for the manufacture of replaceable parts of working bodies of deep cultivators is steel 45 in combination with heat treatment by the method of pulse quenching cooling by liquid.

УДК 621.791.92 : 621.81

Миранович А.В., кандидат технических наук, доцент

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

ПОВЫШЕНИЕ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ И ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ДЕТАЛЕЙ ИЗ ЖЕЛЕЗОУГЛЕРОДИСТЫХ СПЛАВОВ КОМБИНИРОВАННЫМ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫМ И ЛАЗЕРНЫМ УПРОЧНЕНИЕМ

Аннотация. В работе представлены результаты исследования физико-механических и эксплуатационных характеристик покрытий, полученных комбинированным способом магнитно-электрического упрочнения с лазерной обработкой.