

УДК 631.31:669.14

## ПРИМЕНЕНИЕ ИМПУЛЬСНОЙ ЗАКАЛКИ ДЛЯ УПРОЧНЕНИЯ СМЕННЫХ ДЕТАЛЕЙ ГЛУБОКОРЫХЛИТЕЛЕЙ

Анискович Г.И., к.т.н., доцент, Шевчук М.А.

Белорусский государственный аграрный технический университет, г. Минск

Сменные детали рабочих органов глубокорыхлителей эксплуатируются в условиях интенсивного абразивного и ударно-абразивного изнашивания, что вызывает их быстрый износ (изменение геометрии режущей части и общих размеров деталей), в результате чего нарушаются агротехнические требования и снижается качество обработки почвы, повышаются энергетические затраты. Вынужденная частая замена деталей рабочих органов снижает производительность труда и повышает затраты на обработку [1].

Повышение долговечности этих быстроизнашивающихся деталей является актуальной задачей современного сельскохозяйственного машиностроения, развитие которого должно предусматривать внедрение в производство новых материалов и прогрессивных технологий.

Для изготовления сменных деталей глубокорыхлителей зарубежные фирмы используют стали, которые отличаются широким спектром марок (в зависимости от условий применения), более строгими требованиями по содержанию вредных примесей (S, P), и сложными композициями микролегирования. Практически все зарубежные износостойкие стали микролегированы бором. Наиболее часто используются износостойкие стали Raex, Domex, Hardox, Weldox шведской компании SSAB и немецкой компании ThyssenKrupp AG [2,3].

Стали Raex характеризуются содержанием углерода от 0,18 до 0,30 %, относительно высоким содержанием марганца в количестве до 1,7 %, никеля до 0,80 %. Все стали Raex содержат бор. Такой химический состав обеспечивает предел текучести от 900 до 1250 МПа, предел прочности от 1000 до 1600 МПа.

Для сталей Domex характерно содержание углерода от 0,20 до 0,42%, содержание кремния не превышает 0,40%. Стали содержат бор, содержание марганца может варьироваться от 1,10 до 1,50%, а содержание хрома от 0,10 до 0,60%. По данным производителя SSAB предел прочности 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 стали данной марки после термообработки находится в пределах 53–57 HRC [2].

Стали марки Weldox характеризуются низким содержанием углерода от 0,20 до 0,25%, относительно высоким содержанием никеля в количестве от 2 до 3% и жесткими требованиями к содержанию вредных примесей – серы и фосфора, причем требования тем жестче, чем более высокий уровень прочности стали (для Weldox 1100 и Weldox1300 содержание серы не должно превышать 0,005 %). При повышении прочности стали производитель уменьшает разрешенное содержание меди с 0,30 до 0,10%. Все стали Weldox микролегированы бором. Стали Weldox обладают твердостью до 57 HRC.

Предприятиями Республики Беларусь сменные детали культиваторов глубокорыхлителей изготавливаются в основном из недорогих, недефицитных сталей. Также используются традиционные методы упрочнения – термообработка (закалка и отпуск). Подавляющее количество сменных деталей глубокорыхлителей, произведенных в Республике Беларусь (культиваторы-глубокорыхлители АМКОДОР КГП-4.6/6.2, глубокорыхлители ГР-70 «Берестье», глубокорыхлители ГРТ-3-1, ГРТ-4-1 ОАО «Завод Минскагропромаш»), изготавливают из сталей 35, 45, 40Х, Л53, 65Г, 55С2, 60С2.

Изделия из таких сталей в сочетании с традиционной упрочняющей термообработкой не обладают достаточным уровнем твердости, прочности и абразивной износостойкости, необходимым 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/м<sup>2</sup>. Такие изделия не могут полноценно конкурировать с изделиями ведущих западноевропейских фирм [4].

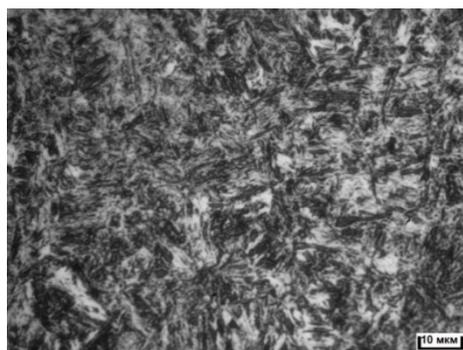
Современным отечественным предприятиям в условиях все возрастающей конкуренции и требований к качеству выпускаемой продукции необходим новый подход к выбору материалов и технологий для комплексного решения проблем повышения надежности и срока службы деталей глубокорыхлителей, придания им специальных свойств. Такой подход основан на использовании при изготовлении деталей отечественных сталей и разработкой для придания им необходимых физико-механических свойств перспективных упрочняющих технологий.

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

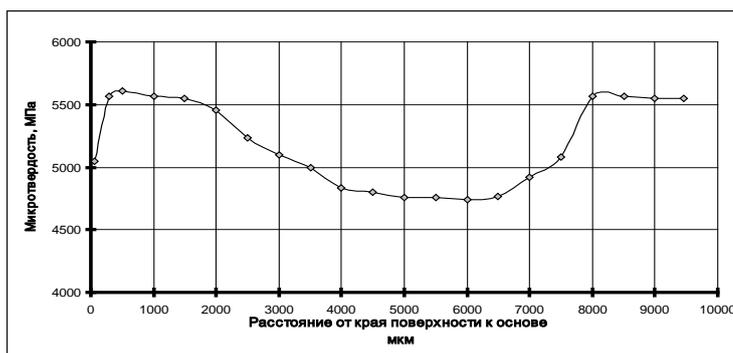
Применительно для изготовления сменных деталей рабочих органов культиваторов глубокорыхлителей проводились исследования с использованием горячекатаного стального проката из сталей сталь 45и 60ПП. Изготовленные из этих сталей опытные образцы деталей подвергались импульсной закалке с последующим отпуском. На упрочненных образцах исследовались ударная вязкость, твердость, микроструктура.

Испытания на ударную вязкость проводились в соответствии с требованиями ГОСТ 9454-78 на образцах без надреза. Результаты испытаний показали – ударная вязкость упрочненных образцов из сталей 45 и 60ПП составляет соответственно свыше 300 Дж/см<sup>2</sup> и в пределах 280,0 – 282,6 Дж/см<sup>2</sup>, что соответствует уровню необходимому для предотвращения деформаций и поломок деталей глубокорыхлителей в условиях эксплуатации с ударными нагрузками.

В образце из стали 45 после импульсной закалки и низкого отпуска при температуре 230°С, у края поверхности присутствует обезуглероженный слой на глубину до 10 мкм. Микроструктура образца в упрочненных зонах на глубину до 2,5 мм (рис. 1а), представляет собой троостомартенсит с микротвердостью 5600–5700 МПа (52–54 HRC) в сердцевине – тростит с микротвердостью 4600 МПа (45 HRC). Изменение микротвердости по толщине образца представлено на рис. 1б.



а



б

Рисунок 1 – Микроструктура (x800) поверхностного слоя (а) и график изменения микротвердости по толщине образца из стали 45 (имп. закалка, отпуск 230 °С)

В образце из стали 60ПП (имп. закалка, отпуск 200°С) по краю поверхности присутствует обезуглероженный слой на глубину от 50 до 130 мкм. Микроструктура образца в упрочненных зонах на глубину до 3,5 мм (рис. 2а) представляет собой мартенсит, троостомартенсит с микротвердостью 7200–4500 МПа (60–45 HRC), в сердцевине – троостосорбит с микротвердостью 3500–3600 МПа (36–37 HRC). Твердость поверхности составляет 55–60 HRC. График изменения микротвердости по сечению образца представлен на рисунке 2б.

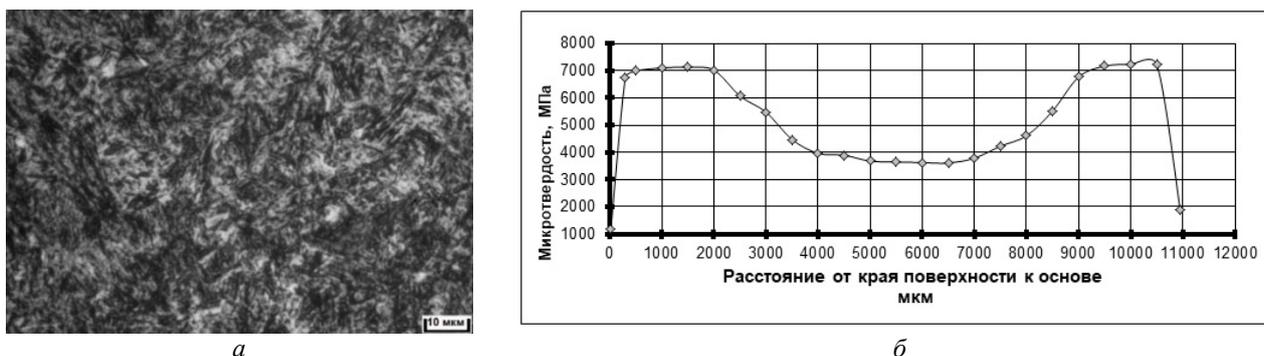


Рисунок 2 – Микроструктура (x500) поверхностного слоя (а) и график измерения микротвердости по толщине образца из стали 60ПП (имп. закалка, отпуск 200 °С)

Структурное строение и твердость упрочненных импульсной закалкой образцов деталей являются предпочтительными для работы в условиях ударно-абразивного изнашивания.

По результатам исследований можно заключить, что структурное строение, высокий уровень ударной вязкости, поверхностной твердости упрочненных импульсной закалкой опытных образцов из сталей 45 и 60ПП, позволяют рекомендовать эти материалы и технологию упрочнения для изготовления сменных деталей глубокорыхлителей.

#### Литература

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. 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 "Белагро-2019", Минск, 6-7 июня 2019 г. – Минск : БГАТУ, 2019. – С. 43–53.
6. Бетенья, Г.Ф. Опыт упрочнения деталей из сталей пониженной прокаливаемости импульсным закалочным охлаждением жидкостью/Г.Ф.Бетенья, Г.И.Анискович //Вестник БарГУ/ - 2013, вып.1 – С.152-159.