

4. СТО КОВШ –DIESEL– Библиотека [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://kovsh.com/library/diesel_fuel_system/fuel_equipment_manufacturers/bosch/bosch_common_rail/forsunki/elektrogidravlichesskie/cr1_2-25/t/tabs22523/informatciia - СТО «КОВШ». – Дата доступа: 08.05.2023.

УДК 669.141:631.312.02

ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ СТРУКТУРЫ И СВОЙСТВ КОНСТРУКЦИОННЫХ СТАЛЕЙ ПРИМЕНЯЕМЫХ ДЛЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ СМЕННЫХ ДЕТАЛЕЙ ПЛУГОВ ПРИ ИХ ИМПУЛЬСНОЙ ЗАКАЛКЕ

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

Учреждение образования «Белорусский государственный аграрный технический университет»

Введение. Одной из важнейших проблем, связанной с эксплуатацией плугов является быстрый износ сменных деталей, и в наибольшей степени тех, которые испытывают максимальные удельные нагрузки – долот и лемехов. Работоспособность и долговечность этих деталей должна обеспечиваться соответствием комплекса механических свойств сталей, применяемых для их изготовления, экстремальным условиям эксплуатации [1,2]. При выборе материала для изготовления деталей, работающих в режиме ударно-абразивного изнашивания, и технологии упрочнения использование одной твердости в качестве критерия износостойкости недостаточно. Необходим комплексный подход с использованием, наряду с твердостью, таких свойств материала, как прочность, ударная вязкость, и способностью технологии упрочнения обеспечивать требуемое микроструктурное строение [2,3]. За счет изменения структурного состояния и получения, например, ферритно-мартенситной или мартенситной структуры можно обеспечить значительное повышение комплекса свойств традиционных марок конструкционных сталей. При этом необходимо достигать ультрамелкозернистых структур с

большееугловыми границами зерен, поскольку именно в этом случае происходят качественные изменения свойств образцов [4-7].

Основная часть. Для изготовления деталей рабочих органов почвообрабатывающих машин предприятия Республики Беларусь и других государств СНГ применяют недорогие марки сталей, а также традиционные методы их термообработки [1,2]. Как правило, почворежущие детали изготавливаются из конструкционных сталей 40, 40Х, 45, Л53, 65Г и других марок, а в качестве упрочняющей технологии применяют традиционную закалку и отпуск. Такие технологии не обеспечивают изделиям механические свойства требуемые для эффективной работы в абразивной среде с ударными нагрузками. [2,3].

Зарубежные фирмы детали рабочих органов почвообрабатывающих машин преимущественно изготавливают из более прочных борсодержащих (с добавками молибдена, титана) мало и среднеуглеродистых сталей. Аналогами их в СНГ являются стали 30ГР, 40ГР, 30Г2Р и др. Применение таких сталей и специальных способов термической обработки позволило достичь повышенных эксплуатационных свойств. Детали упрочняются до твердости 48 – 54 HRC, прочность превышает 1200 МПа, ударная вязкость – 0,8 – 1,0 МДж/м² [8,9].

Особое внимание при изготовлении долот и лемехов плугов западноевропейскими фирмами уделяется формированию их структурного состояния. Исследования последних десятилетий показали, что наиболее эффективным способом повышения прочности, а также твердости, при обеспечении достаточной вязкости и пластичности является измельчение структуры сталей путем применения микролегирования, контролируемой прокатки и других способов обработки [7,8]. Прочность и твердость материала возрастает при уменьшении размеров элементов, образующих его структуру. Связь этих параметров обычно описывается уравнением Холла-Петча.

Уравнение, описывающее повышение прочности при измельчении зерна (или субзерна)

$$\sigma_T = \sigma_0 + \frac{k}{d^m}, \quad (1)$$

где σ_0 – напряжение, необходимое для движения свободной дислокации или внутреннее напряжение, препятствующее распространению пластического сдвига в теле зерна;

k – коэффициент, характеризующий прочность блокирования дислокаций; d – диаметр зерна (субзерна).

Повышение твердости материалов описывается уравнением

$$HV = HV_0 + \frac{k}{d^m}, \quad (2)$$

где HV_0 – твердость по Виккерсу монокристалла; k – коэффициент пропорциональности; d – диаметр зерна.

Для материала с зеренной структурой $m = 0,5$ и для субзеренной структуры $m = 1$.

Важная особенность этого фактора упрочнения состоит в том, что измельчение зерна (увеличение протяженности их границ) наряду с увеличением прочности и твердости сопровождается повышением ударной вязкости. Объясняется это уменьшением размеров зародышевых трещин и затруднением их развития. Трещина вынуждена изменять направление движения при переходе от одного зерна к другому, в результате ее траектория и сопротивление движению увеличиваются [5].

Для получения требуемого мелкозернистого структурного состояния и соответствующих высоких механических свойств фирмой “Rabewerk” разработан и реализован технологический процесс специальной термической обработки лемехов и долот плугов, предусматривающий в числе других операций их цементацию на глубину 1,8 мм. Микроструктура цементованного слоя (рисунок 1а) упрочненного долота представляет собой мелко-, среднеигльчатый мартенсит, твердость цементованной поверхности 62 HRC, микроструктура основного металла (рисунок 1б) – мартенсит малоуглеродистый твердостью 29 – 30 HRC.

Отечественной технологией обеспечивающей формирование мелкодисперсных структур является технология импульсной закалки [10,11]. В плоских изделиях из конструкционных сталей 45, 35ХГСА, 60ПП (55ПП) импульсной закалкой в процессе

интенсивного охлаждения за счёт фазового превращения достигается формирование в поперечном сечении изделия диссипативного структурного строения с субмелкокристаллическим зерном мартенсита. Упрочненные по данной технологии сменные детали плугов имеют твердость в пределах 54 – 64 HRC, прочность на уровне 2000 МПа, ударную вязкость не ниже 1,0 МДж/м², микроструктуру пластинчатого мартенсита отпуска с размером зерна по ГОСТ 5639 соответствующему 9 баллу.

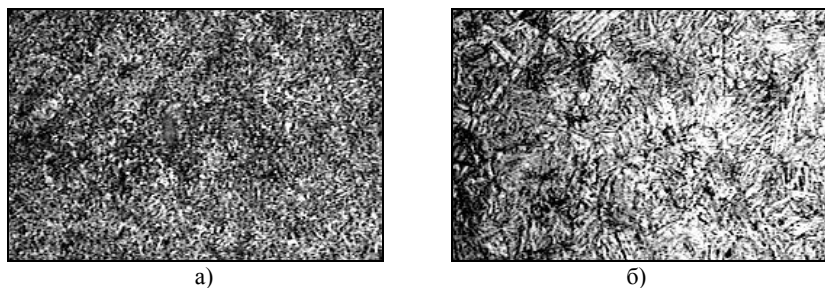


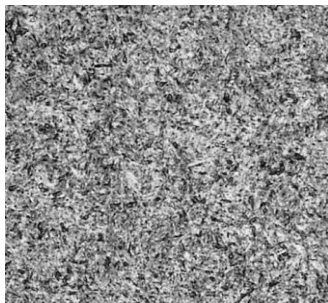
Рисунок 1. – Микроструктура x500 поверхностного слоя (а) и сердцевины (б) долота фирмы “Rabewerk”

Отличительной особенностью технологии импульсной закалки является увеличение на порядок интенсивности охлаждения за счет подачи на изделие определенным образом организованных потоков воды. При этом обеспечиваются скорости охлаждения близкие к предельно возможным теоретическим, когда температура поверхности мгновенно становится равной температуре окружающей среды.

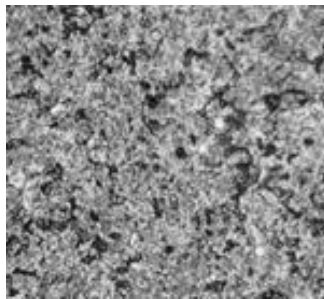
Высокоинтенсивное охлаждение обеспечивает получение в материале деталей ультрамелкозернистых структур, благодаря быстрому прохождению температурного интервала фазового превращения, что значительно ограничивает условия, способствующие росту зерна.

Изучение микроструктурного строения упрочненных импульсной закалкой деталей из стали 60ПП показало, что в поверхностном слое образовалась микроструктура весьма мелко игольчатого мартенсита (рисунок 2а). Твёрдость поверхностного слоя составляет 58 – 64 HRC. Исследованиями микроструктуры упрочненного слоя по оценке металлографическим методом при

увеличениях $\times 5000$, $\times 20000$ (рисунок 3) выявлено, что максимальная длина игл мартенсита составляет 5 – 6 мкм, толщина игл порядка 0,2 – 0,3 мкм. Структура образца характерна для мартенсита пакетного (речного) типа со средним поперечным размером реек 450 – 550 нм. Мартенситные иглы частично фрагментированы, размер фрагментов находится в диапазоне 20 – 150 нм, их средний размер составляет 40 – 50 нм.



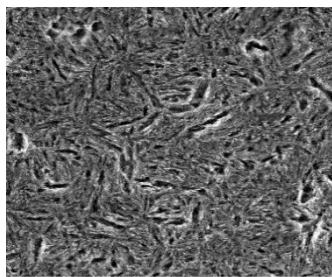
а)



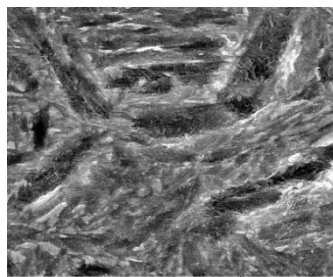
б)

Рисунок 2. – Микроструктура ($\times 200$) упрочненного слоя (а) и сердцевины (б) образца из стали 60ПП

Статистические данные по средней длине фрагментов мартенситных пластин стали 60ПП после упрочнения рабочей поверхности деталей толщиной 6 – 12мм показали, что размеры 80% фрагментов находится в диапазоне 0,02 – 0,08мкм, соответствующие 3 – 4 классам на рисунке 4.



а)



б)

Рисунок 3. – Микроструктура поверхностного слоя упрочненного импульсной закалкой образца стали 60ПП $\times 5000$ (а) и $\times 20000$ (б)

Снимки микроструктуры троостита в сердцевине плоского образца (рисунок 2б) также свидетельствуют о его дисперсности. Твердость сердцевины находится в пределах 28 – 42 HRC.

Придание такого дисперсного структурного строения упрочненным деталям является основой повышения их конструкционной прочности и износостойкости. Твердый поверхностный слой и вязкая сердцевина упрочненных импульсной закалкой деталей обеспечивают высокий уровень прочности и ударной вязкости. Импульсной закалкой деталей, изготовленных из конструкционных сталей, достигается их мелкозернистое структурное строение, высокий уровень значений твердости, ударной вязкости и прочности, сопоставимые с аналогичными показателями деталей импортного производства, изготовленными из борсодержащих мало- и среднеуглеродистых легированных сталей. Наличие такой структуры и механических свойств является предпочтительным для деталей, работающих в условиях интенсивного абразивного изнашивания с ударными нагрузками.

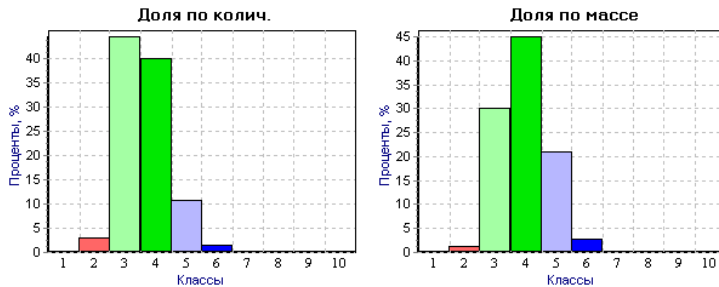


Рисунок 4. – Гистограммы распределения фрагментов мартенсита по длине в рабочей части детали из стали 60ПП после низкого отпуска

Заключение. В сменных деталях рабочих органов плугов из среднеуглеродистых конструкционных сталей при их импульсной закалке и низком отпуске формируется фрагментированная ультрамелкозернистая структура мартенсита, чем достигается требуемая для работы в условиях ударно-абразивного изнашивания конструкционная прочность этих деталей, обеспечиваемая оптимальным сочетанием высоких значений твердости, прочности и ударной вязкости.

ЛИТЕРАТУРА

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

2. Машиностроение: Энциклопедия: в 40т/т.IV-16; Сельскохозяйственные машины и оборудование. / Ред. – сост. И.П. Каневич; отв. Ред. М.М. Фирсов. – М. : Машиностроение, 2002. – 720 с.

3. Инновационные технологии упрочнения деталей сельскохозяйственной техники/Н.В. Казаровец, Г.Ф. Бетенья, Г.И. Анискович, А.И. Гордиенко, В.С. Голубев, А.Н. Давидович//Сборник докладов 12 МНТК 10–12 сентября 2012 г., Углич. – М.: Известия, 2012. – С. 219–228.

4. Рыбин В.В., Малышевский В.А., Хлусова Е.И. Технологии создания конструкционных наноструктурированных сталей //МИТОМ, 2009, №6 (643), С. 3-7.

5. Лякишев Н.П., Алымов М.И. Наноматериалы конструкционного назначения //Российские нанотехнологии, 2006, Т. 1, № 1-2, С. 71–81.

6. Быков Ю.А. Структура и свойства конструкционных наноматериалов // Приложение №7 к журналу «Справочник. Инженерный журнал», 2010, №7, С. 1–24

7. Bulk nanocrystalline steel // Ironmaking and steelmaking.-2005.- V. 32 – p. 405–410.

8. Future Materials in Agricultural Construction - Technical report (Domex Hardenable Steel) // проспект фирмы SSAB.

9. 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.

10. 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.

11. 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.

12. ГОСТ 8233-56. Сталь. Эталоны микроструктуры [Текст. – введ. 1957-07.01. – М.: Изд-во стандартов. 1960. – 4 с].

УДК 631.331.022

ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ ДВУХРЯДНОГО ОПРЫСКИВАТЕЛЯ ОД-2

Юрин А. Н.¹, к.т.н., доцент, Захаров А.В.², к.т.н., доцент

¹РУП «Научно-практический центр национальной академии наук Беларуси по механизации сельского хозяйства»,

²Учреждение образования «Белорусский государственный аграрный технический университет»

Введение. Важным агротехническим приемом по уходу за садом является защита насаждений от вредителей и болезней. За один сезон количество химических обработок достигает 10–17 раз. В настоящее время для обработки садов применяются вентиляторные опрыскиватели, основным недостатком которых является низкая производительность труда. В последнее десятилетие все больше создается многорядных опрыскивателей способных вести обработку одновременно 2 рядов [1-3], благодаря чему возрастает производительность труда в 2 раза.

Таким образом, актуальным в настоящее время является создание двухрядного опрыскивателя для ягодников позволяющего в 2 раза повысить производительность труда.

Основная часть. На основе проведенных исследований в 2021 году РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства» разработан двухрядный опрыскиватель для ягодников ОД-2, предназначенный для химической защиты ягодников.

Расчет экономических показателей использования опрыскивателя проведен по результатам эксплуатационно-технологической оценки в сравнении с аналогом Agrola 1500 HST (Польша) полученным в результате проведения приемочных испытаний [4]. Исходные данные к расчету сравнительной