

УДК 631.31. 02:669. 14. 018

**ПОЛУЧЕНИЕ СУБМЕЛКОКРИСТАЛЛИЧЕСКОЙ СТРУКТУРЫ  
МАРТЕНСИТА В КОНСТРУКЦИОННЫХ СТАЛЯХ ЗАКАЛКОЙ  
С ИМПУЛЬСНЫМ ОХЛАЖДЕНИЕМ ЖИДКОСТЬЮ**

*В.А. Андрушко – студент 5-го курса БГАТУ  
Научный руководитель – к.т.н., доцент Г.И. Анискович*

В последние годы при производстве деталей рабочих органов сельскохозяйственных машин (ДРОМ) получила применение технология импульсного закалочного охлаждения жидкостью (ТИЗОЖ). Она применяется для объёмно-поверхностной закалки сменных деталей рабочих органов сельскохозяйственных машин, преимущественно изготавливаемых из сталей пониженной прокаливаемости [1]. Опытные образцы с применением технологии упрочнения деталей рабочих органов сельскохозяйственной техники разрабатываются на базе технологического научно-производственного центра БГАТУ с последующей передачей документации предприятиям-изготовителям этой наукоемкой продукции. По аналогии с традиционными методами термической обработки [2], [3] технология ИЗОЖ включает три основных этапа: нагрев; изотермическую выдержку; охлаждение заготовок в заданных параметрах этих режимов.

Технологическая схема упрочнения деталей с применением ТИЗОЖ разрабатывалась для условий печного нагрева заготовок. Охлаждение заготовок в заданных параметрах технологических режимов обеспечивается функционированием взаимосвязанных технических средств с помощью которых реализуются:

- импульсная подача охлаждающей жидкости к закалочному устройству;
- управление продолжительностью технологического цикла охлаждения;
- управление в автоматическом режиме работой бустерных насосов.

Конструкция системы закалочного охлаждения обеспечивает реализацию и воспроизводимость оптимальных технологических параметров термического цикла, позволяющих получить высокие показатели качества изделия. На первое место среди этих показателей ставится структурное состояние металла изделия, приобретаемое в процессе термической обработки [4].

По разрабатываемой специалистами БГАТУ технологии, включающей закалку с импульсным охлаждением жидкостью, осуществлялось упрочнение экспериментальных образцов сменных деталей корпусов плуга, дисков дискатора, ножей измельчающего аппарата кормоуборочного комбайна. В связи с необходимостью уточнения структурного строения проводились измерения микротвёрдости в поперечном сечении макрошлифов.

Было выявлено убывание (диссипация) значений микротвёрдости в направлении к сердцевине образца (рис. 1). Анализ численных значений микротвёрдости свидетельствует о наличии в поверхностных слоях структуры мартенсита, далее троостомартенсита, а в сердцевине – трооститной структуры (рис. 2).

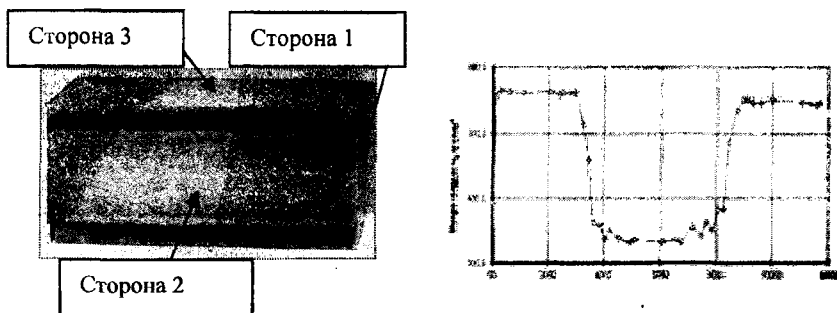


Рис. 1 – Схема исследования (а) и график (б) изменения микротвердости в поперечном сечении (сторона 2) плоского образца

Изучение микроструктурного строения показало, что в поверхностном слое образца (рис. 2 а, б) образовалась микроструктура весьма мелкоигльчатого мартенсита. По оценке металлографическим методом [5] наибольшая длина игл составляет до 1 мкм, что свидетельствует о их мелкозернистости (дисперсности и баллу между 1 и 2). Исследование фасеток поверхности излома образцов, испытанных на ударную вязкость (рис. 2 в, г) показало, что они характеризуются вязко-пластичным состоянием.

Только при увеличении соответственно  $\times 50000$  и  $\times 80000$  методом электронной микроскопии выявлена фрагментация (дробление) мартенситных пластин (рис. 3). Их размер в поперечном сечении составляет 50-100 нм, а размер фасеток отдельных пластин мартенсита находится в пределах 20-80 нм. На отдельных фрагментах проявляются очертания субмикрозерен. Края мартенситных пластин и фрагментов частично размыты, что говорит об их аморфно-кристаллическом состоянии.

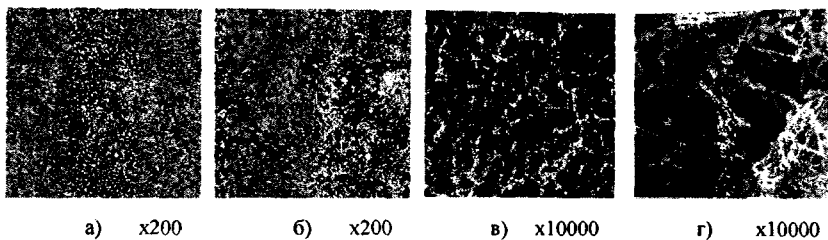


Рис. 2 – Микроструктура внешних поверхностей (а) и сердцевины (б) и морфология ячеистого излома образца, испытанного на ударный изгиб (в - наружного слоя, г - сердцевины)

Такое наноструктурное строение мартенсита в поверхностных слоях плоского образца, присущее данному методу и режимам термической обработки по технологии ИЗОЖ предопределяет комплекс высоких механических свойств (твердость около 60 HRC; прочность не менее 2000 МПа; ударная вязкость свыше 1 МДж/м<sup>2</sup>; коэффициент относительной абразивной износостойкости не менее 3,0 – 3,5).

Снимки микроструктуры переходного слоя – троостита в сердцевине плоского образца также свидетельствуют о его дисперсности. В поперечном сечении размеры фрагментов троостита составляют 20 – 60 нм, а длина трооститных пластин находится в пределах 120 – 500 нм.

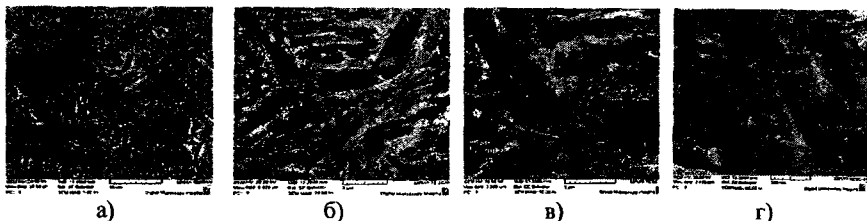


Рис. 3 – Микроструктура упрочненного слоя образца стали 60ПП толщиной 8мм после импульсного закалочного охлаждения водой и низкого отпуска: а) - x5000; б) - x20000; в) - x50000; г) - x80000

Таким образом, технологией ИЗОЖ достигается формирование в плоских изделиях объёмного наноконпозиционного состояния. Оно характеризуется, во-первых, наличием диссипативного структурного строения в поперечном сечении изделия, во-вторых, субмелкокристаллическим зерном мартенсита. В ходе интенсивного закалочного охлаждения жидкостью заготовок из сталей ПП в них формируются продукты мартенситного превращения нанометрового размера (20-80 нм). Придание такого дисперсного структурного строения ДРОМ является основой повышения их конструкционной прочности и износостойкости.

1. Повышение работоспособности деталей рабочих органов сельскохозяйственных машин /И.Н.Шило [и др.]. - Минск: БГАТУ, 2010.-320с.
2. Волокушин В.Д. Металловедение и термическая обработка. Уч.-справ. пособие. Винница: Книга-Вега. 2005.-504с.
3. Хроника. Второй Всероссийский семинар по проблемам закалочного охлаждения// М и ТОМ. 1997. №10. С.37-38.
4. Быков Ю.А. Структура и свойства конструкционных наноматериалов // Приложение №7 к журналу «Справочник. Инженерный журнал», 2010, №7, С.1-24.
5. ГОСТ 8233-56. Сталь. Эталоны микроструктуры. [Текст]. – введ. 1957 – 07-01. – М: Государственный стандарт СССР: Изд-во стандартов, 1960. – 4 с.

УДК 721.785

## **ТЕХНОЛОГИЯ ТЕРМИЧЕСКОГО МОДИФИЦИРОВАНИЯ СМЕННЫХ ДЕТАЛЕЙ РАБОЧИХ ОРГАНОВ ПОЧВООБРАБАТЫВАЮЩИХ МАШИН**

*Е.В. Томашевский – магистрант БГАТУ  
Научный руководитель – к.т.н., доцент Г.И. Анискович*

Применяемые в настоящее время отечественными производителями сменных деталей рабочих органов почвообрабатывающих машин в качестве материала для их изготовления стали марок 35; 45; 40Х; Л53; 65Г; 55С2; 60С2 и др. не удовлетворяют современным требованиям из-за низкого уровня твердости и прочности. Твердость изделий составляет 35,5...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 западно-европейских фирм [1], [2].

Конкурентоспособность деталей ведущих западноевропейских фирм-производителей сельскохозяйственных машин обеспечивается наукоемкими технологиями и соответствующим стальным прокатом. Детали рабочих органов преимущественно получают из более прочных борсодержащих (с добавками молибдена, титана) мало- и среднеуглеродистых сталей. Аналогами их в СНГ являлись стали 30ГР, 40ГР, 30Г2Р и др. Применение таких сталей и специальных технологий упрочнения [3], [4] позволило обеспечить деталям повышенные эксплуатационные свойства, соответствующие условиям ударно-абразивного изнашивания. Отличительной особенностью этих изделий является 3-х слойное строение поперечного сечения, так называемое диссипативное (градиентное) структурное строение. Поверхностные слои изделий имеют высокую прочность (1200...1800 МПа) и твердость (до 67 HRC). Сравнительно пластичная сердцевина при этом обеспечивает повышенную ударную вязкость изделий.