

Таким образом, путем моделирования топографии магнитного поля при магнитно-абразивной обработке деталей сферической формы теоретически установлены геометрические размеры обрабатываемых шариков, что позволяет произвести прогнозирование процесса. В результате использования данного процесса установлено, что достигаемая точность составляет 16 ГОСТ 3722 – 2014 при предшествующей обработке методом MAO 40 ГОСТ для шариков диаметром от 2 до 4 мм.

Список использованных источников

1. Скворчевский, Н.Я. Эффективность магнитно – абразивной обработки/ Н.Я. Скворчевский, Э.Н. Федорович, П.И. Ящерицын – Минск: Наука і тэхніка, 1991. – 192 с.
2. Акулович Л.М. Магнитно-абразивная обработка сложнопрофильных поверхностей деталей сельскохозяйственных поверхностей деталей сельскохозяйственных машин/ Л.М. Акулович, Л.Е. Сергеев. – Минск: БГАТУ, 2019. – 272 с.

Abstract. The topography of the magnetic system is simulated using three positions of the working lapping relative to the pole tips. It is established that the greatest concentration of magnetic flux occurs at the surface of the pole tips with a rectilinear profile. It was revealed that the achieved accuracy is 16 ГОСТ 3722 – 2014 with previous processing by the MAT method 40 ГОСТ 3722 – 2014 for balls with a diameter of 2 to 4 mm.

УДК 621.785.796:669.1

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

Шевчук М.А., ассистент

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

ФОРМИРОВАНИЕ СТРУКТУРЫ ПРИ ИМПУЛЬСНОЙ ЗАКАЛКЕ СРЕДНЕУГЛЕРОДИСТЫХ КОНСТРУКЦИОННЫХ СТАЛЕЙ

Аннотация. В статье приводятся результаты исследований структурного состояния деталей почвообрабатывающих машин после специальной термической обработки изготовленных из кон-

структурных сталей. Показано влияние дисперсного структурно-строения упрочненных деталей на их твердость, прочность и ударную вязкость.

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 [1,2,3,4]. Прочность и твердость материала возрастает при уменьшении размеров элементов, образующих его структуру. Связь этих параметров обычно описывается уравнением типа 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 $m = 1$.

Формированию измельченной структуры в сменных деталях рабочих органов почвообрабатывающих машин, работающих в условиях интенсивного ударно-абразивного изнашивания, западноевропейскими фирмами уделяется особое внимание.

Так, 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 1*а*) упрочненного долота представляет собой мартенсит мелко-, средне-игльчатый, твердость цементованной поверхности 62 HRC, микроструктура основного металла (рисунок 1*б*) – мартенсит малоуглеродистый твердостью 29–30 HRC.

Отечественной технологией, обеспечивающей формирование мелкодисперсных структур, является технология импульсной закалки [5,6,7]. В плоских изделиях из среднеуглеродистых сталей импульсной закалкой в процессе интенсивного охлаждения за счёт фазового превращения достигается формирование в поперечном сечении изделия диссипативного структурного строения с субмелкокристаллическим зерном мартенсита.

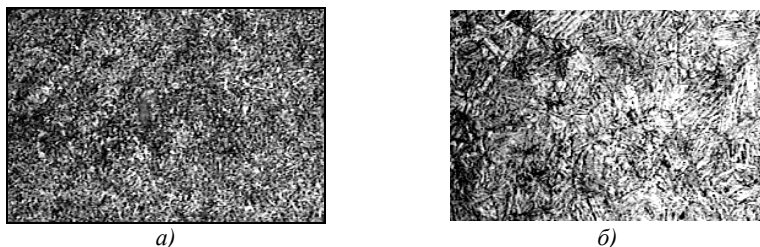
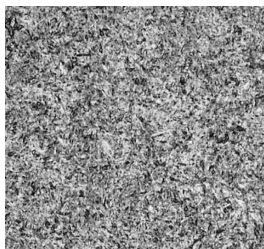


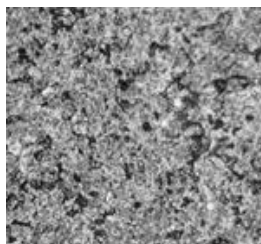
Рисунок 1 – Микроструктура $\times 500$ поверхностного слоя (*а*) и сердцевины (*б*) долота фирмы «Rabewerk»

Изучение микроструктурного строения упрочненных импульсной закалкой деталей из стали 60ПП показало, что в поверхностном слое (рисунок 2*а*) образовалась микроструктура весьма мелко игльчатого мартенсита, Твёрдость поверхностного слоя составляет 58–64 HRC. Исследованиями микроструктуры упрочненного слоя образца стали 60ПП по оценке металлографическим методом [8] 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.



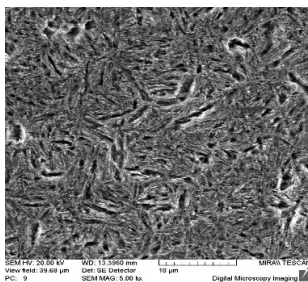
a)



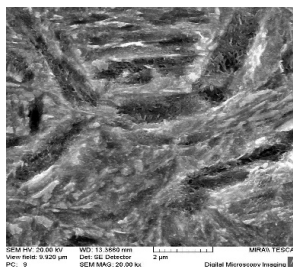
б)

Рисунок 2 – Микроструктура (x200) упрочненного слоя (*a*) и сердцевины (*б*)

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



a)



б)

Рисунок 3 – Микроструктура поверхностного слоя, упрочненного импульсной закалкой образца стали 60ПП x5000 (*a*) и x20000 (*б*)

Статистические данные по средней длине фрагментов мартенситных пластин стали 60ПП после упрочнения рабочей поверхности деталей толщиной 6–12 мм показали, что размер 80% фрагментов находится в диапазоне 0,02–0,08 мкм (таблица 1, рисунок 4)

Придание такого дисперсного структурного строения упрочненным деталям является основой повышения их конструкционной прочности и износостойкости [9]. Твердый поверхностный слой и вязкая сердцевина упрочненных импульсной закалкой деталей обеспечивают высокий уровень прочности 2100–2300 МПа и ударной вязкости 0,8–1,25 МДж/м².

Таблица 1 – Разбиение на классы по длине фрагментов в мартенситных пластинах детали из стали 60ПП.

Класс	Количество, штук	Интервал, мкм	Доля по количеству, %	Доля по массе, %
1	0	0 – 0,02	0	0
2	2	0,02 – 0,04	3,08	1,14
3	29	0,04 – 0,06	44,62	30,08
4	26	0,06 – 0,08	40	45,04
5	7	0,08 – 0,1	10,77	20,88
6	1	0,1 – 0,12	1,54	2,85
7	0	0,12 – 0,14	0	0
8	0	0,14 – 0,16	0	0
9	0	0,16 – 0,18	0	0
10	0	0,18 – 0,2	0	0

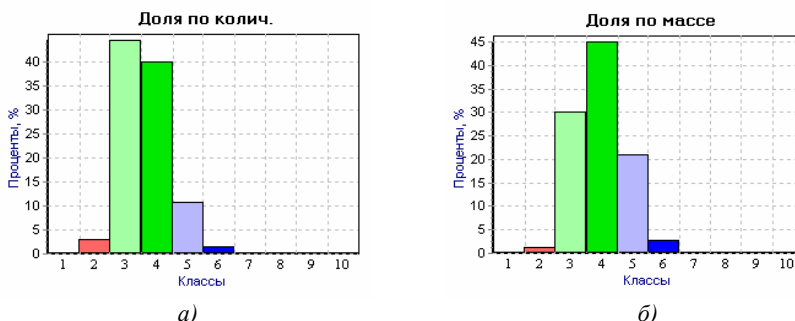


Рисунок 4 – Гистограммы распределения фрагментов мартенсита по длине в рабочей части детали из стали 60ПП после низкого отпуска: а) доля по количеству; б) доля по массе

Импульсной закалкой деталей, изготовленных из нелегированных конструкционных сталей, достигается их мелкозернистое структурное строение, высокий уровень значений твердости, ударной вязкости и прочности, сопоставимые с аналогичными показателями деталей импортного производства. Наличие такой структуры и механических свойств является предпочтительным для деталей, работающих в условиях ударно-абразивного изнашивания.

Список использованных источников

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

2. Bulk nanocrystalline steel // Ironmaking and steelmaking. – 2005. – V. 32. – P. 405–410.

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

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

5. 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.

6. 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.

7. 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.

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

9. Арзамасов, Б.Н. Материаловедение: учебник для вузов / Арзамасов, Б.Н/ и др. – Изд. 8-е – Москва: Изд-во МГТУ, 2008. – 648с.

УДК: 629.113

Тарасенко В.Е.¹, кандидат технических наук, доцент;

Мухля О.О.¹, магистрант ФТС;

Жешко А.А.², кандидат технических наук, доцент

¹УО «Белорусский государственный аграрный технический университет»,
г. Минск, Республика Беларусь,

²РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства»,
г. Минск, Республика Беларусь

АНАЛИЗ СТЕНДОВ ДЛЯ ТЕСТИРОВАНИЯ НАСОС-ФОРСУНОК АВТОТРАКТОРНЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ

Аннотация. Выполнен сравнительный анализ конструктивных исполнений и функциональных возможностей наиболее распро-