

**Морозова Елена Александровна**  
к. т. н., доцент, СамГТУ, Самара  
Morozova Elena Alexandrovna,  
Samara State Technical University

**Мамбетов Сакнар Сталович**  
студент, СамГТУ, Самара  
Mambetov Saknar Stalovich  
Samara State Technical University

**ВЛИЯНИЕ НЕПРЕРЫВНОГО ЛАЗЕРНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ  
НА СТРУКТУРУ И СВОЙСТВА СТАЛИ ШХ15  
INFLUENCE OF CONTINUOUS LASER RADIATION  
ON THE STRUCTURE AND PROPERTIES OF STEEL ШХ15**

**Аннотация:** В статье рассматривается влияние непрерывного излучения CO<sub>2</sub>-лазера на глубину и степень упрочнения поверхностного слоя стали ШХ15.

**Abstract:** The article examines the effect of continuous CO<sub>2</sub>-laser radiation on the depth and degree of hardening of the surface layer of ШХ15 steel.

**Ключевые слова:** сталь ШХ15, лазерное упрочнение, микротвердость, глубина поверхностного слоя.

**Keywords:** steel ШХ15, laser hardening, microhardness, surface layer depth.

Повышение эксплуатационных характеристик поверхностного слоя стальных изделий во многих случаях происходит за счет непрерывного лазерного излучения.

**Цель работы** – изучить влияние непрерывного излучения CO<sub>2</sub>-лазера на глубину и степень упрочнения поверхностного слоя стали ШХ15.

**Объекты исследования** – образцы шарикоподшипниковой стали ШХ15, прошедшие термическую обработку по стандартной заводской технологии: закалке с температуры 830-840°C в масло + низкотемпературный отпуск 150-160°C в течение 1-2 часов. Структура после традиционной технической обработки – Мотп + карбиды.

**Применяемое оборудование** – CO<sub>2</sub>-лазер непрерывного действия „ХЕБР”. Мощность излучения – 850 Вт; ширина дорожки – 3,5 мм; скорость перемещения пучка излучения относительно поверхности образцов составляла  $V_1 = 8,5$  мм/с,  $V_2 = 16,7$  мм/с,  $V_3 = 25$  мм/с.

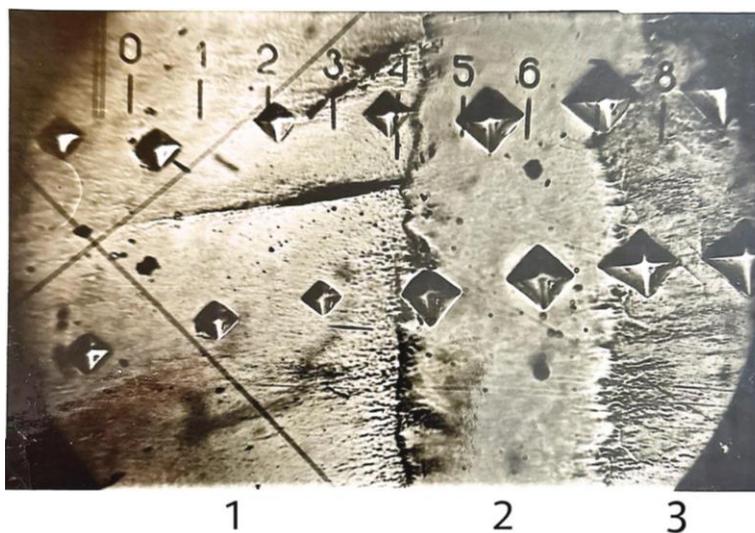
Измерение микротвердости на поверхности образцов, производилось на микротвердомере ПМТ-3 при нагрузке 200 г и показало незначительное увеличение микротвердости по сравнению с исходным значением 7,2 ГПа.

Измерения микротвердости по глубине осуществлялись на специально приготовленных поперечных шлифах и установило наличие 3-х зон:

- 1 – зоны поверхностного упрочнения,
- 2 – переходной зоны,
- 3 – зоны термического влияния (ЗТВ) (рис.1).

На фотографии (X10) четко прослеживается увеличение диаметра отпечатка в ЗТВ, что свидетельствует об уменьшении микротвердости.

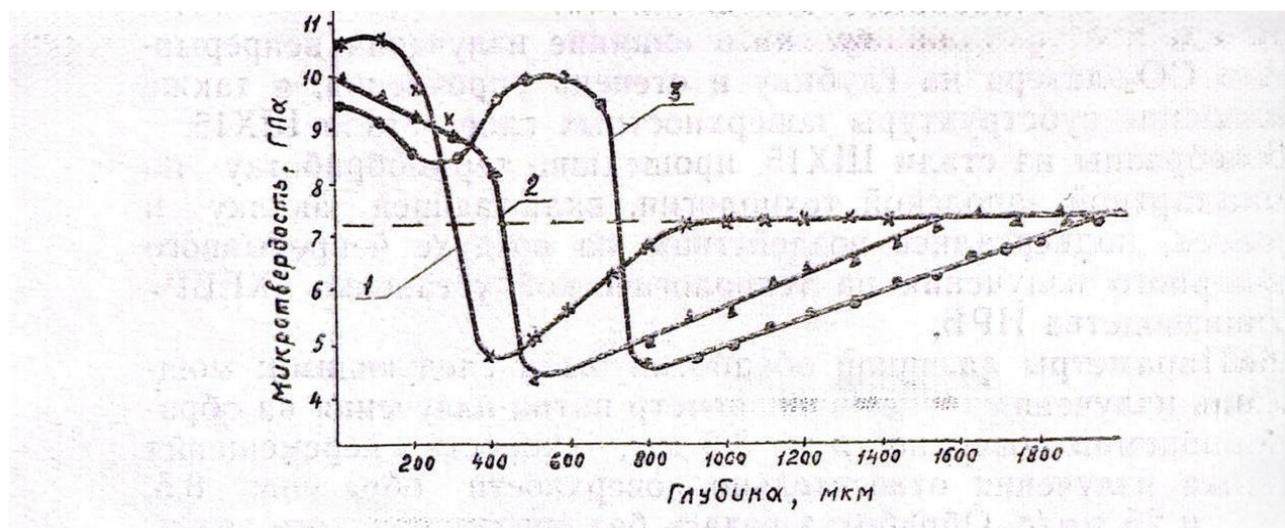




**Рис. 1. Структура поперечного шлифа**

- 1 – зона поверхностного упрочнения
- 2 – переходная зона
- 3 – зона термического влияния

Выявлено, что глубина переходной зоны при  $V_3 = 25$  мм/с составляет примерно 400 мкм; при  $V_2 = 16,7$  мм/с она соответствует глубине 500 мкм и при  $V_1 = 8,5$  мм/с переходная зона начинается на глубине около 900 мкм.



**Рис. 2. Изменение микротвердости по глубине при обработке стали ШХ15 непрерывным лазерным излучением с различными скоростями перемещения пучка:**

- кривая 1 – скорость 25 мм/с;
- кривая 2 – скорость 16,7 мм/с;
- кривая 3 – скорость 8,5 мм/с

Рис.2 иллюстрирует изменение микротвердости по глубине. Установлено как скорость перемещения лазерного луча влияет и на глубину зоны термического воздействия.

Так, при уменьшении скорости перемещения пучка излучения с 25 до 8,5 мм/с полная глубина ЗТВ возрастает с 850 до 1800 мкм (рис.2). Глубина упрочненной зоны увеличивается соответственно с 350 до 750 мкм, однако максимальная твердость упрочнения снижается с 10,7 до 9,5 ГПа, что связано с уменьшением скорости охлаждения при увеличении времени термического воздействия лазерного излучения на обрабатываемую сталь.

Значительно возрастает при снижении скорости перемещения пучка лазерного излучения удельный объем разупрочненного слоя – так называемого слоя «скоростного отпуска», что также может быть связано с увеличением времени теплового действия, затрудненным при этом отводом тепла и активизацией при этих условия диффузионных процессов в ЗТВ.

Рентгеноструктурные исследования обработанных лазерным излучением образцов производились на дифрактометре ДРОН-3. Определялись такие параметры субструктуры, как величина блоков мозаики и уровень микроискажений кристаллической решетки. Для этого были выбраны дифракционные линии (110) и (211)  $\alpha$ -фазы, имеющие одинаковые модули упругости. В качестве эталона были использованы полностью отожденные образцы из стали ШХ15.

В процессе исследования было показано, что уширение дифракционных линий вызвано одновременным действием двух факторов: наличием микроискажений и дисперсностью блоков.

Установлено (табл. 1), что обработка стальных образцов лазерным излучением приводит к резкому повышению уровня микроискажений решетки  $\frac{\Delta\alpha}{\alpha}$ , который максимально увеличивается при  $V_2 = 16,7$  мм/с.

Таблица 1

**Параметры субструктуры образцов,  
 обработанных непрерывным лазерным излучением**

Скорость перемещения пучка, мм/с	Размер блоков мозаики D, 10 <sup>-7</sup> м	Микроискажения, $\frac{\Delta\alpha}{\alpha}$ , 10 <sup>-4</sup>
8,5	19,8	50,7
16,7	17,9	56,9
25,0	15,6	56,6
Исходная структура	14,1	36,8

Размер блоков мозаики (D) при этом существенно не изменится, но наблюдается тенденция к увеличению D при увеличении скорости перемещения лазерного пучка.

Таким образом, на основе проведенных экспериментов можно предположить, что упрочнение шарикоподшипниковой стали ШХ15 при обработке непрерывным лазерным излучением в данном случае происходит преимущественно за счет фазового наклона.

