

О.В. Афанасьева, канд. техн. наук  
Н.А. Лалазарова, канд. техн. наук  
Е.Г. Попова, канд. техн. наук  
Н.П. Пенкина, канд. техн. наук

## **ЛАЗЕРНАЯ ЗАКАЛКА СТАЛЕЙ В РАЗЛИЧНОМ ИСХОДНОМ СОСТОЯНИИ**

При термическом упрочнении лазерным излучением происходит локальный нагрев и последующее охлаждение участка поверхности со сверхкритической скоростью за счёт отвода тепла во внутренние слои изделия.

Лазерная закалка в отличие от других видов термического упрочнения является поверхностным, а не объёмным процессом. В связи с тем, что время нагрева и охлаждения очень малы, а скорости очень велики формирование микроструктуры при лазерном термоупрочнении имеет свои специфические особенности.

Основной целью лазерного термоупрочнения является повышение износостойкости деталей, работающих в условиях трения. В результате лазерной закалки достигаются высокая твердость поверхности, высокая дисперсность структуры, уменьшение коэффициента трения, увеличение несущей способности поверхностных слоев и другие параметры [1, 2].

Лазерное термическое упрочнение осуществляется импульсным или непрерывным излучением.

Основными факторами лазерного упрочнения являются энергетические параметры (энергия импульса излучения, длительность излучения, радиус лазерного пятна) и состав, структура и свойства исходного материала.

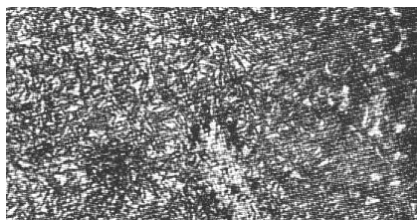
Целью настоящей работы было исследование влияния исходного состояния стали на микротвёрдость поверхностного слоя, упрочнённого лазерами малой мощности, работающими в импульсном режиме.

Исследования проводились на углеродистых сталях с различным содержанием углерода: 20, 45 и У12. Образцы подвергались предварительной термической обработке – закалке с охлаждением в воде и отпуску при температуре 200, 400 и 600 °С и нормализации. С целью увеличения поглотительной способности поверхности образцы после отпуска не полировались.

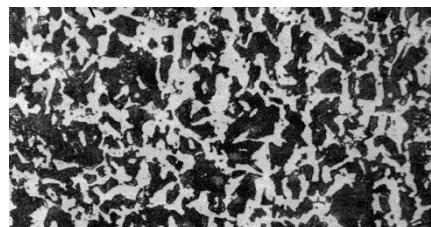
Лазерное упрочнение проводилось с использованием неодимового лазера «YAG:Nd<sup>3+</sup>» мощностью 10 Вт. Скорость сканирования составляла 1-2 мм/с. Частота следования импульсов 20 Гц.

Измерение микротвердости проводилось с помощью микротвердомера ПМТ-3 при нагрузке 100 г.

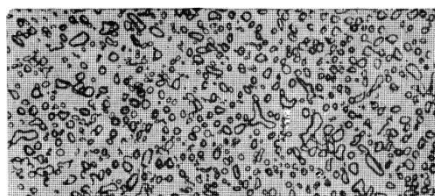
Структура стали после закалки и: низкого отпуска – мартенсит отпуска (рис. 1, а), среднего – тростит отпуска (рис. 1, в), высокого – сорбит отпуска (рис. 1, г); после нормализации – перлит+феррит (рис. 1, б).



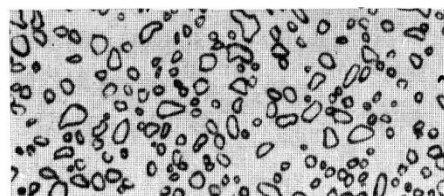
а



б



в



г

Рисунок 1 – Структура стали 45 после различных режимов термической обработки

Структура мартенсит отпуска имеет игольчатое строение. Сорбит и тростит отпуска представляют собой механическую смесь феррита и сфероидизированных включений цементита различной степени дисперсности. После нормализации сталь имеет структуру феррита и пластинчатого перлита, т.е. перлит состоит из мелкодисперсных пластинок феррита и цементита.

Образцы из сталей 20, 45 и У12 подвергали закалке импульсным лазером. Результаты измерений микротвёрдости поверхностного упрочнённого слоя сталей после закалки и различных видов отпуска показали, что наибольшую твёрдость имеет сталь У12 после закалки и низкого отпуска (рис. 1). С увеличением температуры отпуска твёрдость упрочнённого слоя сталей У12 и 45 снижается, а стали 20 – увеличивается.

Интересные результаты показал расчёт относительного упрочнения лазерной закалкой сталей в различном исходном состоянии (табл. 1). Наибольшее упрочнение наблюдается на образцах всех сталей после нормализации со структурой пластинчатого перлита и феррита. Эти результаты не согласуются с теми, которые получены в работе [3], где максимальную твёрдость имеют образцы с более дисперсной исходной структурой (тростит).

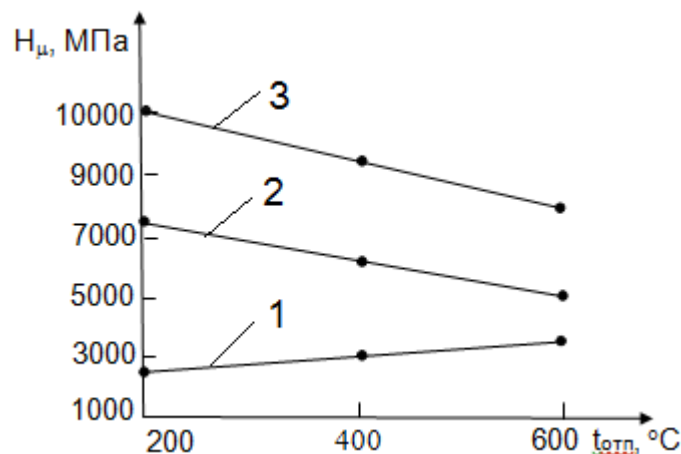


Рисунок 1 – Влияние температуры отпуска закалённой стали на микротвёрдость после лазерного термоупрочнения: 1– сталь 20, 2 – сталь 45, 3 – сталь У12

Такое расхождение результатов, вероятно, можно объяснить кратковременностью температурного воздействия неодимового лазера [4], что изменяет условия аустенизации, растворения карбидов и  $\gamma \rightarrow \alpha$ -превращения не успевают завершиться в полном объёме. Поэтому данные результаты не согласуются с теми, которые получены при обработке более мощными импульсными лазерами или лазерами непрерывного действия.

Таблица 1 – Относительное упрочнение сталей в различном исходном состоянии после лазерной закалки

Марка стали	Относительное упрочнение стали ( $\Delta H^*$ , %) после предварительной термической обработки		
	закалки и отпуска при 200 °С	закалки и отпуска при 600 °С	нормализации
20	41	245	300
45	11	440	500
У12	10	275	320

\*  $\Delta H_{\text{абс}} = H_{\mu_0} - H_{\mu_i}$  – абсолютное упрочнение стали после лазерной обработки, МПа,

$H_{\mu_0}$  – микротвёрдость стали после соответствующей термической обработки (без лазерного упрочнения),

$H_{\mu_i}$  – микротвёрдость стали после лазерного упрочнения,

$$\Delta H = \frac{\Delta H_{abc}}{H_{\mu_0}} 100\%$$
 – относительное упрочнение стали после лазерной обработки.

На основании проведенных исследований можно сделать вывод о том, что использование лазеров малой мощности позволяет существенно повысить микротвёрдость поверхностного слоя деталей из углеродистых сталей с различным содержанием углерода. Однако в связи с низкой производительностью и малой упрочняемой площадью поверхности деталей наиболее эффективно использовать лазеры малой мощности для локального термоупрочнения тех участков, которые работают в условиях наиболее интенсивного износа.

### Выводы

1. Использование лазеров малой мощности, работающих в импульсном режиме, позволяет производить поверхностное термоупрочнение сталей с различным количеством углерода.
2. Регулировать величину твёрдости поверхностного слоя можно подбором исходных структур.
3. Наибольшее относительное упрочнение наблюдается у сталей с перлитно-ферритной структурой после нормализации.
4. Наиболее эффективно применение импульсных лазеров малой мощности для локального упрочнения деталей или инструментов.

### Список использованных источников

1. Упрочнение и легирование деталей машин лучом лазера/ В.С. Коваленко, Л.Ф.Головко, В.С.Черненко.– К.: Техника, 1990. – 192с.
2. Основы лазерного термоупрочнения сплавов/ А.Г.Григорьянц, А.Н.Сафонов; Под ред. А.Г.Григорьянца.– М.: Высшая школа, 1988. – 159 с.
3. Владимиров О.В. Упрочнение рабочих поверхностей деталей и измерительного инструмента высокой точности с помощью СО<sub>2</sub>-лазера // Металловедение и термическая обработка. 1983. - №5. – С. 17-18.
4. Бураков В.А., Федосиенко С.С. Формирование структур повышенной износостойкости при лазерной закалке металлообрабатывающего инструмента // Металловедение и термическая обработка. 1983. – №5. – С. 16-17.

УДК 620.178.151.6

Применение лазеров малой мощности в импульсном режиме для поверхностной закалки стали является перспективным. Работа посвящена определению влияния исходного состояния на свойства упрочнённого слоя для сталей различных марок.

Ключевые слова: лазеры малой мощности, лазерная закалка, импульсный режим, микротвёрдость, структура стали.

Ил. 1. Табл. 1. Библиогр.: 5 назв.

Вживання лазерів малої потужності в імпульсному режимі для поверхневого гартування сталі є перспективним. Робота присвячена визначенню впливу вихідного стану на властивості зміцненого шару для сталей різних марок.

Іл. 1. Табл. 1. Бібліогр.: 5 назв.

The use of low-power lasers in pulsed mode for the hardening of the surface of the steel is promising. The work is devoted to determining the effect of the initial state of the properties of the hardened layer for various steel grades.

Fig. 1 Table. 1. Bibliogr.: 5 sources