

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 мало, 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, снижение коэффициента трения [1, 2].

Лазерное термическое упрочнение осуществляется импульсным или непрерывным излучением.

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

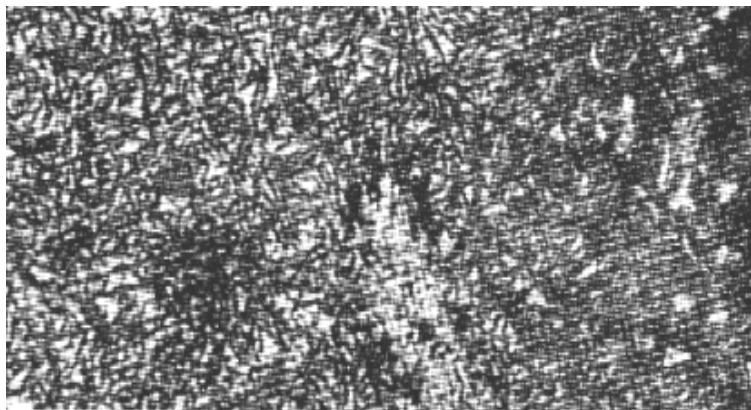
Цель настоящей работы – исследование влияния исходного состояния стали на микротвёрдость поверхностного слоя, упрочнённого лазерами малой мощности, работающими в импульсном режиме.

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 поглощательной способности поверхности образцы после отпуска не полировались.

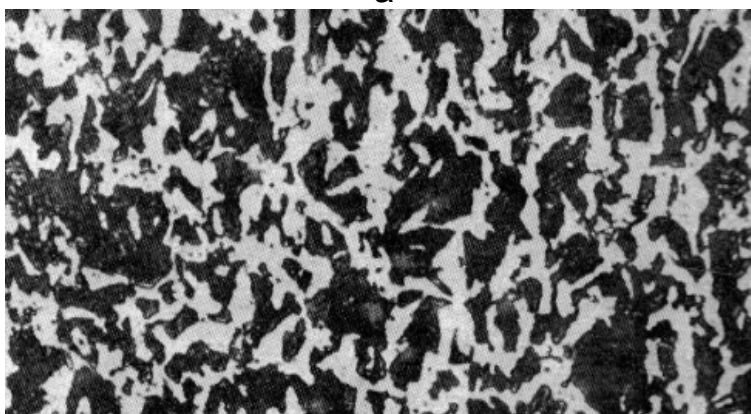
Лазерное упрочнение проводилось с использованием неодимового лазера «YAG:Nd⁺³» мощностью 10 Вт. Скорость сканирования составляла 1...2 мм/с. Частота следования импульсов – 20 Гц.

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

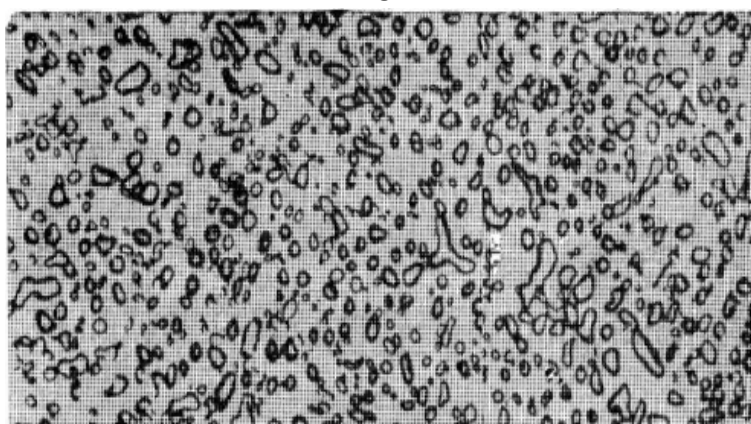
Структура стали после закалки и низкого отпуска – мартенсит отпуска (рис. 1, а), закалки и среднего отпуска – тростит отпуска (рис. 1, в), закалки и высокого отпуска – сорбит отпуска (рис. 1, г); после нормализации – перлит+феррит (рис. 1, б).



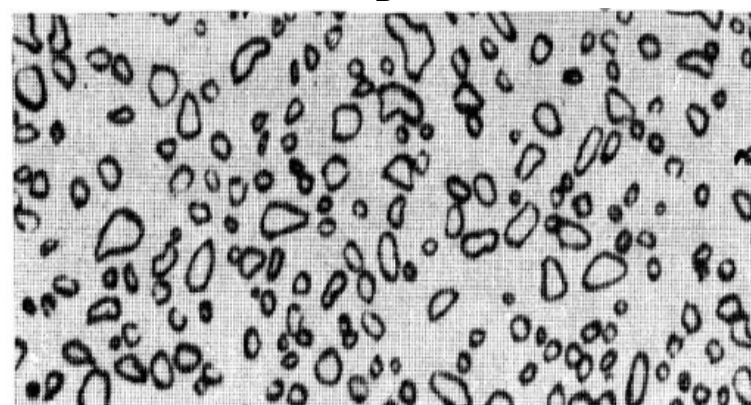
а



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 дисперсных пластинок феррита и цементита.

Образцы из сталей 20, 45 и У12 подвергали закалке импульсным лазером. Результаты измерений микротвёрдости поверхностного слоя образцов после закалки и различных видов отпуска показали, что наибольшую твёрдость имеет сталь У12 после закалки и низкого отпуска (рис. 2). С увеличением температуры отпуска твёрдость поверхностного слоя сталей У12 и 45 снижается, а стали 20 – увеличивается.

Интересные результаты показал расчёт относительного упрочнения лазерной закалкой сталей в различном исходном состоянии (таблица 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).

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.

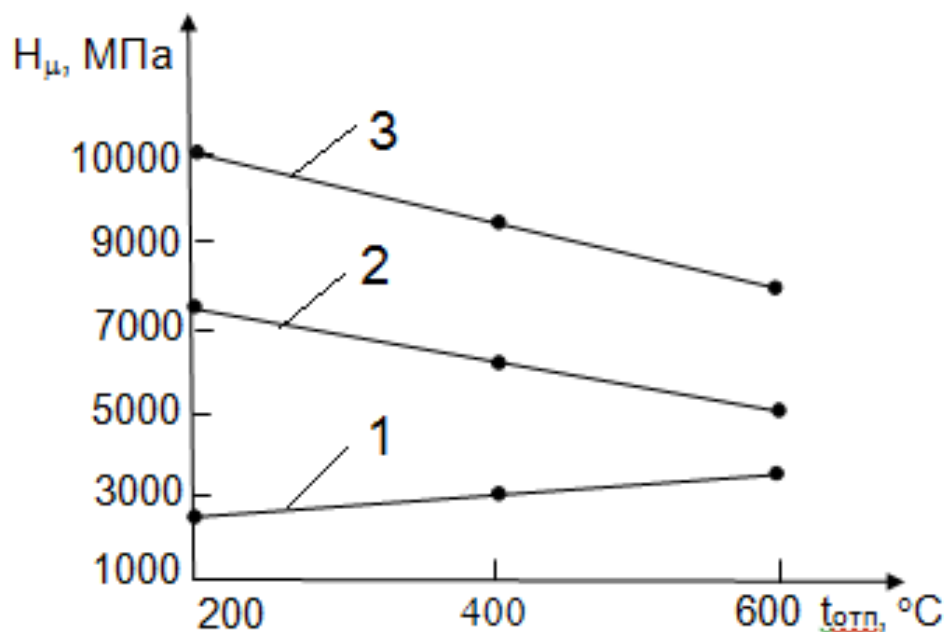


Рисунок 2 – Влияние температуры отпуска закалённой стали на микротвёрдость после лазерного термоупрочнения:
1 – сталь 20, 2 – сталь 45, 3 – сталь У12

Поэтому данные результаты не согласуются с теми, которые получены при обработке более мощными импульсными лазерами или лазерами непрерывного действия.

Относительное упрочнение сталей в различном исходном состоянии после лазерной закалки

Марка стали	Относительное упрочнение стали (ΔH^* , %) после предварительной термической обработки		
	Закалка и отпуск при 200°C	Закалка и отпуск при 600°C	Нормализация
20	41	245	300
45	11	440	500
У12	10	275	320

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

H_{μ_0} – микротвёрдость стали после соответствующей термической обработки (без лазерного упрочнения);

H_{μ_i} – микротвёрдость стали после лазерного упрочнения;

$\Delta H = \frac{\Delta H_{абс}}{H_{\mu_0}} 100\%$ – 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 и в наибольшей степени тех, которые имеют перлитно-ферритную структуру. 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 лазерной закалкой 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. Коваленко, В.С. Упрочнение и легирование деталей машин лучом лазера [Текст] / В.С. Коваленко, Л.Ф. Головкин, В.С. Черненко.– К.: Техника, 1990. – 192 с.

2. Григорьянц, А.Г. Основы лазерного термоупрочнения сплавов [Текст] / А.Г. Григорьянц, А.Н. Сафонов; под ред. А.Г. Григорьянца.– М.: Высш. шк., 1988. – 159 с.

3. Владимиров, О.В. Упрочнение рабочих поверхностей деталей и измерительного инструмента высокой точности с помощью СО₂-лазера [Текст] / О.В. Владимиров // Металловедение и термическая обработка. – 1983. – № 5. – С. 17–18.

4. Бураков, В.А. Формирование структур повышенной износостойкости при лазерной закалке металлообрабатывающего инструмента [Текст] / В.А. Бураков, С.С. Федосиенко // Металловедение и термическая обработка. – 1983. – № 5. – С. 16 – 17.

Поступила в редакцию 09.09.2013.

*Рецензент: канд. техн. наук, проф. Н.И. Семишов,
Национальный аэрокосмический университет
им. Н.Е. Жуковского «ХАИ», г. Харьков.*