

УДК 621.891

Повышение физико-механических свойств конструкционных сталей методом объемного импульсного лазерного упрочнения

Пинахин И.А., Ядмуров М.А., Пинахин А.И.

В статье обоснована необходимость применения различных методов упрочнения материалов с целью повышения их физико-механических свойств, в основном, таких как прочность и износостойкость. Кроме того, показана целесообразность применения методов упрочнения, которые позволяют улучшать свойства материалов по объему. В статье дана краткая характеристика метода объемного импульсного лазерного упрочнения, разработанного в Северо-Кавказском федеральном университете. Метод объемного импульсного лазерного упрочнения ранее применялся исключительно для инструментальных материалов (быстрорежущих сталей, твердых сплавов), где показал положительные результаты. Так как ранее проведенные исследования показали, что в быстрорежущих сталях после объемного импульсного лазерного упрочнения происходит выделение цементита из мартенситной фазы, то для дальнейших исследований было взято армко-железо, которое практически не содержит углерода. Полученные результаты исследований позволяют говорить о влиянии объемного импульсного лазерного упрочнения на безуглеродистые материалы.

Ключевые слова: импульсная лазерная обработка, абразивное изнашивание, упрочнение материалов.

Введение

В настоящее время широко используются конструкционные стали в различных областях деятельности человека при изготовлении и ремонте изделий, зданий, сооружений, добыче полезных ископаемых и т. п.

Весьма актуальной была и остается задача рационального расхода дефицитных дорогостоящих материалов, входящих в состав конструкционных сталей. Использование различных методов упрочнения позволяет решать многие задачи, связанные с эффективным использованием материалов.

В настоящее время используется большое количество методов упрочнения для повышения физико-механических свойств материалов, в основном прочности и износостойкости. Это способствует уменьшению затрат материалов и как следствие снижает трудоемкость и себестоимость продукции на этапах ее изготовления и эксплуатации. Наиболее перспективными методами упрочнения являются такие, которые позволяют улучшать физико-механические свойства материалов по объему изделия, т. е. при износе поверхностного слоя материала эффект упрочнения со-

храняется. К таким методам относится метод объемного импульсного лазерного упрочнения, разработанный в Северо-Кавказском федеральном университете (г. Ставрополь). Суть метода заключается в следующем. Короткий импульс лазерного излучения с высокой плотностью мощности направляется на поверхность обрабатываемого материала. Материал адиабатически нагревается до температуры в несколько десятков тысяч градусов, что приводит к превращению паров материала в плазму. В результате очень быстрого нагрева и испарения поверхностного слоя материала в глубь его начинает распространяться ударная упругая волна. Прохождение этой ударной волны и обуславливает объемное упрочнение материала, т. е. в основе метода лежит механическое воздействие волны на материал (рисунок 1).

Цель работы - исследование влияния объемного импульсного лазерного упрочнения (ОИЛУ) на конструкционные стали с целью последующего применения данного метода упрочнения для улучшения их физико-механических свойств.

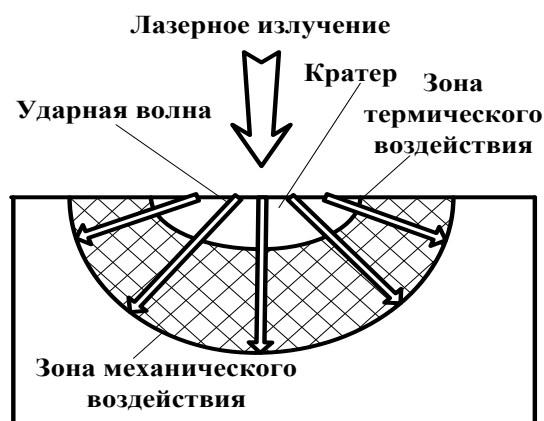


Рис. 1. Механизм объемного импульсного лазерного упрочнения.

Основная часть

Результаты рентгеноструктурного анализа быстрорежущих сталей, прошедших ОИЛУ, показали, что имеет место выделение углерода из решетки мартенсита [2, с. 81 – 84]. Как известно, конструкционные стали содержат меньшее количество углерода, чем инструментальные. Поэтому для обоснования исследований влияния ОИЛУ на конструкционные стали, в первую очередь была поставлена задача изучения воздействия упрочнения на ферритную фазу сталей. Исходя из вышесказанного в качестве материала для испытываемых образцов было выбрано армко-железо, основой которого является феррит ($\text{Fe}\alpha$). Слиток армко-железа размером $10 \times 10 \times 100$ миллиметров был получен индукционным переплавом в вакууме. Вырезанные из этого слитка образцы размером $10 \times 10 \times 20$ миллиметров отожжены в печи при температуре 1050°C в течении часа и охлаждены с печью. Поверхность образцов после отжига протравлена в азотной кислоте для удаления окалины без внесения каких-либо искажений в микроструктуру и свойства поверхности (ГОСТ 5639-82). Металлографический анализ, проведенный на микроскопе *inVia Raman Microscope* при увеличении $\times 200$, и измерение микротвердости при помощи твердомера ПМТ-3 согласно ГОСТ 9450-76 показали, что

все образцы имеют одинаковую крупнозернистую структуру и допускаемые отклонения значений микротвердости ($\pm 5\%$).

Облучение образцов проводилось на лазере ГОС 1001 при следующих рабочих режимах: длина волны $1,064 \cdot 10^{-6}$ м, продолжительность импульса $0,8 \cdot 10^{-3}$ с, диаметр луча лазера $1,2 \cdot 10^{-3} - 2,5 \cdot 10^{-3}$ м, полезная энергия облучения 50 – 150 Дж (плотность мощности облучения $10^{10} - 1,3 \cdot 10^{11}$ Вт/м²). После облучения проводился металлографический анализ образцов и измерение их микротвердости. Результаты позволили выявить экстремум изменения структуры и микротвердости образцов, который соответствует диаметру луча лазера $1,4 \cdot 10^{-3}$ м, полезной энергии облучения 80 Дж (плотность мощности облучения $6,4 \cdot 10^{10}$ Вт/м²) (рисунки 2, 3).

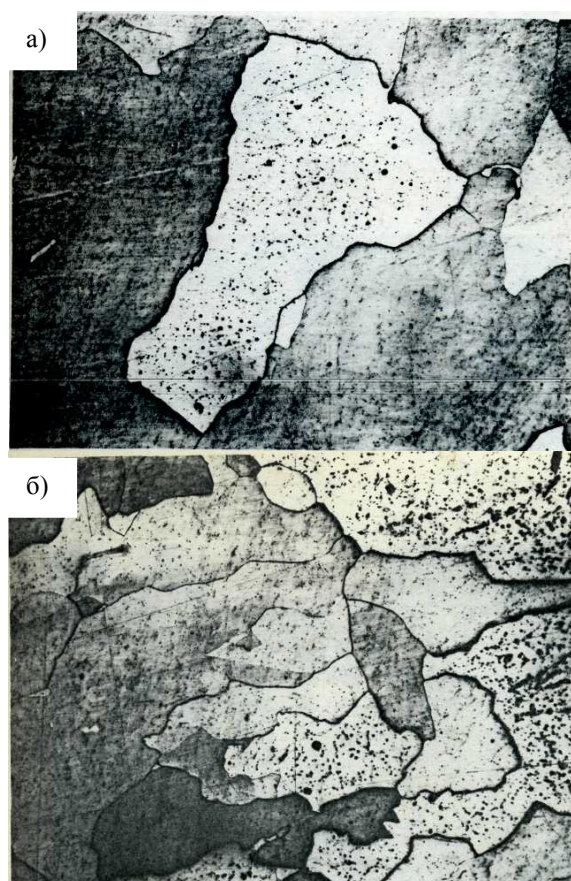


Рис.2. Микроструктура армко-железа: а – исходный образец; б – образец, прошедший ОИЛУ (расстояние от места облучения 15 миллиметров).

Как видно из рисунка 2 для облученных образцов наблюдается дробление исходных зерен на более мелкие фрагменты, что, как правило, приводит к изменению физико-механических свойств материалов, появлению внутренних напряжений.

На рисунке 3 показана зависимость коэффициента изменения микротвердости от расстояния от места облучения. Коэффициент изменения микротвердости определялся по формуле:

$$K_{HV} = \frac{HV_{ОИЛУ}}{HV_{исх}}$$

где $HV_{исх}$ и $HV_{ОИЛУ}$ – соответственно микротвердость по Виккерсу неупрочненных и прошедших ОИЛУ образцов.

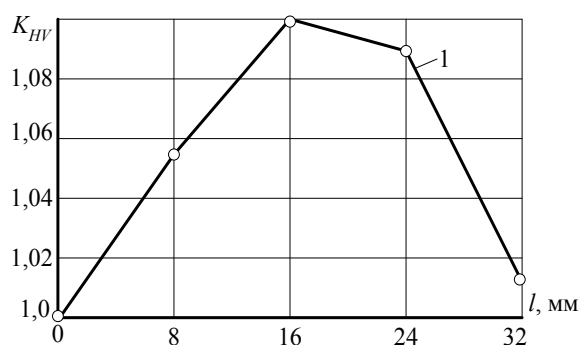


Рис.3. Зависимость коэффициента изменения микротвердости от расстояния от места облучения армко-железа.

Как видно из рисунка 3 (доверительный интервал: $\Delta K_{HV} = \pm 0,0224$) наблюдается повышение микротвердости армко-железа после ОИЛУ. При этом максимум увеличения микротвердости (10%) соответствует расстоянию 16 миллиметров от места облучения.

Статья поступила в редакцию 30 октября 2012 г.

In the article the need for different methods of strengthening materials to improve their physical and mechanical properties, mainly, such as strength and durability. Moreover, we show the feasibility of methods of strengthening that improve the properties of materials by volume. The article gives a brief description of the method of volume pulse laser hardening, developed in the North Caucasian Federal University. Volumetric method of pulsed laser hardening previously used exclusively for cutting materials (high-speed steel, carbide), which showed positive results. Since previous studies have shown that in high-speed steels after volumetric pulse laser hardening is an allocation of cementite of the martensitic phase, further investigation was taken Armco iron,

Заключение

Таким образом, результаты исследований показали изменение структуры и свойств армко-железа после ОИЛУ, что позволяет судить о целесообразности проведения дальнейшей работы по изучению влияния ОИЛУ на конструкционные стали с целью повышения их физико-механических свойств.

Литература

1. Пинахин И.А., Копченков В.Г. Влияние импульсной лазерной обработки на абразивную износостойкость твердосплавных режущих инструментов // Трение и смазка в машинах и механизмах, 2010, №10.
2. Пинахин А.М., Гончаров В.М., Пинахин И.А. Износостойкость режущих инструментов из быстрорежущей стали после лазерной обработки // Безыносность. Межвузовский сборник научных статей. Выпуск 5. – Ростов–на–Дону: ДГТУ, 1998. – С. 80–90.

References

1. Pinahin I.A., Kopchenko V.G. The effect of pulse laser treatment on the abrasive wear resistance of carbide cutting tools // Friction and lubrication of machines and mechanisms, 2010, № 10.
2. Pinahin A.M., Goncharov V.M., Pinahin I.A. Wear of cutting tools of high speed steel after laser treatment // Against wear. Volume 5. – Rostov-on-Don: DSTU, 1998. – Pp. 80-90.

which contains almost no carbon. Results of the research suggest the effect of space pulse laser hardening of carbon-free materials.

Keywords: pulsed laser processing, abrasive wear process, hardening of materials.

Пинахин Игорь Александрович – кандидат технических наук, доцент кафедры «Технология машиностроения и технологическое оборудование» Северо-Кавказского федерального университета.

Ягмуров Михаил Алексеевич – студент Северо-Кавказского федерального университета, специальности «Технология машиностроения».

Пинахин Антон Игоревич – студент Ставропольского технологического института сервиса, специальности «Бытовые машины и приборы».