

Министерство образования и науки Украины  
Харьковский национальный университет радиозлектроники  
Академия наук прикладной радиозлектроники  
ЗАО «НПК «Наука»  
НТО РЭС Украины  
НТО РЭС им. А.С. Попова РФ

## **СБОРНИК НАУЧНЫХ ТРУДОВ**

**2-й Международной научной конференции  
«ЭЛЕКТРОННАЯ КОМПОНЕНТНАЯ БАЗА.  
СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ»**

*30 сентября - 3 октября 2009г.*

Харьков - Кацевели  
2009

## ОСОБЕННОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ИМПУЛЬСНЫХ ЛАЗЕРОВ МАЛОЙ МОЩНОСТИ ДЛЯ ТЕРМИЧЕСКОГО УПРОЧНЕНИЯ ЖЕЛЕЗОУГЛЕРОДИСТЫХ СПЛАВОВ

Афанасьева О.В., Мачехин Ю.П., Лалазарова Н.А., Свергун Т.Ю.

Харьковский национальный университет радиоэлектроники

61200, Харьков, пр. Ленина, 14, каф. физических основ электронной техники,

тел. (057) 702-14-84

E-mail: foet@kharkov.com.ua; факс: 702-13-10

Laser treatment of materials is the guided process of thermal treatment of different matters and materials, in which laser, being an electromagnetic energy source in near and middle YK ranges, and also in an optical range, actually operates as thermal energy source resulting in heating of surface of the processed material. Development of lasers technologies of superficial treatment of materials takes place to two directions.

Термическое упрочнение лазерным излучением основано на локальном нагреве участка поверхности под воздействием излучения и охлаждения этого участка со сверхкритической скоростью после прекращения воздействия за счет теплоотвода во внутренние слои металла. При этом не требуется применять какие-либо охлаждающие среды, что упрощает технологию термоупрочнения. Лазерное термическое упрочнение характеризуется малым временем воздействия и обеспечивает отсутствие деформации деталей. Тепловое воздействие при лазерном термоупрочнении, регулируется в широких пределах за счет изменения параметров лазерного излучения и режимов обработки. Это обеспечивает регулирование скоростей нагрева и охлаждения металла, времени пребывания металла при высоких температурах, что позволяет получать требуемую структуру поверхностного участка и соответствующие свойства. Технологические возможности лазерного термоупрочнения позволяют использовать этот процесс в качестве заключительной операции без последующей механической обработки [1, 2].

Мощность и энергия излучения являются основными параметрами лазерного пучка. Для поверхностной обработки материалов до настоящего времени применялись твердотельные лазеры или газоразрядные CO<sub>2</sub>-лазеры мощностью более 1кВт, надежные в эксплуатации, с автоматизированной системой управления технологического комплекса. Высокая стоимость таких комплексов и их низкая производительность ограничивают применение лазерного термического или химико-термического упрочнения [3]. Данная проблема может быть решена путем использования лазеров нового поколения.

На сегодняшний день наиболее перспективными технологическими инструментами являются волоконные лазеры. К числу преимуществ волоконных лазеров следует отнести высокую эффективность (до 50%), что ведет к более низким эксплуатационным расходам; небольшие размеры позволяют легко встраивать их в существующие системы производства. Однако их стоимость пока остаётся очень высокой, что также не позволяет говорить об их широком использовании.

В настоящей работе была сделана попытка обосновать возможность использования лазеров низкой мощности, работающих в импульсном режиме, для упрочнения поверхности деталей и инструмента. Традиционно лазеры мощностью менее 0,5 кВт для этих целей не используются [4].

В качестве материалов исследований выбраны углеродистые стали с различным содержанием углерода: сталь 20, сталь 40, сталь У12. Образцы были подвергнуты предварительной термической обработке – закалке с охлаждением в воде и отпуску при температуре 600 °С (режим 1) и нормализации (режим 2). С целью увеличения поглощательной 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. Основным варьируемым параметром была длительность импульса.

В качестве параметра контроля упрочненного слоя была выбрана его микротвердость. Измерение микротвердости проводилось с помощью микротвердомера ПМТ-3 при нагрузке 100 г. Ширина упрочненной дорожки оценивалась на микроскопе МБС-9 и составляла 0,3-0,5 мм.

Результаты исследований микротвердости приведены на рис.1. Анализ полученных результатов показывает, что предварительная термическая обработка оказывает значительное влияние на формирование упрочненных слоев.

Предварительное термическое улучшение (режим 1) формирует структуру сорбита отпуска (феррито-цементитной смеси со сферическими карбидами, равномерно распределенными в матрице). Последующая лазерная закалка в импульсном режиме приводит к образованию мартенситной структуры и, как следствие, к упрочнению закаленных участков. При этом для каждой стали существует определенное значение длительности импульса, позволяющее получить максимальное упрочнение (рис. 1, а). Полученные данные неплохо согласуются с результатами работ [1, 2, 5]. При повышении содержания углерода оптимальная длительность импульса увеличивается с 0,2 (сталь 20) до 0,3 мс (сталь У12). Сравнение полученных значений с микротвердостью контрольных образцов (объемная закалка) показывает, что лазерное упрочнение всегда дает более высокие значения, причем максимальный эффект прироста микротвердости достигается на низкоуглеродистой стали 20. С увеличением количества углерода микротвердость упрочненного слоя возрастает.

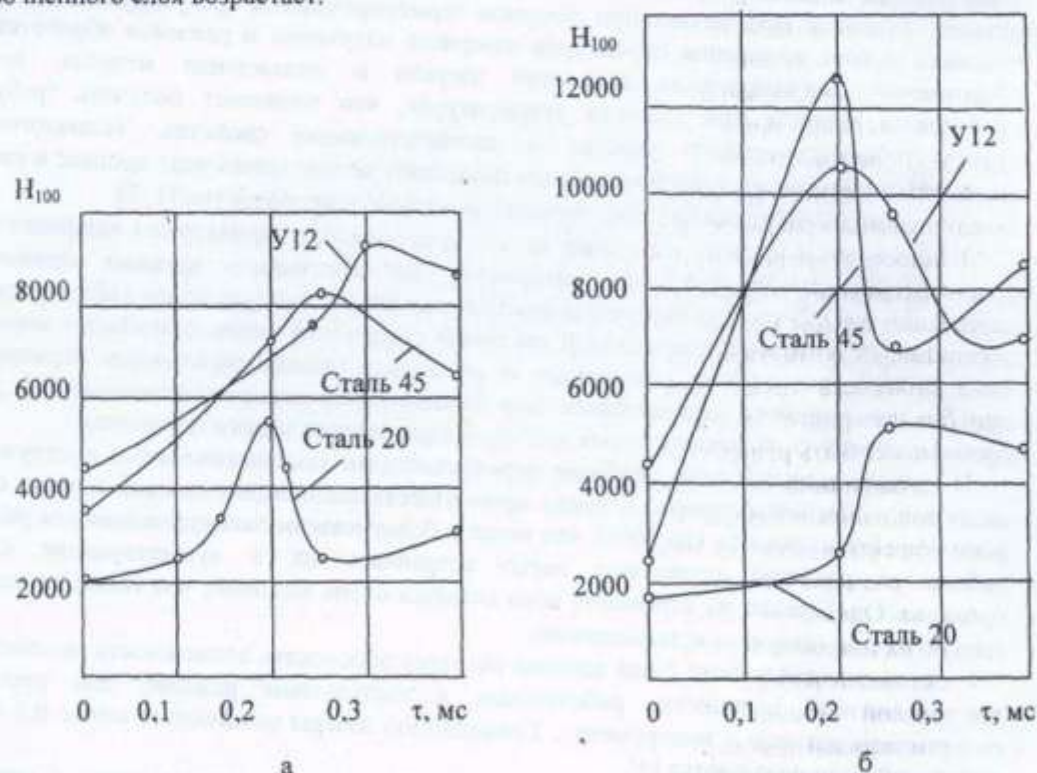


Рис. 1. Зависимость микротвердости углеродистых сталей от длительности импульса: а – режим 1 (предварительная термическая обработка – закалка и высокий отпуск); б – режим 2 (предварительная термическая обработка – нормализация).

Предварительная обработка по режиму 2 (рис. 1, б) дает значительно более неоднозначные результаты. Первой особенностью такого режима является отсутствие зависимости между содержанием углерода в стали и оптимальной длительностью импульса при ее лазерной закалке. Вторая особенность заключается в том, что микротвердость упрочненных слоев сталей 45 и У12, предварительно обработанных по режиму 2, значительно выше, чем на образцах, подвергнутых предварительному

термическому улучшению (режим 1). Можно предположить, что это связано с характером распределения углерода, обусловленного предварительной термической обработкой. После нормализации стали 20 и 45 имеют феррито-перлитную структуру, а сталь У12 – перлитную с включениями вторичного цементита, то есть имеется неравномерность распределения углерода. Вследствие кратковременности термического воздействия при лазерной закалке эта неравномерность сохраняется, что приводит при последующем охлаждении к возникновению более высокого уровня внутренних напряжений, и как следствие, более высокого уровня микротвердости по сравнению с режимом 1.

Наиболее неожиданным результатом является более высокая микротвердость стали 45 по сравнению со сталью У12 (рис. 1, б). Это противоречит теории монотонного роста микротвердости с повышением содержания углерода и нуждается в дальнейших исследованиях и объяснении.

Таким образом, на основе проведенных исследований можно сделать вывод о возможности упрочнения маломощными лазерами при использовании импульсного режима. Однако производительность такого процесса низкая, что не позволяет упрочнять большие поверхности деталей. Исходя из вышесказанного, можно предположить, что наиболее перспективным направлением будет локальное упрочнение режущего инструмента.

План проведения дальнейших исследований предусматривает определение энергетических и геометрических параметров излучения и выбор оптимальных значений плотности мощности, энергии в импульсе и длительности импульса. В качестве объектов исследования предлагаются инструментальные стали, например, углеродистые У10, У12 и быстрорежущие Р6М5, Р9, Р6М5К5, которые наиболее широко применяются в инструментальном производстве. Перспективной представляется также лазерная химико-термическая обработка данных сталей, например, борирование или алитирование.

Закалка быстрорежущих сталей из жидкого состояния не обеспечивает максимально возможного их упрочнения. Кроме того, режущие кромки и рабочие поверхности инструментов должны иметь низкую шероховатость. Поэтому особенностью режимов лазерной термической и химико-термической обработки данных сталей должно быть отсутствие оплавления.

В результате проведенных исследований было показано:

1. Несмотря на малую мощность используемого лазера, импульсный режим все же позволяет производить термическое упрочнение стальных изделий.
2. Существует оптимальная длительность импульса, позволяющая получать наиболее эффективное упрочнение.
3. Оптимальная длительность импульса зависит от содержания углерода в стали и режимов ее предварительной термической обработки.
4. Сформулированы основные требования к используемому лазерному излучению, определены материалы и методика проведения дальнейших исследований.

Литература:

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. – 159с.
3. Авсиевич Е. А. Лазеры в промышленной технологии.-М.: Знание, 1978.-63с.
4. Промышленное применение лазеров./Под ред. Г.Кебнера. М.: Машиностроение, 1988. 280 с.
5. Сафонов А.Н. Структура и микротвердость поверхностных слоев железоуглеродистых сплавов после лазерной закалки// Металловедение и термическая обработка металлов. 1996. №2. С.20-25.