

ВЛИЯНИЕ ИМПУЛЬСНОЙ ЛАЗЕРНОЙ ОБРАБОТКИ НА СВОЙСТВА ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫХ СТАЛЕЙ

**О.В. Афанасьева, доцент, к. т. н., ХНУРЭ, Н.А.Лалазарова доцент, к. т. н., ХНАДУ,
г. Харьков, Украина**

Аннотация. Целью настоящей работы является разработка режимов упрочнения поверхности деталей и инструмента с использованием YAG-лазеров малой мощности. Исследования проводились на инструментальных сталях: углеродистой и быстрорежущей, после стандартной термической обработки. Основным варьируемым параметром была длительность импульса. В качестве параметра контроля свойств упрочненного слоя была выбрана микротвердость. Было показано, что для каждой стали существует оптимальное значение длительности импульса, обеспечивающее максимальную твердость.

Ключевые слова: импульсное лазерное излучение, лазерная закалка стали, инструментальная сталь, длительность импульса, микротвердость.

ВПЛИВ ІМПУЛЬСНОЇ ЛАЗЕРНОЇ ОБРОБКИ НА ВЛАСТИВОСТІ ІНСТРУМЕНТАЛЬНИХ СТАЛЕЙ

**О.В. Афанасьєва, доцент, к. т. н., ХНУРЕ, Н.А.Лалазарова доцент, к. т. н., ХНАДУ,
м. Харків, Україна**

Анотація. Метою даної роботи являється розробка режимів зміцнення поверхні деталей та інструментів з використанням YAG-лазерів малої напруги. Дослідження проводились на інструментальних сталях: вуглецевій та швидкоріжущій після стандартної термічної обробки. Головним змінним параметром була тривалість імпульсу. В якості параметру контролю якостей зміцненого шару було обрано микротвердість. Було показано, що для кожної сталі існує оптимальне значення тривалості імпульсу, що забезпечують максимальну твердість.

Ключові слова: імпульсне лазерне випромінювання, лазерне гартування сталі, інструментальна сталь, тривалість імпульсу, микротвердість.

EFFECT OF PULSED LASER TREATMENT ON THE PROPERTIES TOOL STEELS

**O. Afanasieva, Associate Professor, Candidate of Technical Science, KhNURE,
N. Lalasarova, Associate Professor, Candidate of Technical Science, KhNADU,
Kharkov, Ukraine**

ABSTRACT. The aim of this work is to develop modes of surface hardening of parts and tools using YAG-lasers with low capacity. Investigations were carried out on tool steels: carbon and high speed. Steels subjected to standard heat treatment. The main variable parameter was the duration of the pulse. The parameter controls the properties of the hardened layer was chosen microhardness. It was shown that for each steel there exists an optimum value of pulse duration, which provides maximum hardness.

Key words: pulsed laser radiation, laser hardening steel, tool steel, pulse duration, microhardness.

Введение

Промышленная обработка материалов стала одной из областей наиболее широкого использования лазеров. Основными техническими характеристиками, определяющими характер обработки, являются энергетические параметры лазера – энергия, мощность, плотность энергии, длительность импульса, пространственная и временная структура излучения, пространственное распределение плотности мощности излучения в пятне фокусировки, условия фокусировки, физические свойства материала (отражательная способность, теплофизические свойства, температура плавления и т. д.).

Среди основных достижений в области прогрессивных технологий упрочнения материалов можно выделить одно из наиболее перспективных направлений повышения эксплуатационных характеристик поверхности деталей – лазерную обработку, которая посредством целенаправленного изменения структуры материалов лазерным лучом позволяет получать специфические нетрадиционные комбинации физических, химических и механических свойств в поверхностных рабочих слоях.

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. Лазерное термическое упрочнение характеризуется малым временем воздействия и обеспечивает отсутствие деформации деталей. Технологические возможности лазерной закалки позволяют использовать этот процесс в качестве заключительной операции без последующей механической обработки [1, 2].

Мощность и энергия излучения являются основными параметрами лазерного пучка. Несмотря на преобладающее мнение [1, 2] о том, что непрерывный режим более подходит для проведения термической обработки, можно предположить, что использование импульсного излучения позволит снизить мощность используемых лазерных устройств. Малая длительность импульсов и возможность фокусировки излучения в пятно малого диаметра позволяют создавать плотности мощности, достаточные для нагрева обрабатываемой поверхности до температур выше фазовых превращений.

Ранее было показано [3], что применение импульсных режимов позволяет проводить термическую обработку с помощью YAG – лазера со средней мощностью всего 5...10 Вт, при этом на всех режимах наблюдалось оплавление и вспенивание металла в зоне нагрева.

Целью настоящей работы является разработка режимов упрочнения поверхности деталей и инструмента с использованием YAG-лазеров малой мощности.

Методика исследований

Лазерное упрочнение проводилось с использованием твердотельного YAG-лазера с ламповой накачкой мощностью 5 Вт и длиной волны излучения $\lambda=1,06$ мкм, работающего в импульсном режиме. Скорость сканирования составляла 2мм/с, частота следования импульсов 20Гц, длительность импульса 2мс. Такая схема обработки обеспечивала получение сплошной обработанной дорожки с частичным перекрытием пятен в ней (так называемый «квазинепрерывный» режим). Основным варьируемым параметром была энергия в импульсе, измеряемая калориметрическим методом.

В качестве параметра контроля свойств упрочненного слоя была выбрана микротвердость. Испытания микротвёрдости чаще всего проводят на приборе ПМТ-3 путём вдавливания стандартной 136-градусной алмазной пирамиды с квадратным основанием и нагрузками 2, 5, 10, 20, 50, 100 и 200 г [4].

Технология измерения длины диагонали отпечатка достаточно трудоёмка, а вероятность внесения погрешности, особенно при измерении отпечатков небольших размеров, весьма существенна. В работе [5], разработана методика исследования микротвердости с наноточностью. Комплекс для исследований совмещает микротвердомер ПМТ-3 и персональный компьютер. Измерение микротвёрдости производится вдавливанием четырёхгранной пирамиды, а изображение отпечатка передаётся при помощи видеокамеры на экран монитора. На экране изображение может быть увеличено до любых размеров, то есть самый маленький отпечаток может быть увеличен до размеров, которые позволяют его измерять с самой высокой точностью. Длина диагонали рассчитывается автоматически. Измерения длин диагоналей могут

повторяться многократно. Значения длин диагоналей заносятся автоматически в таблицу в программе Excel и производится расчёт среднего значения микротвёрдости. Неоспоримым достоинством данной методики является возможность не только измерять микротвёрдость, но и фотографировать исследуемые объекты.

Исследования проводились на инструментальных сталях: углеродистой У12 и быстрорежущей Р6М5. Стали подвергали стандартной термической обработке: У12 – закалке и низкому отпуску, Р6М5 – закалке и трёхкратному отпуску. Шероховатость образцов составляла $Rz=20\text{мкм}$, поэтому меры по уменьшению отражательной способности поверхности не предпринимались.

Обсуждение результатов исследований

Исследование поверхности стали после лазерной закалки показало, что на всех образцах присутствуют следы плавления. Вспенивания и растрескивания металла обработанных участков не наблюдалось. Это свидетельствовало о нагреве несколько выше температуры ликвидус и закалке из жидкого состояния. Результаты исследований микротвёрдости приведены на рис. 1.

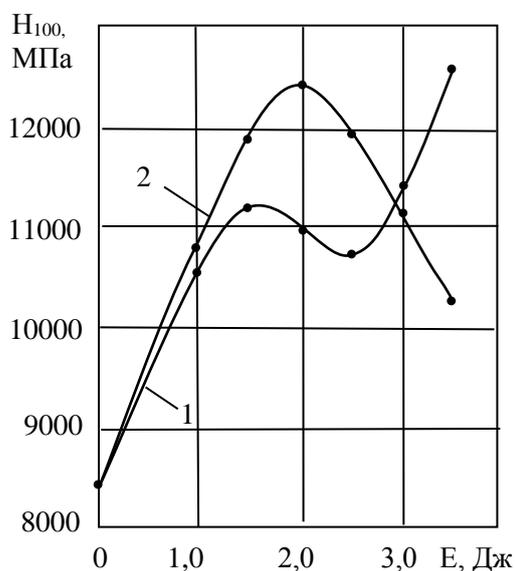


Рисунок 1. Зависимость микротвёрдости от длительности импульса: 1 – сталь У12, б – сталь Р6М5.

Анализ полученных результатов показал, что лазерное термоупрочнение быстрорежущей стали позволяет существенно повысить ее твердость по сравнению со стандартной термической обработкой. Можно предположить, что вследствие малого

времени воздействия лазерного излучения на материал и большой скорости отвода тепла, диффузионные процессы, связанные с растворением карбидов при плавлении не успевают завершиться в полном объеме. Поэтому вторичные карбиды сохраняются, происходит дальнейшее измельчение зерна, повышение плотности дислокаций, что приводит к росту уровня внутренних напряжений, и, как следствие – повышению твёрдости.

На рис.2 представлена структура зоны лазерного воздействия. Четко различимы зоны плавления, закаленная (светлая), переходная, основного металла.



Рисунок 2 Зона лазерного воздействия, сталь У12, ×320

Зона плавления на стали Р6М5 (рис. 3) значительно меньше, чем для стали У12. Глубина закаленной зоны исследованных сталей составляет примерно 150...200мкм, что является весьма хорошим результатом для импульсного режима.



Рисунок 3 Зона лазерного воздействия, сталь Р6М5, ×320

Измерение микротвёрдости в переходной зоне не фиксирует разупрочнения – микротвёрдость переходной зоны ниже, чем в закаленной зоне, но выше микротвёрдости основного металла.

В целом результаты данной работы неплохо согласуются с результатами работ [1, 2], где значения микротвердости исследованных сталей в ряде случаев даже меньше полученных нами, однако мощность используемой лазерной установки в нашем случае значительно ниже. В ряде работ [1, 2, 6] не рекомендуется проводить закалку с оплавлением для стали Р6М5, т.к. такой режим приводит к растворению карбидов и увеличению количества остаточного аустенита. По мнению авторов, высокая твердость может быть обеспечена только при лазерной закалке быстрорежущей стали в твердом состоянии, без оплавления поверхностных слоев. Несмотря на то, что все рассмотренные нами режимы приводят к оплавлению поверхности, снижение твердости стали Р6М5 не наблюдалось, что объясняется сохранением карбидов при кратковременном воздействии.

Вместе с тем необходимо продолжить исследования режимов стали Р6М5 с целью оптимизации энергии в импульсе и поиска параметров импульсной закалки, не вызывающих оплавления. Последнее особенно важно для инструментов и деталей, у которых необходимо сохранять геометрические параметры и хорошее качество поверхности.

В результате проведенных исследований было показано, что твердость предварительно закаленной быстрорежущей стали после вторичной лазерной закалки зависит от энергии в импульсе и от плотности мощности в импульсе. Регулировать процесс упрочнения можно изменением плотности мощности или энергии в импульсе.

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. Применение импульсных лазеров малой мощности для поверхностной закалки сталей. Ю.П. Мачехин, О.В. Афанасьева, Н.А. Лалазарова, Е.Г. Попова. Вопросы проектирования и производства конструкций летательных аппаратов: сборник научных трудов.- Харьков, Национальный

аэрокосмический университет им. Н.Е.Жуковского «ХАИ», 2009. Вып.3 (59), с.97-101.

4. Григорович В.К. Твёрдость и микротвёрдость металлов. М.: «Наука», 1976. -230 с.

5. В. И. Мощенок, Н. А. Лалазарова, О. Н. Тимченко Измерение микротвердости с наноточностью/Вестник ХНАДУ, 2008.- вып.42,с.83-85

6. Сафонов А.Н. Структура и микротвердость поверхностных слоев железуглеродистых сплавов после лазерной закалки// Металловедение и термическая обработка металлов. 1996. №2. С.20-25.

Рецензент

Тезисы поступили в редакцию 2015 г.