

ТЕРМИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА БЫСТРОРЕЖУЩИХ СТАЛЕЙ С ПОМОЩЬЮ ЛАЗЕРОВ МАЛОЙ МОЩНОСТИ

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

The aim of this work is to develop modes of surface hardening of parts and tools using YAG-lasers with low capacity. Laser hardening was carried out using a pulsed laser of 5 watts. Investigations were carried out on high speed tool steel. Steel subjected to standard heat treatment. The main variable parameter was the energy in 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 energy, which provides maximum hardness.

Промышленная обработка материалов стала одной из областей наиболее широкого использования лазеров. До появления лазеров основными тепловыми источниками для технологической обработки являлись газовая горелка, электродуговой разряд, плазменная дуга и электронный поток. С появлением лазеров, излучающих большую энергию, оказалось возможным создавать на обрабатываемой поверхности высокие плотности светового потока. Роль лазеров как световых источников, работающих в непрерывном или импульсном режимах, а также в режиме гигантских импульсов, состоит в обеспечении на поверхности обрабатываемого материала плотности мощности, достаточной для его нагрева, плавления или испарения, которые лежат в основе лазерной технологии.

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.).

Термическое упрочнение лазерным излучением, основанное на локальном нагреве участка поверхности под воздействием излучения и охлаждении этого участка со сверхкритической скоростью за счет теплоотвода во внутренние слои металла, применяется в промышленности уже около пятидесяти лет. Лазерное термическое упрочнение характеризуется малым временем воздействия и обеспечивает отсутствие деформации деталей. Тепловое воздействие при лазерном термоупрочнении регулируется в широких пределах, что позволяет получать требуемую структуру поверхностного участка и соответствующие свойства. Технологические возможности лазерного упрочнения позволяют использовать этот процесс в качестве заключительной операции без последующей механической обработки [1, 2].

В настоящее время в технологических целях используются три типа лазеров: газовые, твердотельные и волоконные. Газовые CO₂-лазеры мощностью более 1кВт: надежны в эксплуатации, с автоматизированной системой управления технологического комплекса, широко применяются для различных технологических операций, в том числе для термической обработки. Однако высокая стоимость таких комплексов и их низкая производительность ограничивают их применение. Твердотельные лазеры на алюмоиттриевом гранате (Nd³⁺:YAG-лазеры) имеют по сравнению с газовыми ряд преимуществ. Они более компактны, имеют более высокие значения коэффициента полезного действия. Одновременно с этим YAG-лазеры являются более дорогими и требуют значительных эксплуатационных расходов. Для термической обработки используются YAG-лазеры мощностью 1...5 кВт, работающие как в непрерывном, так и в импульсном режиме. На сегодняшний день наиболее перспективными технологическими инструментами являются волоконные лазеры. К числу преимуществ волоконных лазеров

следует отнести высокую эффективность (до 50%), что ведет к снижению эксплуатационных расходов; небольшие размеры, что позволяют легко встраивать их в существующие системы производства. Однако их стоимость пока остаётся очень высокой, что также не позволяет говорить об их широком использовании.

Ранее нами была показана возможность использования лазеров малой мощности, работающих в импульсном режиме, для упрочнения поверхности деталей и инструментов из железоуглеродистых сплавов [3, 4]. В настоящей работе была сделана попытка обоснования режимов лазерной термической обработки для быстрорежущей стали.

Надежность и долговечность инструмента из быстрорежущей стали в основном определяется его твердостью, которая зависит от химического состава и режимов термической обработки. Поэтому целью данной работы является разработка режимов лазерной закалки для быстрорежущей стали, обеспечивающих максимальную твердость.

В качестве материала исследований была выбрана инструментальная быстрорежущая сталь Р6М5 (химический состав приведен в табл. 1) после стандартной термической обработки – закалки и трехкратного отпуска. Шероховатость поверхности составляла $R_z=20$ мкм, что обеспечивает поглощательную способность 0,85....0,9 [1, 2], поэтому дополнительные меры по увеличению поглощательной способности поверхности не предпринимались.

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 2 мм/с, частота следования импульсов 20 Гц, длительность импульса 2 мс. 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.

Лазерная закалка проводилась расфокусированным пучком с фокусом над поверхностью обрабатываемого материала. Ширина упрочненной дорожки измерялась на микроскопе МБС-9 и составляла 0,9 мм (режим 1) и 1,3 мм (режим 2).

В качестве параметра контроля упрочненного слоя была выбрана его микротвердость. Измерение микротвердости проводилось по методике исследования микротвердости с наноточностью [5]. Комплекс для исследований совмещает микротвердомер ПМТ-3 и персональный компьютер. Измерение микротвёрдости производилось вдавливанием четырёхгранной пирамиды при нагрузке 100 г, а изображение отпечатка передавалось при помощи видеокамеры на экран монитора, что давало возможность не только измерять микротвердость, но и фотографировать исследуемые объекты. Действительный размер изображения определяли при фотографировании его с объект-микрометром.

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 микротвердости приведены на рис.1.

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 объёме. Поэтому вторичные карбиды сохраняются, происходит дальнейшее измельчение зерна, повышение плотности дислокаций, что приводит к росту уровня внутренних напряжений, и, как следствие – повышению твёрдости.

Значительное влияние на твердость закаленной стали оказывает энергия в импульсе. Для стали Р6М5, обработанной по режиму 1, в рассматриваемом интервале

наблюдается немонотонное возрастание твёрдости. Можно предположить, что проведение исследований с большей энергией в импульсе позволит разработать оптимальный режим лазерного упрочнения для стали Р6М5 при данной фокусировке. Обработка с помощью более расфокусированного пучка (режим 2) обеспечивает получение величин твердости ниже, чем по режиму 1. Оптимальные значения энергии в импульсе составляют 1,5...2,5 Дж.

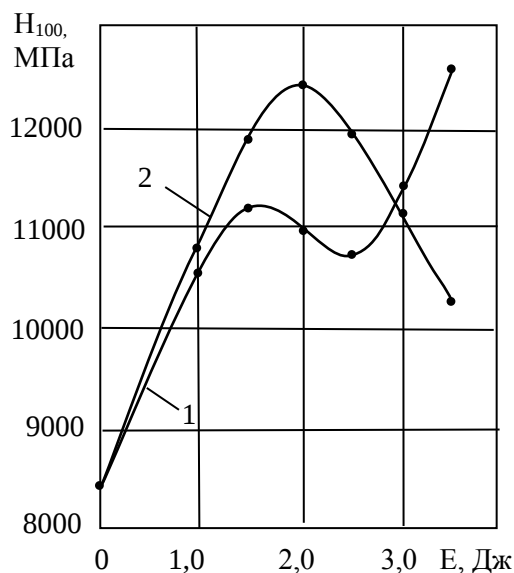


Рисунок 1. Зависимость микротвердости от энергии в импульсе: а – режим 1, б – режим 2.

Сравнение двух режимов показывает, что плотность мощности оказывает более существенное влияние на свойства стали после лазерной закалки, чем энергия в импульсе.

На рис.2 представлена структура зоны лазерного воздействия. Хорошо различимы зоны: плавления, закалки (светлая), переходная и основного металла.



Рисунок 2. Зона лазерного воздействия, сталь Р6М5, режим 1. $\times 320$

Глубина закаленной зоны составляет примерно 150 и 200 мкм для режима 1 и 2 соответственно, что является хорошим результатом для импульсной лазерной обработки.

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

В целом результаты данной работы неплохо согласуются с результатами работ [1, 2, 6, 7], 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, снижения твердости стали Р6М5 не наблюдалось, что объясняется сохранением карбидов при кратковременном воздействии. Высокая твердость, износостойкость и теплостойкость стали Р6М5 обеспечивается мартенситной структурой и наличием карбидов вольфрама, молибдена, ванадия. 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.Головкин, В.С. Черненко. – К.: Техника, 1990. – 192 с.
2. Григорьянц А.Г., Шиганов И.Н., Мисюров А.И. Технологические процессы лазерной обработки: Учеб. Пособие для вузов / Под ред. А.Г. Григорьянца. – М.: МГТУ им. Н.Э.Баумана, 2006. – 664 с.
3. Особенности применения импульсных лазеров малой мощности для термического упрочнения железоуглеродистых сплавов. Афанасьева О.В., Мачехин Ю.П., Лалазарова Н.А., Свергун Т.Ю. II международная конференция "Электронная компонентная база. Состояние и перспективы развития" в рамках 3-го Международного радиоэлектронного форума "Прикладная радиоэлектроника. Состояние и перспективы развития" МРФ-2008. Сборник научных трудов. том III. – Харьков: АН ПРЭ. ХНУРЭ. 2008. – С. 315–317.
4. 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.
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 железоуглеродистых сплавов после лазерной закалки // Металловедение и термическая обработка металлов. – 1996. – №2. – С. 20–25.
7. Дьяченко В.С. Влияние режимов импульсной лазерной обработки на структуру и свойства быстрорежущих сталей // Металловедение и термическая обработка металлов, 1986. – №9. – С. 11–13.