

ПОВЕРХНОСТНОЕ УПРОЧНЕНИЕ СТАЛЕЙ ЛАЗЕРАМИ МАЛОЙ МОЩНОСТИ

О.В. АФАНАСЬЕВА, Н.А. ЛАЛАЗАРОВА

Применение лазеров малой мощности в импульсном режиме для поверхностной закалки стали является перспективным. Работа посвящена определению влияния длительности импульса на свойства упрочнённого слоя для сталей различных марок.

Ключевые слова: импульсное лазерное излучение, лазерная закалка стали, микротвёрдость.

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. Для поверхностной обработки материалов до настоящего времени применялись твердотельные или газоразрядные CO_2 -лазеры мощностью более 1кВт, надежные в эксплуатации, с автома-

тизированной системой управления технологического комплекса. Высокая стоимость таких комплексов и их низкая производительность ограничивают применение лазерного термического или химико-термического упрочнения [3]. Твердотельные лазеры на алюмоиттриевом гранате (Nd^{3+} :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 больших 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 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.

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.

Таким образом, целью настоящей работы является разработка режимов упрочнения поверхности деталей и инструмента с использованием YAG-лазеров малой мощности (10...50Вт), работающих в импульсном режиме.

При обработке поверхности деталей из сталей и сплавов импульсным лазерным излуче-

нием проявляется ряд особенностей по сравнению с непрерывным. Во-первых, благодаря меньшей длине волны импульсное излучение больше поглощается поверхностью материалов. Во-вторых, за счет уменьшения диаметра пятна фокусировки лазерного луча, при одной и той же мощности лазера можно добиться значительного повышения плотности мощности в импульсе. Температура нагрева материала значительно возрастает, и тугоплавкие соединения, имеющиеся в структуре поверхностного слоя, расплавляются. И, в-третьих, скорости охлаждения поверхности материалов после импульсной обработки в 100...1000 раз выше аналогичных для непрерывного излучения. В результате получают уникальные структуры и свойства обработанной поверхности.

1. МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЙ

В качестве материалов исследований выбраны углеродистые стали с различным содержанием углерода: сталь 20, 45 и У12. Образцы подвергались предварительной термической обработке – закалке с охлаждением в воде и отпуску при температуре 600 °С (улучшение, режим 1) и нормализации (режим 2). С целью увеличения поглощательной способности поверхности образцов 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. Основными варьируемыми параметрами были скорость сканирования и длительность импульса.

В качестве параметра контроля свойств упрочненного слоя была выбрана микротвердость. Измерение микротвердости проводилось с помощью микротвердомера ПМТ-3 при нагрузке 100 г. Ширина упрочненной дорожки оценивалась на микроскопе МБС-9 и составляла 0,7 ... 0,8 мм.

2. РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Целью настоящей работы является разработка режимов упрочнения поверхности деталей и инструмента с использованием YAG-лазеров малой мощности. Для достижения поставленной цели изучили влияние скорости сканирования, длительности импульса излучения и исходной структуры на микротвёрдость поверхностного слоя после лазерной обработки.

Оценка влияния скорости лазерного сканирования проводилась на стали 20 при постоянной длительности импульса 0,4 мс. Образец устанавливался на двухкоординатный столик и перемещался вместе с ним со скоростью 15, 7,5, 5 и 2,5 мм/с (дорожки 1, 2, 3 и 4 соответственно). Фотография обработанных дорожек приведена на рис. 1.

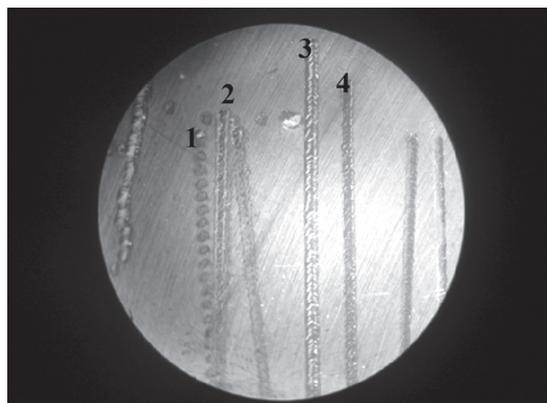


Рис. 1. Сталь У12, длительность импульса 0,4 мс, $\times 30$

Скорость перемещения образца увеличивалась от дорожки к дорожке справа налево. На всех режимах, даже в том случае, когда скорость перемещения слишком высока и вместо дорожки наблюдаются отдельные точки, видны следы проплавления и вспенивания металла. Таким образом, изменяя скорость перемещения образца, для данных условий нельзя добиться нагрева без оплавления. В дальнейшем исследование режимов лазерной закалки проводилось при постоянной скорости сканирования, равной 5 мм/с.

Результаты исследований микротвердости приведены на рис. 2.

Анализ полученных результатов показывает, что предварительная термическая обработка (исходная структура) оказывает значительное влияние на структуру поверхностных слоев после лазерной закалки и их свойства. Улучшение (режим 1) формирует структуру сорбит отпуска (феррито-цементитная смесь со сфероидизированными карбидами). Структура сталей 20 и 45 после нормализации – феррит и перлит (пластинчатые карбиды), стали У12 – перлит и цементит.

Последующая лазерная закалка в импульсном режиме приводит к образованию закалочных структур – мартенсита. При этом для каждой стали существует определенное значение длительности импульса, позволяющее получить максимальную твёрдость (рис. 2, а). Полученные данные неплохо согласуются с результатами работ [1, 2]. При повышении содержания углерода оптимальная длительность импульса увеличивается с 0,2 (сталь 20) до 0,3 мс (сталь У12).

Сравнение полученных значений с микротвёрдостью контрольных образцов (объемная закалка) показывает, что лазерное упрочнение дает более высокие значения, причем максимальный прирост микротвердости достигается на низкоуглеродистой стали 20 (см. табл. 1).

С увеличением количества углерода микротвердость упрочненного слоя возрастает (рис. 2, а).

Предварительная обработка по режиму 2 (рис. 2, б) дает значительно более неоднозначные результаты. Во-первых, особенностью та-

кого режима является отсутствие зависимости между содержанием углерода в стали и оптимальной длительностью импульса при ее лазерной закалке. Во-вторых, микротвердость упрочненных лазерной закалкой слоев сталей 45 и У12, предварительно обработанных по режиму 2, значительно выше, чем на образцах, подвергнутых улучшению (режим 1).

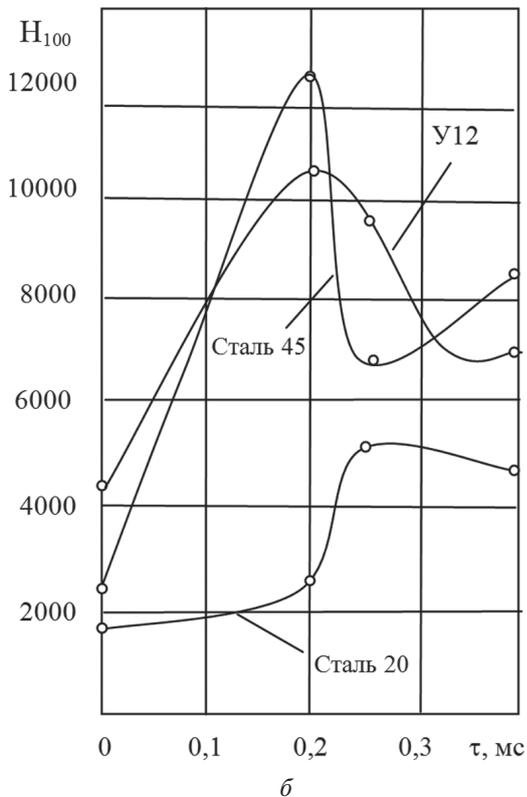
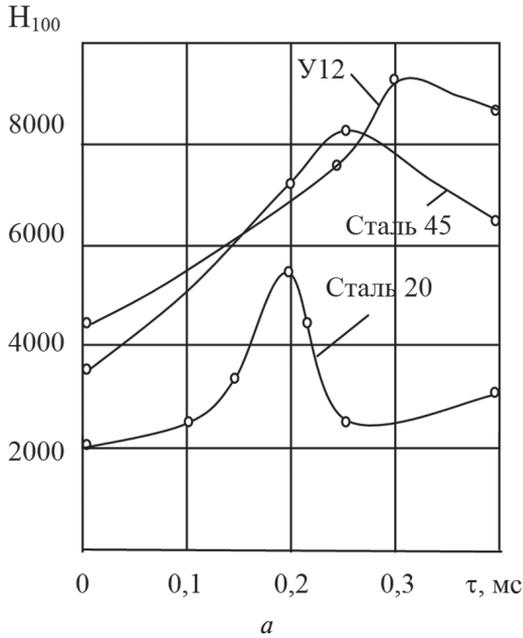


Рис. 2. Зависимость микротвердости углеродистых сталей от длительности импульса:
 а — режим 1 (предварительная термическая обработка — закалка и высокий отпуск);
 б — режим 2 (предварительная термическая обработка — нормализация)

Таблица 1

Влияние лазерной закалки на микротвёрдость сталей различных марок по сравнению с объёмной закалкой

Марка стали	Прирост микротвёрдости после лазерной закалки по сравнению с объёмной, %	
	Режим 1	Режим 2
Сталь 20	275	275
Сталь 45	76	14
Сталь У12	15	0

Эти результаты не согласуются с результатами, полученными в работе [4], где максимальной твёрдостью имеют образцы с более дисперсной исходной структурой (тритит). Вероятно, объяснение кроется в условиях обработки, в частности в кратковременности температурного воздействия [5]. Неодимовый лазер позволяет получать импульсы очень малой длительности с большой плотностью энергии. Размеры области облучения (нагрева) очень малы, поэтому происходит сверхскоростное охлаждение металла. Можно предположить, что в таких условиях процессы, связанные с аустенизацией и расплавлением стали, растворением карбидов, затвердеванием и последующим $\gamma \rightarrow \alpha$ -превращением не успевают завершиться в полном объёме, что и приводит к противоречивым результатам, которые не согласуются с полученными при обработке более мощными импульсными лазерами и лазерами непрерывного действия.

Неожиданным результатом является более высокая микротвёрдость стали 45 по сравнению со сталью У12 (рис. 2, б). Известно, что с повышением содержания углерода в стали её твёрдость после закалки увеличивается. Эти противоречивые результаты нуждаются в дальнейших исследованиях и объяснении.

Все исследованные режимы вызывают нагрев обрабатываемой поверхности выше температуры плавления. Однако при длительности импульса 0,3...0,4 мс наблюдается не только плавление, но и вспенивание металла, а после кристаллизации на поверхности образуются микротрещины (рис. 3). Образцы, обработанные при длительности импульса 0,1...0,2 мс, этих недостатков лишены.

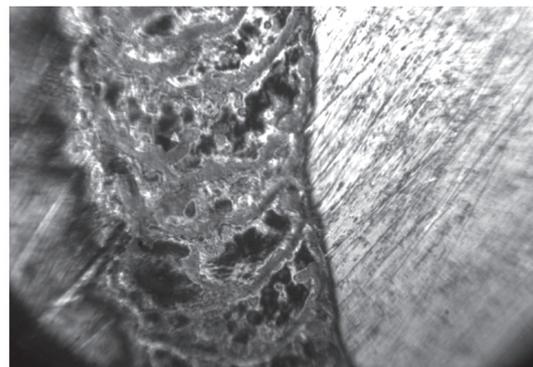


Рис. 3. Сталь У12, длительность импульса 0,4 мс

Если рассмотреть поперечное сечение упрочненной лазерным излучением дорожки, то в нем можно выделить несколько зон (рис. 4): зону оплавления (зону закалки из жидкого состояния), зону закалки, зону отпуска и исходную структуру материала.

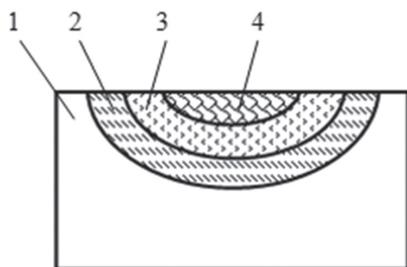


Рис. 4. Схема поперечного сечения зоны лазерной обработки: 1 — исходный металл, 2 — зона отпуска, 3 — зона закалки, 4 — зона закалки из жидкого состояния

В ряде частных случаев некоторые из этих зон могут отсутствовать (например, может отсутствовать зона оплавления при закалке без оплавления поверхности или зона отпуска при закалке предварительно отожженного металла).

Каждая зона в свою очередь может состоять из нескольких слоев и иметь по своему сечению различия в микроструктуре, элементном составе, соотношении составляющих ее фаз и т. п. В сталях типичным является дендритное строение зоны оплавления, причем дендриты растут перпендикулярно границе раздела в направлении отвода тепла в тело образца. Карбиды при этом обычно растворяются, и основной структурной составляющей является мартенсит.

На рис. 5 представлена структура зоны лазерного воздействия.

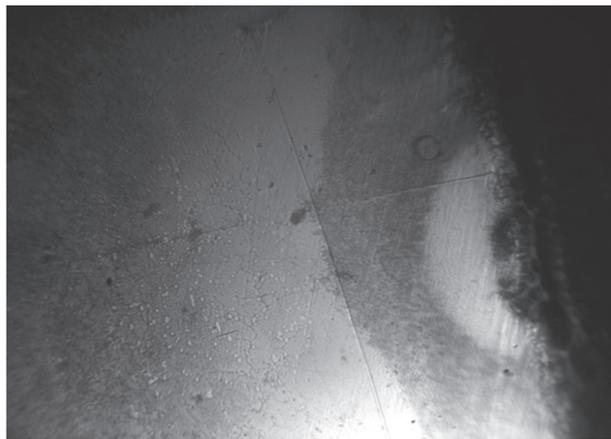


Рис. 5. Структура зоны лазерного воздействия стали У12

Четко различимы зоны плавления, закаленная (светлая), переходная, основного металла. Глубина закаленной зоны составляет примерно 150 мкм, что является весьма хорошим результатом для импульсного режима. Измерение микротвердости в переходной зоне не фиксирует раз-

упрочнения — микротвердость переходной зоны ниже, чем в закаленной зоне, но выше микротвердости основного металла.

Таким образом, на основе проведенных исследований можно сделать вывод о возможности поверхностного упрочнения сталей лазерами малой мощности при использовании импульсного режима. Однако производительность такого процесса низкая, что не позволяет упрочнять поверхности деталей большой площади. Исходя из вышесказанного, можно предположить, что наиболее перспективными направлениями применения лазеров малой мощности будут: локальное упрочнение деталей в местах их износа с сохранением исходных свойств в остальном объеме, создание «пятнистого» поверхностного упрочнения, при котором не образуется сплошного хрупкого слоя, склонного к растрескиванию и отслаиванию. Необходимо продолжить исследования влияния исходной структуры и параметров излучения импульсных лазеров малой мощности на свойства закаленных слоёв.

ВЫВОДЫ

1. Использование импульсного режима позволяет производить поверхностную закалку стальных изделий лазерами малой мощности.
2. Для каждой марки стали существует оптимальная длительность импульса, позволяющая получать наиболее высокую твердость упрочненного слоя.
3. Оптимальная длительность импульса зависит от содержания углерода в стали.
4. Лазерная закалка позволяет получать значительно более высокую твердость, чем объемная, причём наибольший эффект получен на низкоуглеродистой стали.
5. Регулировать величину твердости поверхностного слоя можно изменением времени воздействия или подбором исходных структур.

Литература

- [1] Упрочнение и легирование деталей машин лучом лазера / В.С. Коваленко, Л.Ф. Головкин, В.С. Черненко. — К.: Техника, 1990. — 192 с.
- [2] Основы лазерного термоупрочнения сплавов / А.Г. Григорьянц, А.Н. Сафонов; Под ред. А.Г. Григорьянца. — М.: Высшая школа, 1988. — 159 с.
- [3] Авсиевич Е.А. Лазеры в промышленной технологии. — М.: Знание, 1978. — 63 с.
- [4] Владимиров О.В. Упрочнение рабочих поверхностей деталей и измерительного инструмента высокой точности с помощью CO₂-лазера // Металловедение и термическая обработка. 1983. — №5. — С. 17–18.
- [5] Бураков В.А., Федосиенко С.С. Формирование структур повышенной износостойкости при лазерной закалке металлообрабатывающего инструмента // Металловедение и термическая обработка. 1983. — № 5. — С. 16–17.

Поступила в редколлегию 27.05.2013



Афанасьева Ольга Валентиновна, канд. техн. наук, доцент, доцент кафедры физических основ электронной техники ХНУРЭ. Научные интересы: лазерные промышленные технологии и материаловедение.



Лалазарова Наталья Алексеевна, канд. техн. наук, доцент кафедры технологии металлов и материаловедения ХНАДТУ. Научные интересы: материаловедение и обработка материалов.

УДК 620.378.325

Поверхневе зміцнення сталей лазерами малої потужності / О.В.Афанасьева, Н.О. Лалазарова // При-

кладна радіоелектроніка: наук.-техн. журнал. – 2013. – Том 12. – № 3. – С. 442–446.

Використання лазерів малої потужності в імпульсному режимі для поверхневого гартування сталі є перспективним. Робота присвячена визначенню впливу тривалості імпульсу на властивості зміцненого шару для сталей різних марок.

Ключові слова: імпульсне лазерне випромінювання, лазерне гартування сталі, мікротвердість.

Л.: 5. Табл.: 1. Бібліогр.: 5 найм.

UDC 620.378.325

Surface hardening of steels by low-power lasers / O.V. Afanasieva, N.A. Lalazarova // Applied Radio Electronics: Sci. Journ. – 2013. – Vol. 12. – № 3. – P. 442–446.

Using of low-power lasers in impulse mode for steel surface hardening is perspective. The paper is devoted to determining the effect that pulse time produces on properties of hardened layers for various steels.

Keywords: pulsed laser radiation, laser hardening of steel, microhardness.

Fig.: 5. Tab.: 1. Ref.: 5 items.