

ПРИМЕНЕНИЕ ИМПУЛЬСНЫХ ЛАЗЕРОВ МАЛОЙ МОЩНОСТИ ДЛЯ ПОВЕРХНОСТНОЙ ЗАКАЛКИ СТАЛЕЙ

Самолетам нового поколения необходим большой запас надёжности и долговечности, в том числе и за счет увеличения износостойкости деталей их механизмов. До 90% машин выходят из строя вследствие преждевременного износа их деталей. 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.

До настоящего времени широкое применение в самолётостроении и космической технике получили лазерная сварка и резка. Однако термическое упрочнение углеродистых и легированных сталей лазерным излучением, которое 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, может стать перспективным направлением в будущем. 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. 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 СО₂-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 во-

локонных 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 предпринята попытка обосновать возможность использования лазеров низкой мощности, работающих в импульсном режиме, для поверхностной лазерной закалки деталей или отдельных их участков. Традиционно лазеры мощностью менее 0,5 кВт для этих целей не используются.

При обработке поверхности сталей и сплавов импульсным лазерным излучением проявляется ряд особенностей по сравнению с непрерывным. Во-первых, благодаря меньшей длине волны импульсное излучение больше поглощается поверхностью материалов. Во-вторых, за счет уменьшения расфокусировки 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.

В качестве материалов исследований выбраны углеродистые стали с различным содержанием углерода: сталь 20, сталь 45, сталь У12. Образцы подвергались предварительной термической обработке – закалке с охлаждением в воде и отпуску при температуре 600 °С (улучшение, режим 1) и нормализации (режим 2). В целях увеличения поглощательной способности поверхности образцы 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. Основным варьируемым параметром была длительность импульса.

В качестве параметра контроля свойств упрочненного слоя была выбрана микротвердость. Микротвердость измеряли 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 (исходная структура) оказывает значительное влияние на формирование поверхностных слоев после лазерной закалки и их свойства.

Улучшение (режим 1) формирует структуру сорбит отпуска (ферритоцементитная смесь со сферическими карбидами, равномерно распре-

деленными в матрице). Структура сталей 20 и 45 после нормализации ферритоперлитная (пластинчатые карбиды), стали У12 – перлит и цементит. Последующая лазерная закалка в импульсном режиме приводит к образованию закалочных структур. При этом для каждой стали существует определенное значение длительности импульса, позволяющее получить максимальную твёрдость (рис. 1, а).

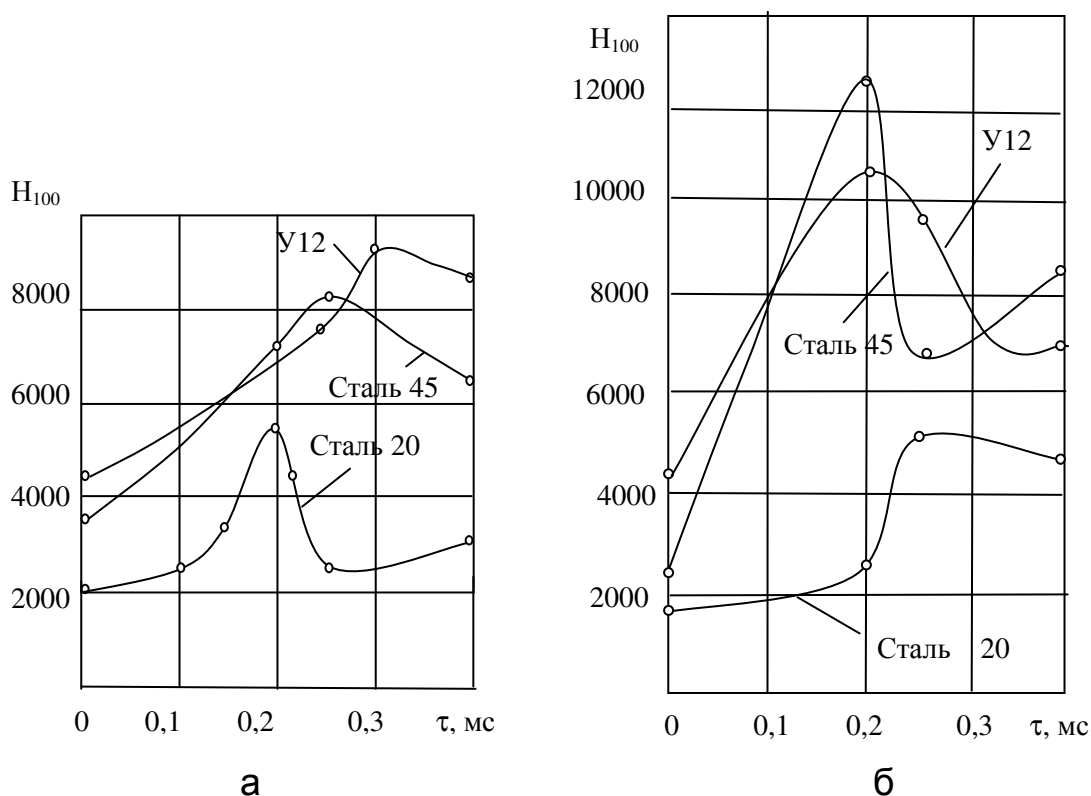


Рисунок 1 – Зависимость микротвердости углеродистых сталей от длительности импульса: а – режим 1 (предварительная термическая обработка – закалка и высокий отпуск); б – режим 2 (предварительная термическая обработка – нормализация)

Полученные данные хорошо 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. таблицу).

С увеличением количества углерода микротвердость упрочненного слоя возрастает.

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 лазерной закалкой слоев сталей 45 и У12, предварительно обработанных по режиму 2, значительно выше, чем на образцах, подвергнутых улучшению (режим 1).

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

Марка стали	Прирост микротвёрдости после лазерной закалки по сравнению с объёмной, %	
	Предварительная термическая обработка – нормализация	Предварительная термическая обработка – закалка + высокий отпуск
Сталь 20	275	275
Сталь 45	76	14
Сталь У12	15	0

Эти результаты не согласуются с результатами, полученными в работе [4], где максимальная твёрдость получена на образцах с более дисперсной исходной структурой (тронит). Вероятно, это объясняется условиями обработки, в частности кратковременностью температурного воздействия [5]. Неодимовый лазер малой мощности позволяет получать импульсы очень малой длительности с большой плотностью энергии. Размеры области облучения 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 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 поверхностного упрочнения сталей мало-мощными лазерами при использовании импульсного режима. Однако производительность такого процесса низкая, что не позволяет упрочнять большие поверхности деталей. Исходя из вышесказанного, можно пред-

положить, что наиболее перспективными направлениями будут: локальное упрочнение деталей в местах их износа с сохранением исходных свойств в остальном объёме, 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 упрочнённых слоёв.

Выводы

1. Несмотря на малую мощность используемого лазера импульсный режим всё же позволяет производить поверхностную закалку стальных изделий.

2. Существует оптимальная длительность импульса, позволяющая получать наиболее эффективное упрочнение.

3. Оптимальная длительность импульса зависит от содержания углерода в стали.

4. Лазерная закалка позволяет получать значительно более высокую твёрдость, чем объёмная, причём наибольший эффект получен на низкоуглеродистой стали.

5. Регулировать процесс упрочнения можно изменением времени воздействия или подбором исходных структур.

Список использованных источников

1. Коваленко В.С. 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. Основы лазерного термоупрочнения сплавов / А.Г. Григорьянц, А.Н.Сафонов; под ред. А.Г. Григорьянца. – М.: Высш. Шк., 1988. – 159 с.
3. Авсиевич Е. А. Лазеры в промышленной технологии / Е. А. Авсиевич - М.: Знание, 1978. – 63 с.
4. Владимиров О.В. Упрочнение рабочих поверхностей деталей и измерительного инструмента высокой точности с помощью СО₂-лазера / О.В. Владимиров. Металловедение и термическая обработка. - 1983. - №5. – С. 17-18.
5. Бураков В.А. Формирование структур повышенной износостойкости при лазерной закалке металлообрабатывающего инструмента В.А. Бураков, С.С. Федосиенко / Металловедение и термическая обработка. 1983. – №5. – С. 16-17.

Поступила в редакцию 14.08.09.

*Рецензент: д-р техн. наук, проф. М.Е. Тараненко,
Национальный аэрокосмический университет
им. Н.Е. Жуковского «ХАИ», г. Харьков*