

МАШИНОСТРОЕНИЕ. ПРИБОРОСТРОЕНИЕ. ТРАНСПОРТ КРАТКИЕ СООБЩЕНИЯ

doi: 10.51639/2713-0576_2021_1_4_66

УДК 621

ГРНТИ 55.13.99

ВАК 05.02.00, 05.03.07

Лазерное поверхностное упрочнение: обзор

Глотова А. В.

*Борисоглебский филиал ФГБОУ ВО «Воронежский государственный университет»,
397160, Россия, Воронежская область, Борисоглебск, ул. Народная 43*

email: admission@bsk.vsu.ru

Лазерное поверхностное упрочнение является одним из широко используемых процессов поверхностного упрочнения, который применим практически ко всем видам металлов. Лазерный луч фокусируется в заданную область для упрочнения необходимой части материала. Температурный градиент большой высоты возникает из-за высоких скоростей преобразования тепла, что приводит к мгновенному охлаждению. Для процесса упрочнения в промышленности широко используются следующие виды лазеров: углекислотные лазеры (CO₂), твердотельный лазер (Nd:YAG) и диодные лазеры. Эта обзорная статья представляет собой краткое изложение основ лазерного упрочнения, выясняя его преимущества по сравнению с обычным методом упрочнения.

Ключевые слова: упрочнение деталей, лазерное упрочнение, поверхностный слой.

Лазер – одно из самых важных изобретений XX века. Стремительный прогресс лазерной техники в последнее десятилетие позволил выполнять различные операции, такие как термообработка, остекление, легирование и наплавка на поверхности материалов, что привело к улучшению физических свойств поверхности и повышению эксплуатационных характеристик в данной среде. Поскольку лазер является дорогостоящим прибором, его используют только в тех случаях, когда он дает некоторые технические и экономические преимущества по сравнению с обычными методами. В последнее время среди нетрадиционных методов лазерной обработки поверхности стали наиболее популярными: неодим-иттрий-алюминиево-гранатовые (Nd:YAG) твердотельные, углекислотные и диодные лазеры. Эти лазеры могут иметь импульсную или непрерывную выходную мощность.

Одной из важных областей поверхностной обработки является поверхностное упрочнение. Это широко используемый процесс при обработке поверхностей механических деталей. При обычных способах термической обработки компонент нагревают до требуемой температуры, а затем охлаждают в масле или воде для достижения желаемой твердости. Но в большинстве случаев на практике износ происходит только в отдельных областях детали; следовательно, достаточно упрочнить эти области, чтобы повысить эксплуатационные характеристики. Преимущества использования лазера для обработки поверхности обусловлены его высоконаправленной природой и способностью доставлять контролируемое количество энергии в нужные области. Расход энергии зависит от поглощающей способности материала.

Только часть лазерной энергии поглощается материалом, а остальная часть отражается от него.

Основными преимуществами лазерного поверхностного упрочнения являются:

- низкое энергопотребление по сравнению с обычными процессами термообработки поверхности;
- потребляемая энергия может регулироваться в широком диапазоне путем изменения мощности лазерного луча;
- оптическая система наведения луча от источника к поверхности заготовки может быть настроена на форму профиля закаленного слоя, то есть на точность изделия, с использованием линз и зеркал различной формы;
- заготовка не нуждается в очистке после лазерного упрочнения;
- процесс наведения луча над поверхностью заготовки может быть автоматизирован;
- термическая обработка может быть выполнена на мелких деталях;
- процесс осуществляется без оплавления поверхности – это исключает изменение шероховатости и необходимость в последующей механообработке (шлифовка, полировка и т. д.).

Недостатки лазерного поверхностного упрочнения заключаются в следующем:

- высокая стоимость оборудования;
- в некоторых случаях требуется предварительная подготовка поверхности;
- требуется защита от лазерного излучения;
- необходима высокая квалификация персонала.

Поглощение полированной металлической поверхностью сильно зависит от длины волны излучения. В случае сталей, поглощающая способность увеличивается, когда длина волны короче. Длина волны лазерного луча Nd:YAG составляет 1,064 мкм, в то время как у CO₂-лазера составляет 10,6 мкм. Таким образом, Nd:YAG-лазер, имеющий короткую длину волны, подходит для поверхностного упрочнения стали. Перед закалкой CO₂-лазером на поверхность металла необходимо нанести покраску или покрытие для увеличения скорости поглощения. Зачастую такие покрытия не экологичны. Поэтому Nd:YAG-лазер становится конкурентоспособным инструментом в области поверхностного упрочнения из-за короткой длины волны и высокой скорости поглощения материалов. А так как покрытие основного материала не требуется, то это даёт преимущество по сравнению с CO₂-лазером. Лазерная энергия, генерируемая Nd:YAG-лазером, может быть передана по волоконно-оптическому в нужную область, что невозможно с помощью CO₂-лазера.

При лазерной термообработке лазер используется в качестве источника тепла, где энергия луча применяется для упрочнения поверхности в локализованной области, а остальная часть действует как теплоотвод.

Поскольку железо обладает хорошей теплопроводностью, высокие тепловые потоки, генерируемые лазером, наиболее подходят для нагрева поверхностного слоя до температуры аустенитизации без влияния на общую температуру материала. Последующее охлаждение происходит достаточно быстро. Таким образом, можно получить высокопрочную поверхность с заданными свойствами сердцевины. При этом деталь даже можно взять руками прямо после обработки, а из этого следует, что мы можем подвергать обработке тонкостенные детали, например, резьбовые поверхности. Эффективность такого решения позволяет увеличить срок службы деталей до 30 раз, а производительность процесса достаточна для встраивания лазерного упрочнения в уже имеющиеся линии по производству труб. Толщина рабочей стенки резьб иногда была не более 0,8 мм. Причём освоено лазерное упрочнение не только стальных труб, в том числе внутренних поверхностей, но и упрочнение титановых труб.

Чаще всего лазерной обработкой упрочняют детали машин, подвергающиеся высокой нагрузке, такие как шестерни, зубья шестерен, распределительные валы, валы корпусов шестерен, гильзы цилиндров, оси, выпускные клапаны и направляющие клапаны. Многие из

перечисленного применяется в автомобилестроении. Эта отрасль была одной из первых отраслей массового производства, использующих лазеры для обработки поверхностей.

Лазерное поверхностное упрочнение – это быстрый и эффективный процесс закалки различных материалов, таких как инструментальная штамповая сталь, чугун и среднеуглеродистая сталь. Выбор технологических параметров: мощность лазера, диаметр пучка, форма пучка, скорость сканирования, условия фокусировки и среда защитного газа, а также химия материала, важны для получения желаемых параметров производительности и степени воздействия.

Развитие различных технологий упрочнения создало новые возможности для точечного формирования областей с уникальными свойствами, а также повышение качества всей детали. Из всех видов использования лазера в обработке материалов, поверхностное упрочнение является самым используемым. Он хорошо зарекомендовал себя и стал конкурентом даже для таких известных методик как пламенная (газопламенная) и индукционная закалки.

Лазерному упрочнению подвергаются стали: углеродистые, низкоуглеродистые, легированные (У8А, У10А, 45, ХВГ, 9ХС и др.), высоколегированные (Х12, ХВГ, ХШ15, Х, 5ХВ2С), низкоуглеродистые цементованные (20, 12ХНЗА), хромистые коррозионно-стойкие (4Х13), быстрорежущие (Р18, Р12, Р5, Р6М5, Р9).

Лазерную закалку как окончательный вид обработки можно применять при изготовлении инструмента и деталей технологической оснастки для упрочнения их рабочих поверхностей в случае интенсивного изнашивания или имеющих протяженную кромку.

За счет напряжений в поверхностном слое, создаваемых лазерным нагревом, возможно упрочнение однофазных и гетероструктурных материалов. Существует также ударная лазерная обработка, позволяющая упрочнять основной металл цветных сплавов и мягких сталей. При достижении оплавления поверхности диффузионные процессы определяются скоростью конвекционных процессов, которая составляет до нескольких метров в секунду. Причина — термокапиллярная диффузия из-за разницы температур поверхности и дна ванны расплава. Поэтому при достижении режимов закалки из расплава фиксируется обычно очень мелкодисперсная структура с выровненным по химическому составу поверхностным слоем, но с существенными изменениям фазового состава слоя. В результате скоростной закалки фиксируются пересыщенные твердые растворы и метастабильные фазы, которые в результате закалки из расплава существенно повышают твердость поверхностного слоя.

Использование методик лазерного упрочнения может повысить конкурентоспособность отечественных предприятий машиностроения. Конечно, это невозможно без вложения сил и времени разработчиков, металлургов, технологов, для того чтобы внедрить в производстве новые технологии.

Список литературы

1. Гончаров В. С. Методы упрочнения конструкционных материалов, Функциональные покрытия. Тольятти: Издательство ТГУ, 2017. С. 178–181.
2. Евдокимов В. Д. Технология упрочнения машиностроительных материалов. Одесса: Николаев, НГГУ, 2005. С. 201–206.
3. Лосев В. Ф. Физические основы лазерной обработки материалов. Томск: Издательство ТПУ, 2011. С. 69–73.
4. Панченко В. Я. Лазерные технологии обработки материалов: современные проблемы фундаментальных исследований и прикладных разработок. Москва: ФИЗМАТЛИТ, 2009. С. 20–21.

Laser surface hardening: A review

Glotova A. V.

*Borisoglebsk Branch of the Federal State Educational Institution of Higher Professional Education
«Voronezh State University» 397160, Russia, Voronezh Region, Borisoglebsk, Narodnaya str. 43*

The technical potential for increasing the efficiency of the use and transportation of heat energy in Russia is estimated at 840 million Gcal, or 58% of the energy consumption produced in centralized heat supply systems.

Keywords: hardening of parts, laser surface hardening, surface layer.