

ПОВЫШЕНИЕ ПРОЧНОСТИ КОНСТРУКЦИОННЫХ СТРОИТЕЛЬНЫХ СТАЛЕЙ МЕТОДОМ ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ С ПОМОЩЬЮ ЛАЗЕРА

Аметов И.Э., Какач Р.С., Куку А.А.

*Крымский инженерно-педагогический университет им. Ф. Якубова,
Симферополь, Россия*

Ключевые слова: конструкционная сталь, термическая обработка, лазер, упрочнение, дислокации, твердость.

Аннотация. Для поверхностного упрочнения конструкционных сталей различных марок проведена обработка поверхности указанных материалов лазерным излучением. Воздействие излучения привело к глубокой термической обработке поверхности сталей, следствием чего стало образование в поверхностном слое более прочной многослойной твердой фазы. Было доказано значительное повышение твердости материала и сделан вывод о перспективности данного вида обработки поверхности сталей данного вида, особенно с невысоким содержанием углерода.

INCREASING THE STRENGTH OF STRUCTURAL BUILDING STEELS BY LASER HEAT TREATMENT

Ametov I.E., Kakach R.S., Kuku A.A.

*Crimean Engineering-Pedagogical University named after F. Yakubov, Simferopol,
Russia*

Keywords: structural steel, heat treatment, laser, hardening, dislocations, hardness.

Abstract. For surface hardening of structural steels of various grades, treatment of the surface of these materials by laser radiation was carried out. Exposure to radiation led to a deep thermal treatment of the surface of the steels, which resulted in the formation of a stronger multilayer solid phase in the surface layer. It was proved a significant increase in the hardness of the material and it was concluded that this type of surface treatment is promising for this type of steels, especially with low carbon content.

Постановка проблемы. Повышение конструктивной прочности сталей различных марок может быть достигнуто различными путями, такими как, обоснованный выбор химического состава, режимов термической обработки, методов поверхностного упрочнения или улучшением металлургического качества.

Основным недостатком всех методов и способов является соответствующее повышение цены материала или изделия. Кроме того, ряд способов приводит к изменению размеров изделия и влечет за собой последующие работы по шлифовке и доводке размеров до требуемых.

Таким образом, завершающим этапом упрочнения изделий, нам представляется глубокое поверхностное упрочнение без изменения геометрических размеров образцов. В современных условиях для решения подобной задачи применяют термическую обработку поверхности металлов и сплавов лазерами или токами высокой частоты [1].

Анализ литературы. Основным следствием поверхностного упрочнения, независимо от применяемого способа воздействия на материал, является увеличение плотности дислокаций и уменьшения размеров зерен кристаллов. Данный процесс описывает так называемое уравнение Холла-Петча: $\sigma_T = \sigma_0 + k/\sqrt{d}$, где σ_0 – напряжение, необходимое для движения свободной дислокации, k – коэффициент, характеризующий прочность блокирования дислокаций, d – диаметр зерна [1].

Процессы рекристаллизации при закалке материала увеличивают торможение дислокаций путем создания так называемого дислокационного барьера. Образование подобных барьеров на определенную глубину в материале повышает долговечность, снижая усталость, износ поверхности и препятствует образованию трещин в поверхностном слое изделия.

Из литературы известно, что, применяя упрочняющую термическую обработку, исследователи получали улучшение всего комплекса механических свойств конструкционной стали [2-6]. Режим термической обработки низкоуглеродистой стали [7], как легированной, так и без добавок легирующих элементов, отличается в деталях [6], но в общем выглядит аналогично. Среднеуглеродистые конструкционные стали хуже переносят обработку такого рода, поскольку содержание углерода довольно высоко, что, при высокой прочности, сопровождается подверженности хрупкому разрушению. Для сталей с большим содержанием углерода наилучшим является поверхностное термическое улучшение [6, 7].

Для выполнения свариваемых конструкций обычно применяют стали группы В, так называемые углеродистые стали обыкновенного качества [2], которые содержат немного углерода, а также распространенные легирующие элементы. Свариваемость стали является одним из главных показателей, поскольку значительное количество строительных конструкций содержит сварные швы или сварные точки.

Рассматриваемый параметр показывает четкую обратно пропорциональную зависимость от процентного содержания углерода в материале, то есть с ростом данного показателя свариваемость ухудшается. Как следствие, высокую свариваемость показывают стали, содержащие относительно немного углерода, не более 0,25%.

Стали с большим содержанием углерода свариваются хуже с применением сварочной проволоки, содержащей мало углерода в своем составе. Сварочный нагрев является вредным фактором, уменьшающим местную прочность материала изделия. Поэтому представляется актуальной местная поверхностная термическая обработка сварочных швов, стыков или наплавов с помощью лазерной установки.

Такая обработка, проведенная после выполнения сварочных работ, способна не только устранить дефекты и трещины в материале, но и гарантировать улучшение механических и антикоррозионных свойств в области упрочнения.

Цель проведенной нами работы заключается в упрочнении поверхности конструкционной стали различных марок. По нашему предположению, такая цель может быть достигнута путем глубокой поверхностной обработки изделия или его части с помощью лазерного излучения определенной мощности.

Изложение основного материала. Производительность лазерного упрочнения определяется по формуле: $G_{Лаз} = K_{Л} V d$, где $K_{Л}$ – коэффициент перекрытия; V – скорость движения луча (детали); d – диаметр пучка (ширина дорожки упрочнения), мм [1]. Следует отметить, что проведение поверхностной лазерной термической обработки практически не влияет на предел прочности и предел текучести стали указанного типа.

Возможно проведение процесса обработки двумя способами: перекрывающимися и неперекрывающимися зонами излучения. При наложении зон упрочнения высока вероятность частичного нагрева предыдущей зоны, который способен привести к «неправильному» нагреву и снижению прочности. Исходя из данного негативного явления нами выбран способ обработки поверхности неперекрывающимися зонами.

Для обработки поверхности использовался лазерный технологический комплекс группы FMark (далее – ЛТК "FMark"). Источником излучения является иттербиевый волоконный лазер мощностью до 50 Вт. При площади пятна 0,1 мм максимальная плотность мощности может достигать значений 50000 Вт/см².

Под воздействием монохромного лазерного излучения с длиной волны 1,06 мкм, то есть 1060 нм, при значении плотности мощности около 20000 Вт/см² происходит фазовое превращение материала после скоростного нагрева до температур выше температур фазовой перекристаллизации с последующим быстрым охлаждением обработанной зоны.

При упрочнении образуются два или три слоя упрочнения. Верхний слой более светлый, поскольку имеет высокую концентрацию азота, последующие слои постепенно переходят в основную структуру материала. В данных слоях установлено повышение плотности дислокаций. Например, в работе [3], указано, что при плотности мощности 16000 Вт/см² плотность дислокаций достигала значения 109 см⁻², а при повышении плотности до 27000 Вт/см² плотность дислокаций возрастает до тысячи единиц на 1 кв. см. При повышении плотности на порядок значения твердости поверхностного слоя возрастает на 100% или в два раза. Соответствующие значения твердости для конструкционных сталей некоторых марок приведены в таблице (табл. 1).

Табл. 1. Значения твердости конструкционных сталей некоторых марок до и после лазерного упрочнения.

Марка, стали		Ст10	Ст15	Ст20	Ст30	Ст40	Ст50
Твердость, НВ	до	140	150	160	180	220	240
	после	300	320	330	350	380	420

Выводы. Таким образом, лазерная обработка конструкционных сталей различных марок даже в один этап приводит к значительному (в два и более раз) упрочнению поверхностного слоя материала. Следует отметить, что с повышением содержания углерода степень упрочнения падает. Дальнейшие исследования предполагают вариативность значений плотности мощности и вывода зависимости для определения оптимальных режимов лазерной обработки конструкционных сталей.

Список литературы

1. Степанова Т.Ю. Технологии поверхностного упрочнения деталей машин: учебное пособие. – Иваново: Изд-во Ивановского государственного химико-технологического университета, 2009. – 64 с.
2. ГОСТ 1050-2013.Metalлопродукция из нелегированных конструкционных качественных и специальных сталей. Общие технические условия. – М.: Стандартинформ, 2014. – 36 с.
3. Пачурин Г.В. Влияние температуры на механические свойства листовых конструкционных сталей // Фундаментальные исследования. – 2014. – №1. – С. 18-23.
4. Пачурин Г.В., Власов В.А. Механические свойства листовых конструкционных сталей при температурах эксплуатации // Металловедение и термическая обработка металлов. – 2014. – № 4 (706). – С. 48-53.
5. Пачурин Г.В., Власов В.А., Чиненков С.В. Механические свойства листовых конструкционных сталей при пониженных и повышенных температурах // Упрочняющие технологии и покрытия. – 2012. – № 4. – С. 3-8.
6. Соколов Р.А., Новиков В.Ф., Ковенский И.М., Муратов К.Р., Венедиктов А.Н., Чаугарова Л.З. Влияние термической обработки на образование соединения MNS в низкоуглеродистой конструкционной стали 09Г2С // Обработка металлов (технология, оборудование, инструменты). – 2022. – Т. 24. – № 4. – С. 113-126.
7. ГОСТ 19281-73. Сталь низколегированная сортовая и фасонная. Технические условия. – Режим доступа: <https://files.stroyinf.ru/Data2/1/4293821/4293821062.htm>.

References.

1. Stepanova T.Y. Technology of surface hardening of machine parts: a training manual. – Ivanovo: Publ. house of Ivanovo State Chemical Engineering University, 2009. – 64 p.
2. GOST 1050-2013. Metal products of unalloyed structural quality and special steels. General specifications. – М.: Standardinform, 2014. – 36 p.
3. Pachurin G.V. Influence of temperature on the mechanical properties of sheet structural steels // Fundamental Research. 2014, no. 1, pp. 18-23.
4. Pachurin G.V., Vlasov V.A. Mechanical properties of sheet structural steels at operating temperatures // Metal Science and Heat Treatment of Metals. 2014, no. 4(706), pp. 48-53.
5. Pachurin G.V., Vlasov V.A., Chinenkov S.V. Mechanical properties of sheet structural steels at reduced and elevated temperatures // Reinforcing technologies and coatings. 2012, no. 4, pp. 3-8.
6. Sokolov R.A., Novikov V.F., Kovensky I.M., Muratov K.R., Venediktov A.N., Chaugarova L.Z. Effect of heat treatment on the formation of MNS compound in low

carbon structural steel 09G2S // Metal Treatment (technology, equipment, tools). 2022, vol. 24, no. 4, pp. 113-126.

7. GOST 19281-73. Low-alloyed steel sections and shapes. Technical conditions. – Access mode: <https://files.stroyinf.ru/Data2/1/4293821/4293821062.htm>.

Аметов Исмаил Энверович – кандидат химических наук, доцент кафедры электромеханики и сварки	Ametov Ismail Enverovich – candidate of chemical sciences, associate professor of the department of electromechanics and welding
Какач Руслан Серверович – магистрант	Kakach Ruslan Serverovich – master's student
Куку Айдер Арсенович – магистрант i.ametov@kipu-rc.ru	Kuku Ayder Arsenovich – master's student

Received 12.05.2023