

УДК 621.789

Д.Ю. Магин, С.В. Костромин

ИССЛЕДОВАНИЕ СТРУКТУРЫ И СВОЙСТВ ВЫСОКОПРОЧНОЙ ТЕПЛОСТОЙКОЙ СТАЛИ ПОСЛЕ ОБЪЕМНОЙ ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ И ЛАЗЕРНОГО ПОВЕРХНОСТНОГО УПРОЧНЕНИЯ

Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева

Рассмотрены структура и свойства высокопрочной теплостойкой стали 20ХЗНЗМФБА после нормализации, высокого отпуска и дополнительного лазерного упрочнения. Установлено, что лазерная закалка позволяет получить поверхностный слой толщиной 0,38 мм с микротвердостью до 7300 МПа. Предлагаемая технология может быть использована в производстве зубчатых колёс малого диаметра.

Ключевые слова: легированная сталь, цементация, лазерное упрочнение, зубчатые колеса.

Одной из главных задач современного машиностроения является повышение долговечности и надежности деталей машин. Ресурс работы многих высоконагруженных деталей в значительной степени определяется усталостной прочностью, а также способностью сопряженных пар трения сопротивляться изнашиванию. Достижения современной науки и техники позволяют решать эти проблемы путём создания материалов с заданными структурой и свойствами за счёт традиционной термообработки и новых эффективных способов упрочнения. На сегодняшний день распространенными способами упрочнения высоконагруженных деталей машин, таких как зубчатые колеса, являются [1]:

- объёмная закалка;
- закалка токами высокой частоты;
- химико-термическая обработка (цементация, нитроцементация, азотирование).

Цементацию применяют в технологии изготовления зубчатых колёс небольших размеров, при этом твёрдость поверхностного слоя должна составлять 56-60HRC, а толщина цементованного слоя – 0,1-0,15 от толщины зуба [1]. Показано [2, 3], что использование лазерного излучения для упрочнения и легирования поверхности конструкционных инструментальных сталей позволяет получить сходные толщины модифицированных слоёв при большей твёрдости. Подобная обработка обеспечивает получение заданных технических условий, но имеет ряд недостатков. Прежде всего это длительность процесса цементации, а также то, что цементованные зубчатые колеса из традиционных сталей не могут эксплуатироваться при температурах, превышающих температуру низкого отпуска [4].

В настоящее время разработаны и внедрены в промышленность технические условия ТУ 0958-011-08627614-95 «Поковки, прокат крупного сечения»; блюмы (болванки обжатые), заготовки квадратные из высокопрочной стали марки 20ХЗНЗМФБ для тяжело нагруженных улучшаемых, азотируемых, цементуемых деталей, производящихся на ОАО «НМЗ». В условиях Нижегородского машиностроительного завода сталь используется для производства зубчатых колёс, применяемых в угольных комбайнах. Традиционная технология термообработки этих изделий включает в себя нормализацию, высокий отпуск, цементацию, закалку и низкий отпуск.

В настоящей работе изучалось влияние различных режимов лазерной обработки на структуру и свойства стали 20ХЗНЗМФБА и возможность замены цементации зубчатых колёс лазерным упрочнением.

Взаимодействие лазерного излучения с материалом сопровождается нагревом поверхностных слоев и в случае необходимости – расплавлением их. При этом наблюдается слож-

ный комплекс фазовых превращений, в результате которых на поверхности изделий образуются закаленные зоны, слабо травящиеся обычными травителями.

Эффект упрочнения сталей при лазерном воздействии достигается не только мартенситным превращением, но и достижением оптимального сочетания насыщенности твердых растворов углеродом и легирующими элементами с их неоднородностью, возникающей при частичном растворении исходных карбидов, повышением плотности дефектов кристаллического строения и, в том числе, пластическими сдвигами, происходящими в условиях мощного теплового импульса.

Таким образом, воздействие лазерного излучения на материалы представляет собой уникальный способ изменения субмикроструктуры. Облученные зоны на поверхности стальных образцов имеют гетерогенное строение вследствие неравномерного распределения энергии по сечению лазерного пучка, режима облучения, химического состава и структуры исходного металла, поэтому определенный интерес представляет изучение строения обработанных слоев, поскольку указанная гетерогенность может повлиять на показатели износостойкости и прочности облученных изделий.

Малоуглеродистые легированные стали, применяемые в конструкциях, должны обеспечивать необходимые показатели прочности, пластичности, усталостной прочности, ударной вязкости и твердости по всему сечению детали.

В качестве образцов для исследования были использованы заготовки из стали 20ХЗНЗМФБА после объемной термической обработки: нормализации с высоким отпуском. Микроструктура стали - сорбит отпуска с небольшим количеством дисперсных карбидов.

Лазерное упрочнение проводилось на установке «Латус-31». Мощность излучения лазера составляла 1100 Вт, диаметр пятна – 3 мм. Варьируемый параметр в исследовании – скорость обработки. Она составила 7, 14,21, 28 мм/с.



Рис. 1. Микроструктура образца из стали 20ХЗНЗМФБА после объемной термической обработки, x500

Сталь относится к мартенситному классу, так как она содержит большее количество легирующих элементов 9% и 0,2% углерода. В присутствии никеля, даже при общем количестве легирующих элементов не более 5%, сталь 20ХЗНЗМФБА относится к мартенситному классу. С-образные кривые диаграммы изотермического превращения аустенита этой стали сдвинуты вправо, поэтому охлаждение на воздухе приводит к переохлаждению аустенита до температур мартенситного превращения. После высокого отпуска образуется сорбит отпуска

с выделением дисперсных карбидов, повышающих твёрдость и износостойкость стали. Ванадий и ниобий, содержащиеся в стали 20Х3Н3МФБА, способствуют увеличению теплоустойчивости закалённой структуры по сравнению с традиционными цементуемыми сталями. Структура стали после объёмной термообработки приведена на рис. 1.

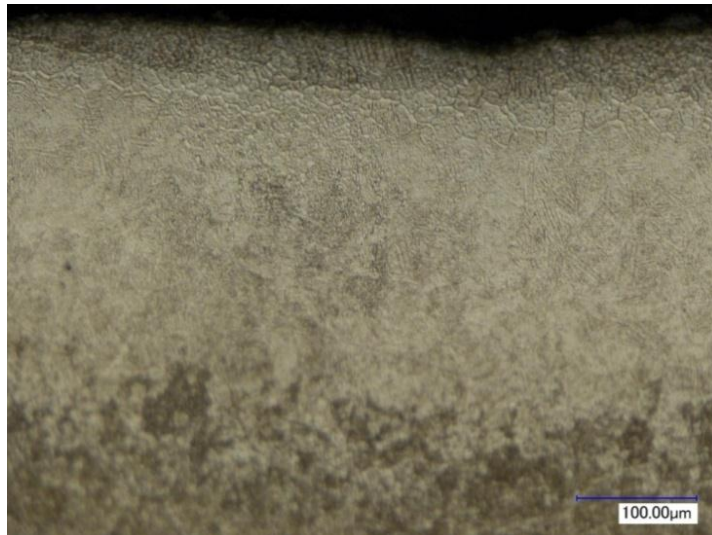


Рис. 2. Микроструктура образца из стали 20Х3Н3МФБА после лазерного упрочнения при $d = 3$ мм, $v=7$ мм/с, $P=1100$ Вт, $\times 500$

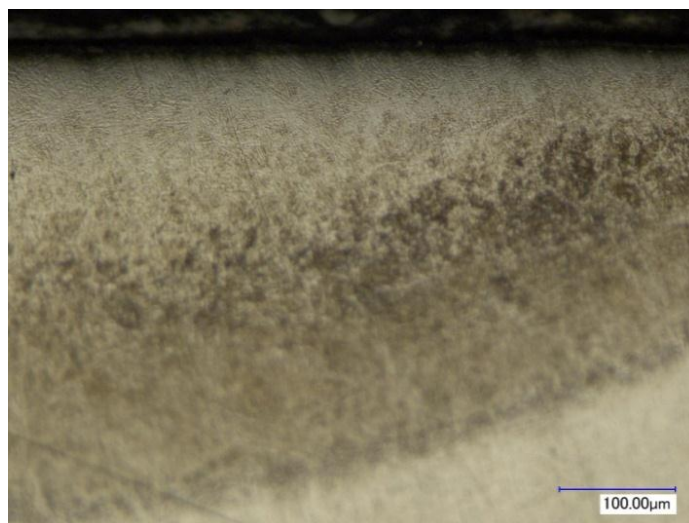


Рис. 3. Микроструктура образца из стали 20Х3Н3МФБА после лазерного упрочнения при $d=3$ мм, $v = 14$ мм/с, $P=1100$ Вт, $\times 500$

После лазерной закалки при скоростях 7, 14, 21 и 28 мм/с с выходной мощностью $P = 1100$ Вт и диаметром луча 3 мм образцы стали 20Х3Н3МФБА имеют несколько зон лазерного воздействия, микроструктура и микротвёрдость каждой из которых в различной степени отличается от исходной.

На поверхности расположена зона закалки из жидкой фазы, имеющая ярко выраженное дендритное строение; дендриты растут в направлении, обратном отводу тепла. Структура этой зоны представляет собой мартенсит. Ниже лежит зона закалки из твердой фазы, имеющая неоднородное строение. Непосредственно у зоны оплавления структура состоит из

мартенсита, а нижняя часть зоны имеет структуру мартенсит + тростит. Это связано с неоднородностью аустенита, полученного на этапе лазерного нагрева, в результате чего концентрация углерода в объеме аустенитного зерна становится неодинаковой. Переходная зона, представляющая собой в обычных среднеуглеродистых сталях спектр структур отпуска, не выявляется по причине того, что сталь 20Х3Н3МФБА является теплостойкой.

Микроструктуры всех четырех режимов лазерного упрочнения представлены на рис. 2 – рис. 5.

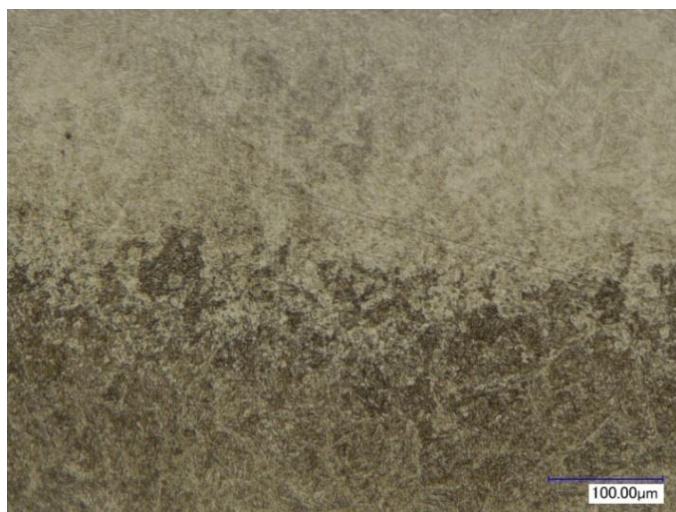


Рис. 4. Микроструктура образца из стали 20Х3Н3МФБА после лазерного упрочнения при $d = 3$ мм, $v = 21$ мм/с, $P=1100$ Вт, $\times 500$

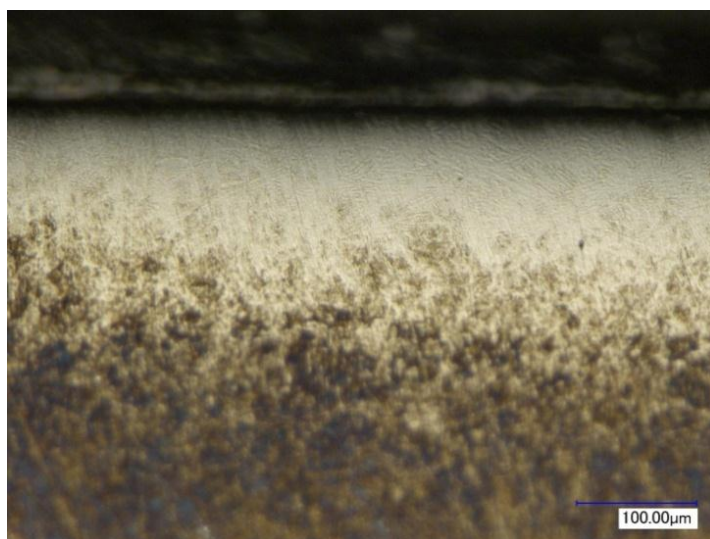


Рис. 5. Микроструктура образца из стали 20Х3Н3МФБА после лазерного упрочнения при $d=3$ мм, $v = 28$ мм/с, $P=1100$ Вт, $\times 500$

Микротвердость зон лазерного воздействия колеблется от 3970 до 7333 МПа, достигая максимума на поверхности упрочненного слоя.

Глубина упрочнения зависит от скорости перемещения лазерного луча и составляет 0,26, 0,30, 0,34 и 0,38 мм для скоростей 28, 21, 14 и 7 мм/с соответственно.

Влияние режимов лазерной обработки на микротвердость и глубину упрочненного слоя стали 20Х3Н3МФБА показано на рис. 6.

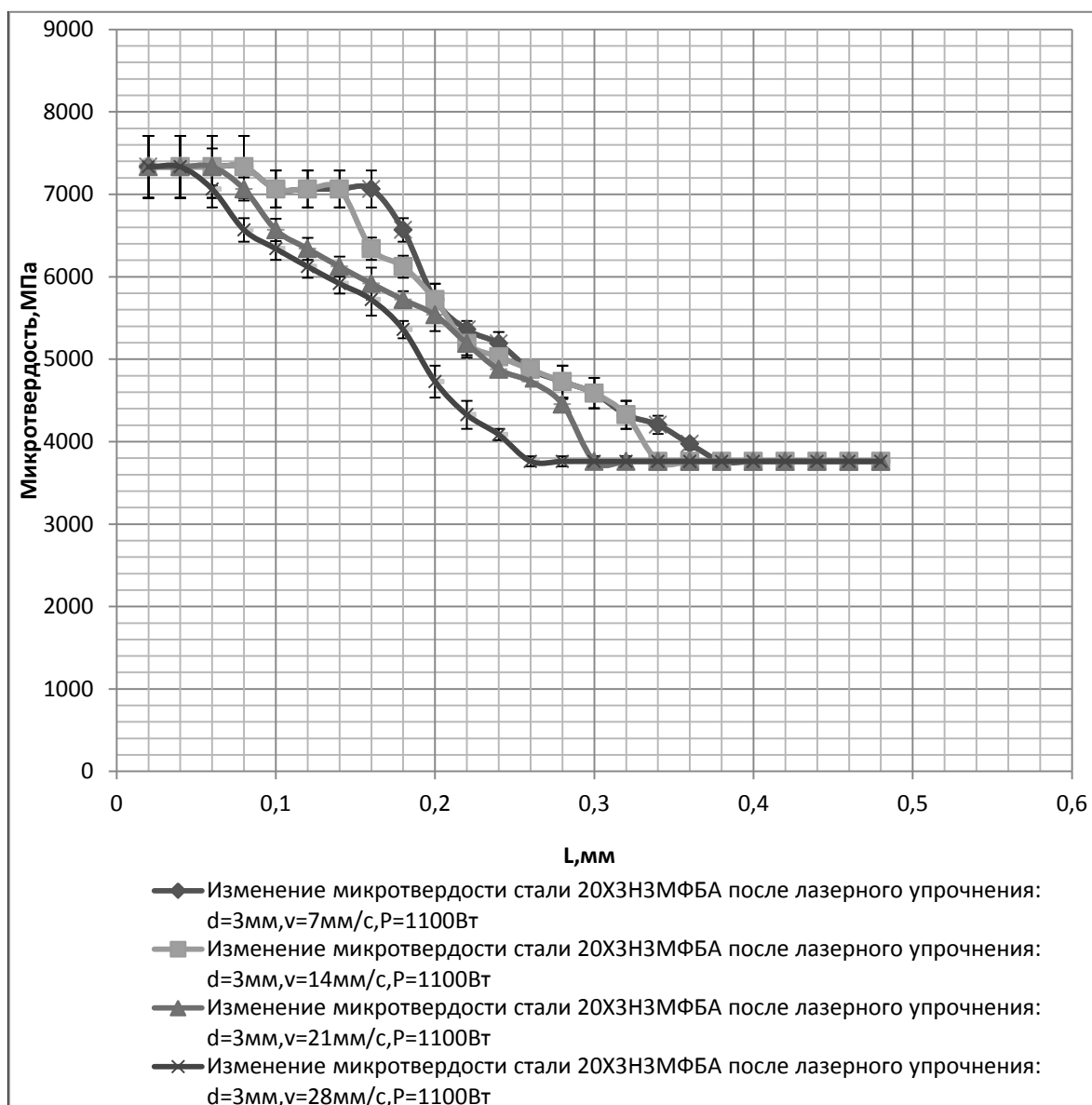


Рис. 6. Влияние режимов лазерной обработки на микротвердость и глубину упрочненного слоя стали 20Х3Н3МФБА

Выводы

1. Лазерная закалка стали 20Х3Н3МФБА приводит к образованию упрочненного слоя, микротвердость которого превышает твердость стали после объемной термообработки.
2. Структура зон лазерного воздействия представляет собой мартенсит или мартенсит с трооститом.
3. При одинаковой мощности глубина зоны лазерного воздействия тем больше, чем меньше скорость обработки.
4. Оптимальный режим лазерного упрочнения достигается при $d = 3$ мм, $v = 7$ мм/с, $P = 1100$ Вт, что позволяет получить на образцах из стали 20Х3Н3МФБА упрочненный слой с микротвердостью до 7333 МПа максимальной глубины (0,38 мм) с более равномерным распределением твёрдости по глубине ванны по сравнению с другими режимами.
5. Предложенная технология лазерного упрочнения зубчатых колес в ряде случаев может заменить цементацию, при этом значительно сокращается продолжительность термической обработки.

Библиографический список

1. **Куклин, Н.Г.** Детали машин / Н.Г. Куклин, Г.С. Куклина, В.К. Житков. – М.: Высш. шк., 2008. – 406 с.
2. **Костромин, С.В.** Лазерное легирование среднеуглеродистой конструкционной стали с использованием нанопорошковых обмазок / С.В. Костромин, Е.С. Беляев // Автоматизация и энергосбережение машиностроительного и металлургического производств, технология и надёжность машин, приборов и оборудования: материалы 8-й Международной научно-технической конференции. – Вологда: Изд-во ВоГТУ, 2013. С. 108–112.
3. **Костромин, С.В.** Влияние исходной структуры стали на несущую способность поверхностных слоев после лазерной обработки // Современные направления теоретических и прикладных исследований '2013: сб. научных трудов SWorld: материалы Международной научно-практической конференции. Вып. 1. Т. 6. – Одесса: КУПРИЕНКО, 2013. – ЦИТ 113-0664. – С. 37–40.
4. **Пряничников, В.А.** Разработка и внедрение высокопрочной теплостойкой стали для азотируемых и цементуемых высоконагруженных деталей машин: дисс. ... канд. техн. наук. Н. Новгород, 2009. – 103 с.

*Дата поступления
в редакцию 13.10.2013*

D.U. Magin, S.V. Kostromin

**INVESTIGATION OF STRUCTURE AND PROPERTIES OF HIGH HEAT RESISTANT
STEEL AFTER HEAT TREATMENT AND LASER SURFACE HARDENING**

Nizhny Novgorod state technical university n.a. R.E. Alexeev

Purpose: The purpose of the paper is to investigate the structure and properties of high-strength heat-resistant steel after normalization, high-temperature tempering and additional laser hardening.

Design/methodology/approach: The article proposes laser processing samples in a range of guaranteed hardening at moving the beam as a varied parameter.

Findings: In the result of the research we found the use of laser hardening of gears instead of cementation.

Research limitations/implications: The size of the article doesn't allow to present detailed results of the research strength of gears, hardened by the proposed technology.

Originality/value: Results presented in this paper can be used in the manufacture of automotive parts, aircraft, machines and mechanisms.

Key words: stainless steel, carburizing, hardening of the laser, the gears.