

## **ВЛИЯНИЕ СКОРОСТИ ЛАЗЕРНОЙ ЗАКАЛКИ НА СТРУКТУРУ И СВОЙСТВА СТАЛИ 20Х3Н3МФБА**

**Магин Д.Ю., Костромин С.В.**

*Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексева (603950, Н.Новгород, ул. Минина, д.24), e-mail: [dmizy@inbox.ru](mailto:dmizy@inbox.ru)*

**В настоящей статье рассматривается зависимость структуры и свойств от скорости лазерной закалки стали 20Х3Н3МФБА после нормализации, высокого отпуска и дополнительного лазерного упрочнения. Проводится анализ этой зависимости и устанавливается оптимальный режим упрочнения, позволяющий получить наибольшую микротвердость поверхностного слоя и более высокую износостойкость стали.**

**Ключевые слова:** конструкционная сталь, структура и свойства, лазерная обработка, поверхностный слой, режимы, износостойкость.

## **EFFECT OF SPEED LASER HARDENING ON THE STRUCTURE AND PROPERTIES OF STEEL 20X3H3MΦBA**

**Magin DY, SV Kostromin**

*Nizhny Novgorod State Technical University . RE Alekseev ( 603950, Nizhny Novgorod, ul. Minin St., 24 ), e-mail: [dmizy@inbox.ru](mailto:dmizy@inbox.ru)*

**This paper examines the dependence of the structure and properties of the speed of laser hardening steel 20X3H3MΦBA after normalization, high-temperature tempering and additional laser hardening. The optimum mode of hardening, which allows to get the best micro surface hardness and higher wear resistance.**

**Keywords:** structural steel, structure, properties, laser treatment, the surface layer, modes, the wear resistance.

При современном уровне сложности и высоких предъявляемых технологических требованиях к промышленным изделиям, особое внимание уделяется их надежности и долговечности. Как известно [3], поверхностные слои деталей подвергаются наиболее интенсивным механическим, тепловым, химическим и другим воздействиям. Таким образом, основной причиной преждевременного выхода из строя деталей является разрушение и изнашивание поверхностных слоев.

В настоящее время для повышения прочностных характеристик конструкционных сталей часто используется лазерная обработка. Структура и фазовое состояние поверхностных слоев после такой обработки отвечают требованиям, предъявляемым к геометрии поверхности и физико-механическим свойствам изделия.

Перспективным направлением исследований в данной области является поиск

оптимального режима лазерной обработки детали изготовленной из определенной стали, что позволит повысить свойства поверхностного слоя деталей, а следовательно увеличить срок службы машин в которых используются эти детали.

Несмотря на большое число работ по поверхностному упрочнению указанных материалов с помощью технологических CO<sub>2</sub>-лазеров, значительная их часть лишь показывает возможность осуществления лазерной закалки и посвящена обсуждению металлофизических аспектов получаемых структур в зоне лазерного воздействия. Выбор используемых режимов обработки: мощность пучка, его поперечные размеры, скорость перемещения чаще всего не мотивируется, подбираются эмпирически и являются достаточно произвольными.

Целью настоящего исследования было изучение влияния разных скоростных режимов лазерной закалки на структуру и свойства упрочнённых слоёв. Выбор оптимального варианта лазерной обработки и обоснование полученных результатов.

В качестве объектов исследования были использованы заготовки из стали 20ХЗНЗМФА. Выбор материала был обусловлен тем, что эта сталь используется для изготовления высоконагруженной детали зубчатое колесо. В процессе эксплуатации эта деталь подвергается высоким изгибающим, крутящим и контактными нагрузкам, поэтому поверхностный слой такой детали должен обладать высокой конструктивной прочностью и износостойкостью.

Химический состав стали 20ХЗНЗМФА: С – 0,18 – 0,22; Si – 0,17 – 0,37; Mn – 0,30-0,60; Cr – 2,80 - 3,20; Ni – 2,70 – 3,30; Mo – 0,50 – 0,65 ; V – 0,10 – 0,15; Nb – 0,05 – 0,10; P – не более 0,025; S – не более 0,025; Cu - не более 0,30.

В процессе изучения лазерной закалки опытных образцов использовался CO<sub>2</sub>-лазер непрерывного излучения «Латус-31». Мощность излучения лазера составляла P=1100 Вт, диаметр пятна d=3 мм. Варьируемый параметр в исследовании – скорость обработки, которая составила V=7;14;21;28 мм/с. Объемная термообработка исследуемой стали осуществлялась в лабораторных нагревательных печах марки SNOL. Для исследования прочностных свойств закаленного металла, сформированных микроструктур, размерных параметров и геометрии зон термического влияния, использовалась стандартная аппаратура и методика измерения. Размерные параметры зон лазерной обработки и микроструктура анализировалась оптической микроскопией с помощью микроскопа KEYENCE VHX-1000 (Япония) при увеличении от 100 до 500 раз. Значение микротвердости стали измерялась при помощи микротвердомера ПМТ-3. Для получения достоверных значений показателей производили измерение на 4 образцах и в 24 точках с последующей статистической обработкой результатов

Образцы подвергались предварительной объемной термической обработке: нормализация + высокий отпуск. Термообработка проводилась с целью получения мелкого и равномерного зерна, улучшения обрабатываемости при механической обработке и получения требуемого комплекса механических свойств.

Режим нормализации стали 20Х3Н3МФБА: температура посадки  $t = 600 - 940^{\circ}\text{C}$ , температура нагрева  $t = 940^{\pm 10}$  °С, продолжительность нагрева 15 минут, время выдержки 5 минут, охлаждение – воздух.

Режим высокого отпуска стали 20Х3Н3МФБА: температура посадки  $t = 400 - 700^{\circ}\text{C}$ , температура нагрева  $t = 700^{\pm 20}$  °С, продолжительность нагрева 15 минут, время выдержки 5 минут, охлаждение – воздух.

Микроструктура стали после термообработки представляет собой сорбит отпуска с небольшим количеством дисперсных карбидов, показана на рисунке 1. Микротвердость такой структуры составляет 3970 МПа.



**Рис. 1. Микроструктура образца из стали 20Х3Н3МФБА после термической обработки, x500**

В последующем применялась лазерная закалка образцов при скоростях лазерного луча  $V=7;14;21;28$  мм/с, с выходной мощностью  $P=1100$  Вт и диаметром луча  $d=3$  мм.

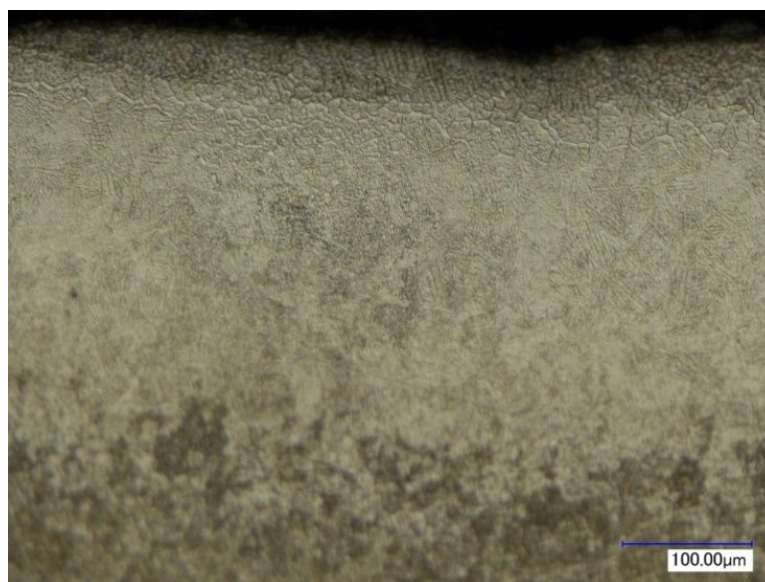
Установлено, что образцы стали 20Х3Н3МФБА имеют несколько зон лазерного воздействия, микроструктура и микротвердость каждой из которых в различной степени отличается от исходной. На поверхности расположена зона закали из жидкой фазы, структура этой зоны представляет собой мартенсит. Ниже лежит зона закали из твердой фазы, имеющая неоднородное строение. Непосредственно у зоны оплавления структура состоит из мартенсита, а нижняя часть зоны имеет структуру мартенсит + тростит.

Переходная зона – не выявляется. Далее по всему объему образца находится исходная структура - сорбит отпуска. Формирование таких структур в области лазерного воздействия обусловлено характером распределения температурных полей и различием в скорости охлаждения по глубине зоны термического влияния.

На рисунке 2 представлена микроструктура зон лазерного воздействия при обработке образца со скоростью 7 мм/с.



а)

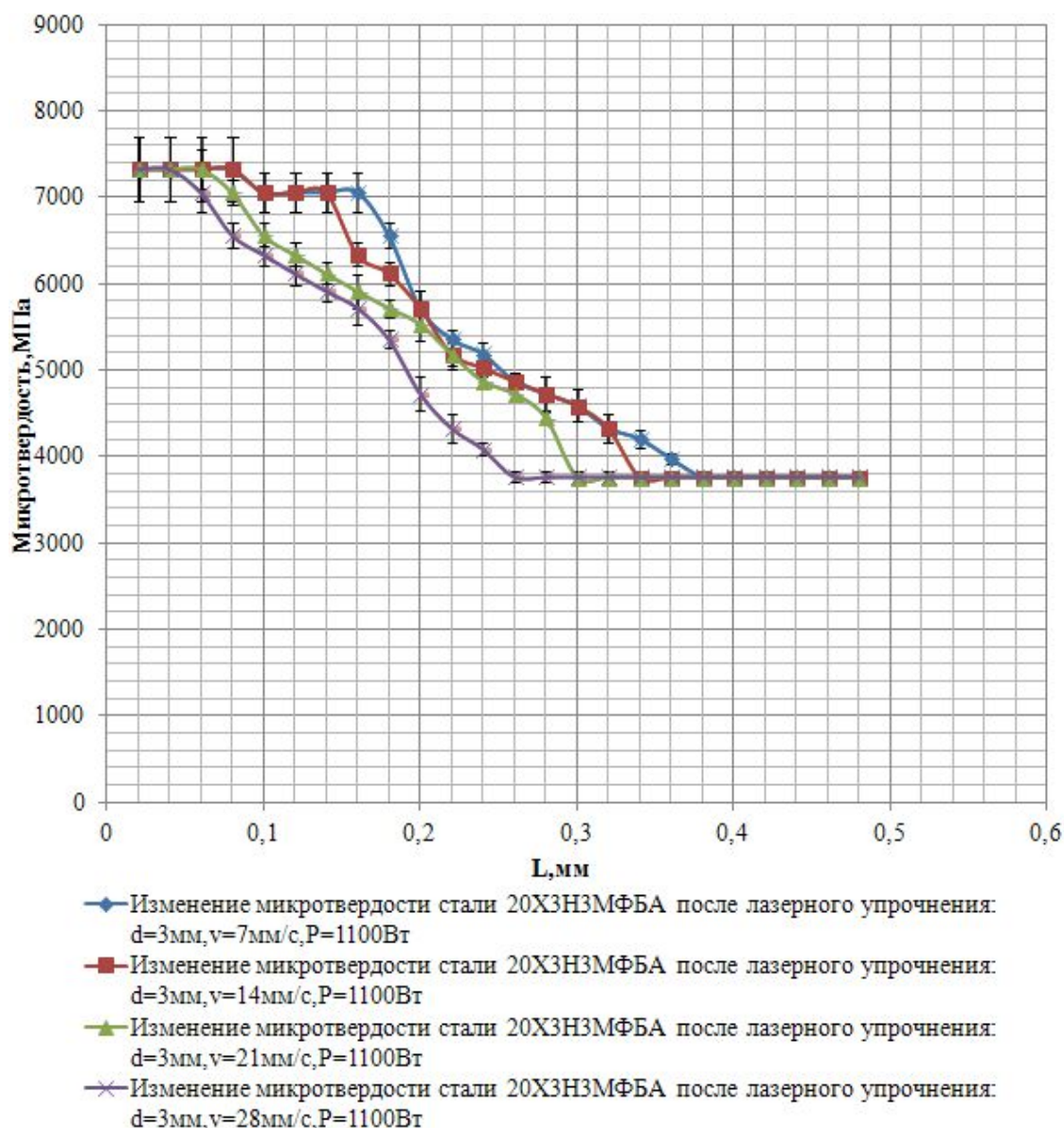


б)

**а – общий вид, x100; б – переходная зона, x500**

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

Влияние режимов лазерной обработки на микротвердость и глубину упрочненного слоя стали 20Х3Н3МФБА показано на рисунке 3.



**Рис. 3. Влияние режимов лазерной обработки на микротвердость и глубину упрочненного слоя стали 20Х3Н3МФБА**

Микротвердость зон лазерного воздействия колеблется от 3970 до 7333 МПа, достигая максимума на поверхности упрочненного слоя. Микротвердость поверхностного слоя после лазерного упрочнения в ~ 1,8 раз превышает его микротвердость после термообработки.

Глубина упрочнения зависит от скорости перемещения лазерного луча, представлена в таблице 1.

**Таблица 1 – Глубина упрочняющего слоя стали 20Х3Н3МФБА после разных скоростных режимов лазерного луча**

Скорость лазерного луча , мм/с	Глубина упрочняющего слоя, мм
7	0,38
14	0,34
21	0,30
28	0,26

Из таблицы можно сделать вывод, что чем меньше скорость лазерного луча, тем больше значение глубины поверхностного слоя. Такое соотношение объясняется тем, что уменьшение скорости обработки увеличивает энергозатраты в обрабатываемую поверхность. Известно [2], что дальнейшее увеличение энергозатраты излучения приводит к увеличению объема ванны расплава, росту геометрических размеров зон лазерного воздействия и уменьшению скорости охлаждения: как следствие, увеличиваются размеры зерна кристаллизовавшегося расплава, а микротвердость снижается.

Установлено, что оптимальным режимом лазерной обработки для образцов из стали 20Х3Н3МФБА можно считать лазерное упрочнение с параметрами:  $d=3\text{мм}$ ,  $v=7\text{мм/с}$ ,  $P=1100\text{ Вт}$ , так как он позволяет получить упрочненный слой на образцах из стали 20Х3Н3МФБА максимальной глубины (0,38мм), а также обладает малым разбросом значений и более равномерным распределением микротвердости по глубине ванны по сравнению с другим режимом.

Таким образом, в результате исследований показана зависимость структуры и свойств зон лазерного воздействия стали 20Х3Н3МФБА от скорости лазерной закалки, определены значения микротвердости упрочненного слоя, а также зависимости микротвердости от глубины. Установлен оптимальный режим лазерного упрочнения, позволяющий получить максимальную глубину и значение микротвердости поверхностного слоя с мартенситной структурой на рабочей поверхности высоконагруженных деталей машин.

#### **Библиографический список**

1. Волокушин, В.Д. Металловедение и термическая обработка: уч.-справ. пособия. / В.Д. Волокушин. – Винница:Книга-Вега, 2005. – 504 с.
2. Григорьянц А.Г., Шиганов И.Н., Мисюров А.И. Технологические процессы лазерной обработки. – М.:МГТУ им. Н.Э.Баумана. - 2008. - 664 С.



3. Детали машин /Н.Г. Куклин, Г.С. Куклина, В.К. Житков. М.: Высшая школа, 2008. 406 с.
4. Костромин С.В., Беляев Е.С. Лазерное легирование среднеуглеродистой конструкционной стали с использованием нанопорошковых обмазок // Автоматизация и энергосбережение машиностроительного и металлургического производств, технология и надёжность машин, приборов и оборудования: Материалы восьмой международной научно-технической конференции. – Вологда: Изд-во ВоГТУ, 2013. – С.108-112.
5. Костромин С.В. Влияние исходной структуры стали на несущую способность поверхностных слоев после лазерной обработки // Сборник научных трудов SWorld. Материалы международной научно-практической конференции «Современные направления теоретических и прикладных исследований '2013». – Выпуск 1. Том 6. – Одесса: КУПРИЕНКО, 2013. – ЦИТ 113-0664 – С. 37-40.
6. Магин Д.Ю., Костромин С.В. Исследование структуры и свойств конструкционной малоуглеродистой легированной стали после объемной термической обработки и лазерного поверхностного упрочнения // Сборник научных трудов по материалам XII международной молодежной научно-технической конференции «Будущее технической науки» (Нижний Новгород, 24 мая, 2013 г.). – Т 1. – С. 293-294.
7. 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.
8. Энциклопедический справочник термиста-технолога: в 3 т. Т. 1 / С.Б. Масленков [и др.]; под общ. ред. С.Б. Масленкова. – М.: Наука и технологии, 2003. – 392с.