

СТРУКТУРА И СВОЙСТВА СТАЛИ 30ХГСА ПОСЛЕ ЛАЗЕРНО-ПЛАЗМЕННОГО АЗОТИРОВАНИЯ И НАНОСТРУКТУРИРОВАНИЯ

Павлов М.Д.¹, Чердынцев В.В.¹, Степашкин А.А.¹, Данилов В.Д.¹

¹НИТУ «МИСиС», Москва, Россия (119991, г. Москва, Ленинский проспект, 4), e-mail: mkpavlov@gmail.com

Для повышения качества поверхности и надежности стальных изделий предложен метод обработки поверхности с использованием локальных концентрированных потоков энергии, таких как электронно-лучевые и лазерные. Приведены сведения о возможности применения лазерно-плазменного азотирования для изменения свойств и структуры поверхностных слоев стальных изделий для уменьшения механического изнашивания рабочих поверхностей. Была поставлена задача изучить влияние лазерно-плазменной обработки на структуру и твердость поверхностного слоя стали. Основной принцип такой обработки заключается в насыщении расплавленного металла азотом из приповерхностной лазерной плазмы. При кристаллизации расплава происходит образование мелкодисперсных нитридов, которые измельчают и упрочняют структуру материала. Проведен анализ изменений в структуре поверхностных слоев на примере стали 30ХГСА с использованием оптической и электронной микроскопии.

Ключевые слова: лазерно-плазменная обработка, азотирование, микроструктура, микротвердость.

STRUCTURE AND PROPERTIES OF STEEL 30XGSA AFTER LASER-PLASMA NITRIDING AND NANOSTRUCTURING

Pavlov M.D.¹, Cherdyntsev V.V.¹, Stepashkin A.A.¹, Danilov V.D.¹

¹National University of Science and Technology "MISIS" (119049, Moscow, Leninskiy prospect, 4), e-mail: mkpavlov@gmail.com

To improve quality and reliability of steel products surfaces the method of surface treatment using the concentrated streams local energy such as electron-beam and laser was proposed. The information about the possibility of using a laser-plasma nitriding to change the properties and structure of the surface layers of steel products was provide in order to reduce mechanical wear of working surfaces. The task was to study the effect of laser-plasma treatment on the structure and hardness of the surface layer of steel. The basic principle of this treatment is the saturation the molten metal surface with nitrogen from laser plasma. During molten metal crystallization occurs the formation of fine nitrides which crushed and the reinforcing microstructure of material. The analysis of changes in the surface layers structure example steel 30XGSA was done using optical and electron microscopy.

Keywords: laser-plasma treatment, nitriding, microstructure, microhardness.

Введение

Как показывает практический опыт, разрушение многих деталей машин и механизмов в процессе эксплуатации практически начинается с поверхности [5]. Ресурс работы, надежность в эксплуатации, конструктивная прочность, технико-экономические показатели работы деталей машин и механизмов во многом определяются механическими свойствами сталей и сплавов, из которых они изготавливаются. Поэтому улучшение качества поверхности деталей машин и механизмов повышает ресурс работы, особенно если он определяется механическими и триботехническими свойствами поверхности. Упрочнение деталей машин обеспечивает экономию высококачественного металла, топлива, энергетических и трудовых ресурсов, а также рациональное использование природных ресурсов и охрану окружающей среды [1].

Управлять свойствами поверхности и ее структурой можно с использованием локальных методов термической и микрометаллургической обработки поверхности концентрированными и высококонцентрированными потоками энергии: газопламенными, светолучевыми, электродуговыми, микроплазменными, плазменными, электроискровыми, ультразвуковыми, лазерными, электронно-лучевыми, индукционными и т.д. [4].

Если при обработке поверхности локальными потоками энергии требуется сохранение геометрических размеров обрабатываемых высокоточных деталей узлов в поле допуска, то, как показывает практика, предпочтительнее применять для обработки высококонцентрированные источники энергии – электронно-лучевые и лазерные, так как именно они обеспечивают минимальные тепловложения в обрабатываемую деталь в сочетании с высокой концентрацией энергии, точностью её дозирования и высокой производительностью процессов обработки [2; 6].

Самый простой способ повысить твердость и износостойкость поверхности - это химико-термическая обработка. Но существующие в настоящее время традиционные технологии химико-термической обработки, такие как цементация, азотирование, нитроцементация, борирование, имеют ряд существенных технико-экономических недостатков. Эти методы имеют значительную длительность технологического цикла, которая достигает нескольких десятков часов, высокие энергетические затраты, значительные издержки на расходные материалы, низкую экологичность технологического процесса.

Технологии лазерно-плазменной химико-термической обработки позволяют в значительной мере устранить недостатки, присущие традиционной химико-термической обработке, и получить новые качества: снизить себестоимость выпускаемой продукции, сократить длительность технологического цикла, снизить энергозатраты, при этом обеспечивая высокую степень экологической безопасности. Также лазерно-плазменная обработка позволяет производить микро- и субмикроструктурирование поверхностного слоя за счет образования в поверхностном слое нитридов, что позволяет устранить вредную технологическую наследственность и повысить в поверхностном слое. При такой обработке происходит оплавление поверхности изделия и насыщение расплава азотом из лазерной плазмы. При кристаллизации происходит образование нитридов и карбонитридов, которые одновременно являются новыми центрами кристаллизации и упрочняющими частицами. На поверхности формируется насыщенный азотом слой с мелкодисперсной структурой, упрочненной нитридами и карбонитридами. В результате такой обработки, так же как при обычной лазерной закалке поверхности, улучшаются геометрические характеристики шероховатости поверхности, повышается микротвердость поверхности, уменьшается

коэффициент трения [7-10] и увеличивается коррозионная стойкость. Конечная цель этого метода - повышение надежности и долговечности узлов трения и механизмов.

Высокую технико-экономическую эффективность применения лазерно-плазменной технологии наноструктурирования для улучшения механических свойств поверхности рассмотрим на примере упрочнения при насыщении азотом из лазерной плазмы поверхности стали 30ХГСА.

Методика

Экспериментальные образцы из стали 30ХГСА подвергались лазерно-плазменному насыщению азотом поверхностного слоя в атмосфере смеси $Ar+N_2+CH_4+H_2$ с использованием лазера TruDisk1000. Данные компоненты целесообразно применять ввиду их доступности, легкой транспортировки в зону обработки, возможности управления процентным соотношением химических компонентов в широком диапазоне. Размеры молекул базовых компонентов соизмеримы с размерами кристаллической решетки обрабатываемого материала, что является необходимым условием выбора компонента для поверхностного насыщения наночастицами в качестве модификатора. После проводились исследования микроструктуры, толщины модифицированного слоя и микротвердости.

В таблице 1 представлены результаты химического анализа стали 30ХГСА, из которого были изготовлены экспериментальные образцы. Состав стали соответствует нормативным документам.

Таблица 1 - Химический состав стали 30ХГСА

Содержание легирующих элементов, массовые проценты %							
C	Si	Mn	Cr	Ni	Cu	S	P
0,296	1,109	0,974	1,056	0,128	0,191	0,0074	0,0084

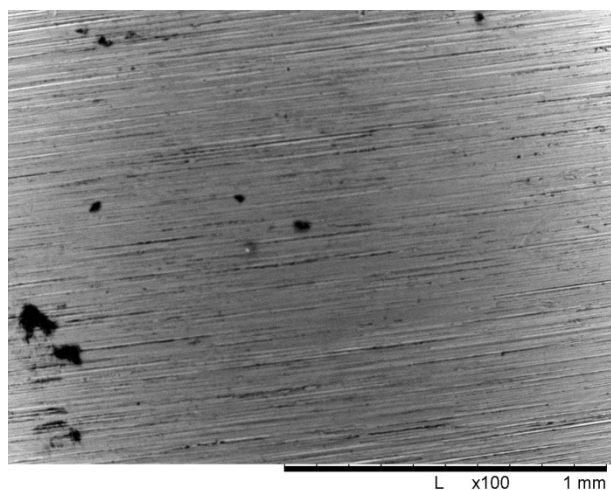
Исследование микроструктуры и толщины модифицированного слоя проводились на оптическом микроскопе и на электронном сканирующем микроскопе. Перед съемкой изображений микроструктуры образцы полировались, их поверхность протравливалась 5%-ным спиртовым (C_2H_5OH) раствором азотной кислоты (HNO_3) для выявления структуры. После проводилась съемка изображений микроструктуры и модифицированного слоя при различных увеличениях, расчет толщины зоны термического влияния и толщины модифицированного слоя.

Результаты исследований

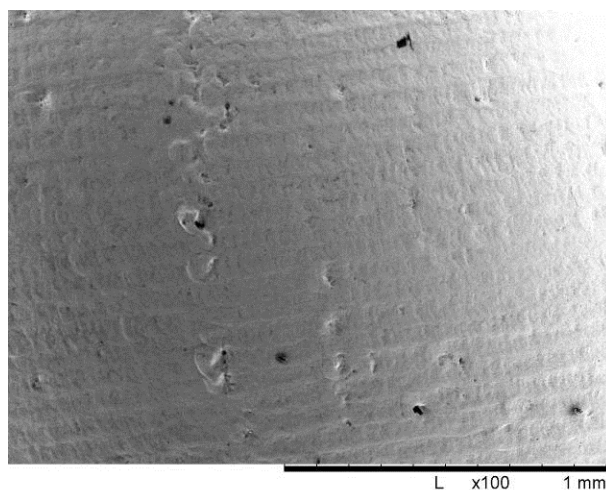
На рисунке 1а представлена поверхность после чистовой механической обработки перед проведением лазерно-плазменной обработки. На рисунках 1б, 2а и 2б представлены характерные фотографии структуры и поверхности образцов. В процессе обработки

происходит плавление металла на поверхности, что хорошо видно на рисунке 1б. На поверхности после оплавления присутствует волнообразный рельеф, сформированный лучом лазера, и отсутствуют царапины. Также рельеф хорошо виден на фотографии 2б.

Структура стали 30ХГСА феррито-перлитная. В поверхностном слое, который подвергся лазерно-плазменному азотированию, зона термического влияния составляет порядка 30-40 мкм (рис. 2а и 2б).



а

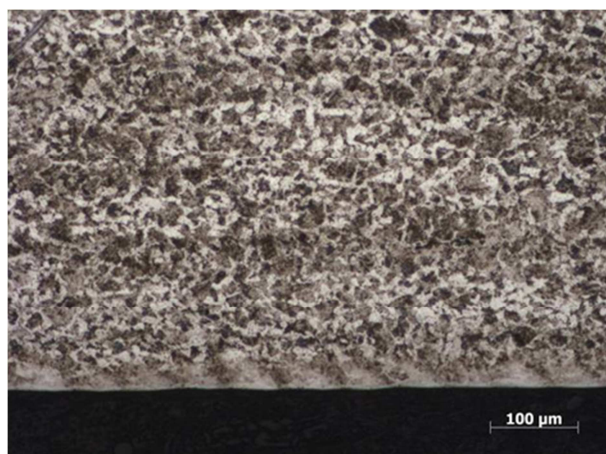


б

Рисунок 1 – Структура поверхности образцов: (а) – исходная поверхность после чистовой механической обработки, (б) – поверхность после лазерно-плазменного азотирования поверхностного слоя



а



б

Рисунок 2 – Характерный вид поперечных шлифов после лазерно-плазменной обработки (а, б)

На фотографии, полученной в сканирующем электронном микроскопе (рис. 3), видно, что зоне термического влияния произошло измельчение зерна и структура стала перлитной, а

именно прослойки цементита тоньше и меньше, чем в исходной структуре, карбиды выделились равномерно по всему объему (рис. 3.2). Предположительно это тростит закалки. Это также можно определить по твердости, а именно твердость этого слоя не превышает 380 HV. На рисунке 4 представлена структура зоны термического влияния при большем увеличении.

На фотографиях микроструктуры, полученных при съемке поперечных шлифов, видно, что на поверхности образцов образовался тонкий белый слой толщиной в 3-5 мкм, насыщенный азотом. При лазерно-плазменной обработке происходит оплавление поверхностного слоя, и азот после диссоциации и образования приповерхностной плазмы растворяется в жидком железе. Этот тонкий слой (рис. 3.1), насыщен азотом и имеет структуру мартенсита [3]. На рисунке 4 представлена структура этого слоя при большем увеличении.

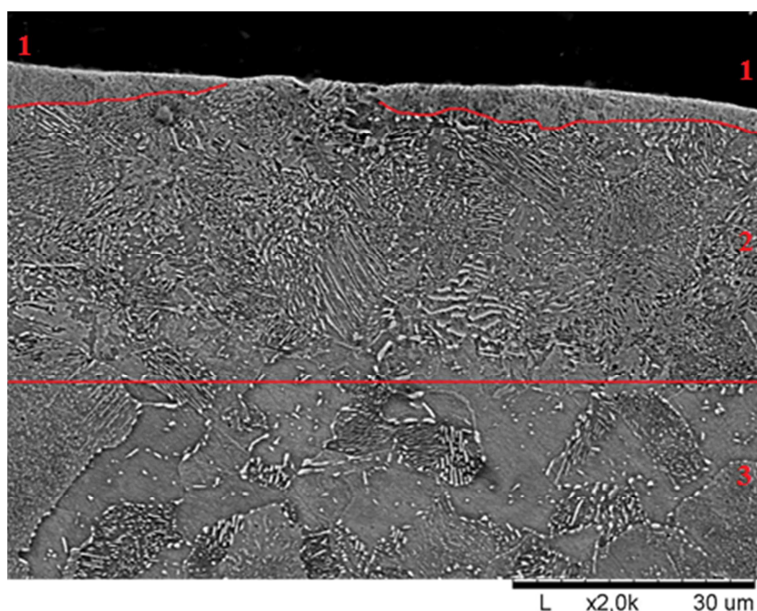


Рисунок 3 – Структура поверхности стали 30ХГСА после лазерно-плазменного азотирования: 1 – азотированный слой; 2 – зона термического влияния; 3 – исходная структура

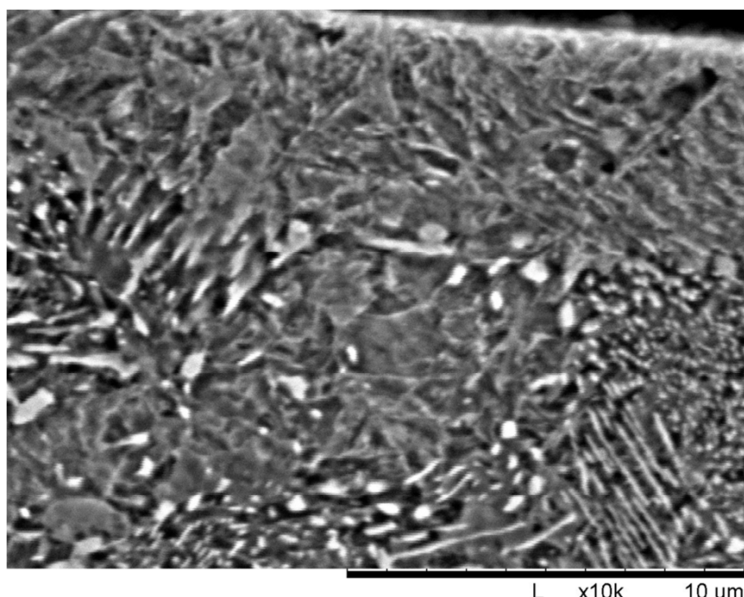


Рисунок 4 – Структура азотированного слоя стали 30ХГСА

Определение твердости и микротвердости поверхностного слоя проводилось с использованием микротвердомера HVS-1000. Повышение твердости сопровождается повышением износостойкости, что в свою очередь должно увеличить долговечность изделия. На рисунке 5 представлено изменение микротвердости по толщине образца. По твердости можно выделить три характерные зоны, а именно азотированный слой, зона термического влияния и основа.

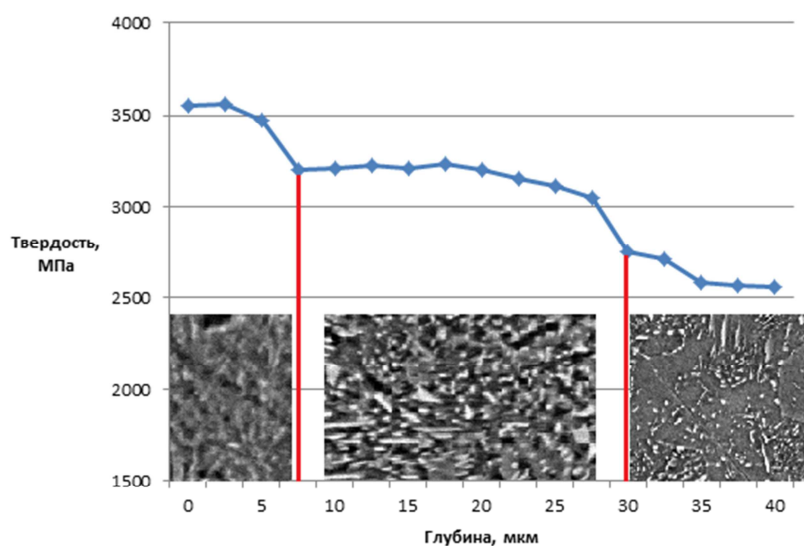


Рисунок 5 - Распределение микротвердости от края вглубь образца

По результатам определения микротвердости поверхности после лазерно-плазменной обработки установлено, что полученные значения превышают твердость основы образца в

1,5 раза.

Выводы

Таким образом, проведенные исследования поверхностных слоев, сформированных с использованием лазерно-плазменной обработки на стали 30ХГСА с исходной феррито-перлитной структурой, позволяют сделать вывод, что в поверхностном слое толщиной в 3-5 мкм формируется микро- и субмикроструктурная структура, представляющая собой мартенсит, и происходят образования неметаллических включений - нитридов и карбидов, которые позволяют упрочнить поверхностный слой. Такая обработка позволяет в тонком поверхностном слое значительно повысить микротвердость, что в свою очередь положительно повлияет на износостойкость. Также меняется структура зоны, подверженной тепловому влиянию при лазерной обработке. В этой зоне сформировалась структура тростита закалки и повысилась твердость.

Работа выполнена в рамках федеральной целевой программы «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технического комплекса России на 2007-2013 годы», ГК 14.513.11.0035 от 20.03.2013.

Список литературы

1. Геллер Ю.А. Инструментальные стали. – М. : Металлургия, 1975. – 584 с.
2. Кайдалов А.А. Электронно-лучевая сварка и смежные технологии. – Киев : Экотехнология, 2004. - 155 с.
3. Лахтин Ю.М., Коган Я.Д. Азотирование стали. – М. : Машиностроение, 1976. – 256 с.
4. Полевой С.Н., Евдокимов В.Д. Упрочнение машиностроительных материалов. – М. : Машиностроение, 1994. - 496 с.
5. Суслов А.Г., Дальский А.М. Научные основы технологии машиностроения. – М. : Машиностроение, 2002. – 684 с.
6. Спиридонов Н.В., Кобяков О.С., Куприянов И.Л. Плазменные и лазерные методы упрочнения деталей машин / под ред. Чанина В.Н. – Минск : Выш. шк., 1988. - 155 с.
7. Heitkemper M., Fischer A., Bohne Ch., Pyzalla A., Wear mechanisms of laser hardened martensitic high-nitrogen-steels under sliding wear // Wear 250 (2001) 477–484.
8. Sridhar K., Katkar V.A., Singh P.K., Haake J.M. Dry sliding friction wear behaviour of high power diode laser hardened steels and cast iron // Surf. Eng. 23 (2007) 129–141.
9. Shariff S.M., Pal T.K., Padmanabham G., Joshi S.V. Sliding wear behaviour of laser surface modified pearlitic rail steel // Surf. Eng. 26 (2010) 199–208.

10. Safonov A.N., Aleksenko S.I. Effect of laser treatment on the wear resistance of Steels // Metal Sci. Heat Treat. 40 (1998) 399–401.

Рецензенты:

Калошкин С.Д., д.ф-м.н., профессор, директор Института новых материалов и нанотехнологий НИТУ «МИСиС», г. Москва.

Астахов М.В., д.х.н., профессор, заведующий кафедрой физической химии НИТУ «МИСиС», г. Москва.