

УДК 621.78

Структура и микротвердость поверхности нержавеющей хромоникелевой стали 12Х18Н10Т после лазерной модификации

В.И. Проскуряков¹, Н.А. Махов¹, И.В. Родионов¹

Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А., 410054, Саратов, РФ

Аннотация

В работе исследовано изменение микротвердости и структуры поверхностного слоя нержавеющей стали 12Х18Н10Т в результате импульсного лазерного воздействия. Рассмотрено влияние предварительной подготовки поверхности стали на изменение её характеристик. Установлено, что в результате лазерной обработки, помимо формирования высокотвердого поверхностного слоя с величиной $H=12.58\pm 0.1$ ГПа, образуется зона термического упрочнения, значение микротвердости в которой выше микротвердости металлической основы.

Ключевые слова:

Нержавеющая хромоникелевая сталь 12Х18Н10Т, лазерное упрочнение, структура поверхностного слоя, микротвердость.

Введение

Нержавеющая хромоникелевая сталь аустенитного класса 12Х18Н10Т за счет своей повышенной коррозионной стойкости и доступности нашла широкое применение во многих отраслях промышленности: машиностроительной, авиастроительной, химической, в атомной энергетике и медицинской технике [1,2]. Из данной марки стали изготавливают детали узлов трения, изделия работающие в условиях воздействия агрессивных сред, а также сварные конструкции, которые в процессе эксплуатации подвергаются воздействию переменных нагрузок [3]. Для увеличения ресурса работы изделий из нержавеющей сталей требуется улучшение механических и физико-химических свойств. Зачастую для этого достаточно поверхностного упрочнения стали за счет создания специальных функциональных покрытий. Такие покрытия обеспечивают высокую долговечность и повышенную работоспособность изготавливаемых деталей.

В настоящее время известен широкий спектр технологий модификации поверхности, способных обеспечить повышение долговечности изделий из нержавеющей хромоникелевых сталей за счет изменения физико-механических параметров поверхностного слоя. Поверхность нержавеющей стали модифицируют электрохимическими, газотермическими и электрофизическими методами [4-6]. Так, методом импульсного плазменного воздействия в

интервале изменений плотности энергии 8-40 Дж/см² при однократном и 20-30 Дж/см² при многократном воздействии, происходит образование твердого раствора, в котором основными становятся две фазы: аустенит – Cr_{0,19}Fe_{0,7}Ni_{0,11} и нитрид железа. В случае многократной обработки значение микротвердости увеличивается в 3 раза по сравнению с твердостью исходного состояния стали [7]. Низкотемпературная нитроцементация в порошковой среде при температурах 550-600 °С в течение 7 часов приводит к формированию покрытия TiN, толщиной 1±0.001 μm с микротвердостью до 1840 МПа [8]. Воздушно-термическое оксидирование при температурах 400, 500, 600, 700°С с выдержкой 30 min с предварительной абразивно-струйной обработкой позволяет получить оксидные покрытия толщиной 25-110 μm, значениями коррозионного потенциала E_{корр} в физиологическом растворе, находящимися в пределах от –0,35 до –0,38 В, с развитым микрорельефом поверхности, а также показателями микротвердости и адгезии, обуславливающими высокую механическую прочность покрытий [9]. Насыщение поверхности водородом при помощи электролиза повышает микротвердость нержавеющей конструкционной стали типа 12Х18Н10Т и т.д. Известно, что 60 min такой обработки приводит к образованию наводороженного слоя, толщиной 1.5 mm с микротвердостью на 75 % выше исходного показателя [10].

Также модифицировать поверхность нержавеющей хромоникелевой стали можно электрофизическими методами, например, лазерной обработкой [11,12]. Однако вопросы особенностей химико-термических механизмов упрочнения конструкционной стали 12Х18Н10Т путем импульсного лазерного воздействия на сегодняшний день до конца не изучены.

Цель работы заключалась в исследовании структурных изменений и микротвердости модифицированного лазерным излучением поверхностного слоя нержавеющей стали 12Х18Н10Т с предварительно подготовленной поверхностью.

Методика эксперимента

Обработку образцов нержавеющей хромоникелевой стали проводили при помощи автоматизированной установки для термофизической когерентной модификации поверхности LRS-50А. Исследуемые образцы представляли пластины стали марки 12Х18Н10Т, размеры которых составляли 10×10×2 mm. Поверхность образцов предварительно обрабатывали двумя способами: 1 – абразивно-струйной обработкой (ASO) при давлении воздуха 0,5-0,6 МПа частицами порошка электрокорунда дисперсностью 200-250 μm, 2 – шлифованием (G) влагостойкой наждачной бумагой зернистостью Р230. Лазерное воздействие осуществлялось при напряжении лампы накачки U 250, 300, 350, 400 и 450 V. Длительность τ импульсного воздействия составляла 1 ms. Луч фокусировался в пятно диаметром 1 mm. Сканирование поверхности осуществлялось при частоте следования импульсов излучения 10 Hz и коэффициенте перекрытия 0.25.

Структура поверхностного слоя исследовалась методом оптической микроскопии при помощи оптической системы микротвердомера ПМТ-3М. При этом анализировали участки поверхности площадью 5 mm^2 .

Микротвердость измерялась с использованием микротвердомера ПМТ-3М с индентором Виккерса при нагрузке на индентор 1.961 N (ISO 6507-1:2005). Статистическую обработку результатов исследования проводили с использованием компьютерной программы DataFit 9.

Результаты исследований и их анализ

Исследования структуры модифицированной поверхности стали при помощи оптической микроскопии показали, что помимо формирования упрочненного поверхностного слоя образуется зона термического упрочнения. На рис. 1 показаны границы слоев, образовавшихся в результате лазерной обработки.

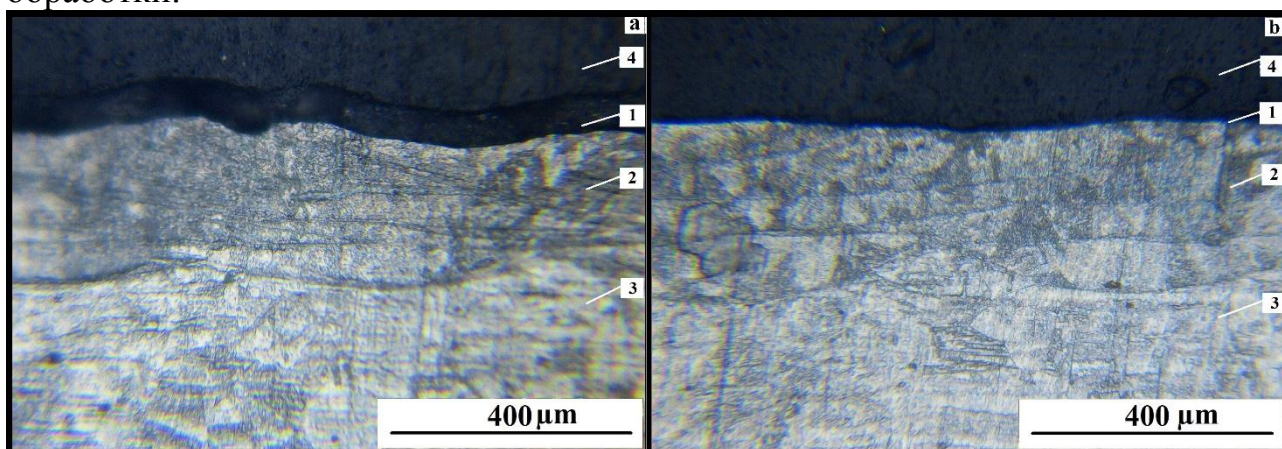


Рисунок 2 – Структура модифицированной лазерным излучением стали 12X18H10T с поверхностью, предварительно прошедшей абразивно-струйную обработку – **a**, с предварительно шлифованной поверхностью – **b**, где: 1 – полученный модифицированный слой; 2 – зона термического упрочнения; 3 – металлическая основа; 4 – эпоксидная смола (оптическое поле зрения $850 \text{ }\mu\text{m}$)

Результаты измерения микротвердости поперечных микрошлифов с предварительно ASO поверхностью нержавеющей хромоникелевой стали показали, что при заданных режимах лазерной обработки и напряжении, равном 400 V микротвердость металла в зоне термического упрочнения составляет $6.8 \pm 0.1 \text{ GPa}$. Микротвердость зоны термического упрочнения предварительно шлифованных образцов при таких же режимах работы лазера достигает $5.82 \pm 0.1 \text{ GPa}$. Следует отметить, что среднее значение микротвердости металлической основы составляет $2.4 \pm 0.1 \text{ GPa}$.

Также были проведены измерения микротвердости модифицированной поверхности, по результатам которой были построены эмпирические модели зависимости микротвердости поверхности от режимов лазерного воздействия рис. 2.

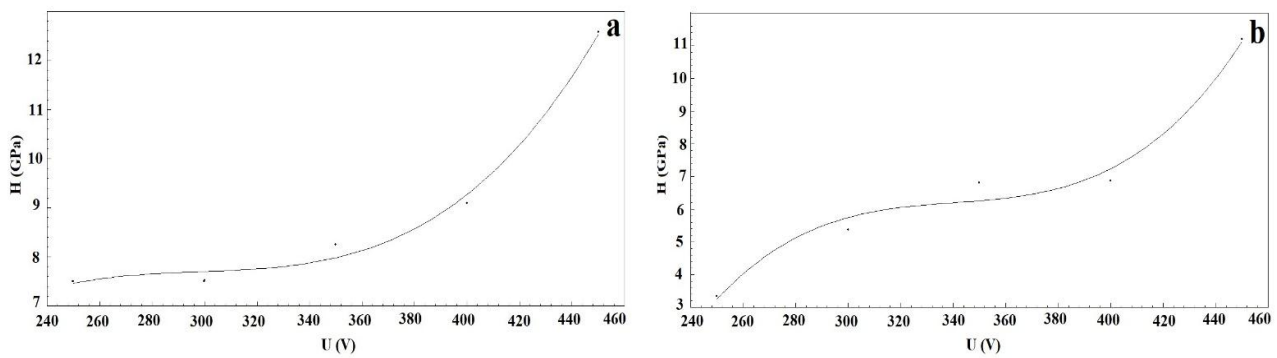


Рисунок 2 – Микротвердость (H, GPa) поверхности стали после ASO (a) и шлифования (b) и последующей лазерной обработки при заданном напряжении (U, V) и длительности импульса ($\tau=1$ ms)

На построенных эмпирических моделях рис. 2 видно, что микротвердость модифицированной лазерным излучением поверхности стали зависит в большей степени от напряжения лампы накачки. С увеличением этого параметра величина микротвердости повышается. Следует отметить, что самое низкое значение микротвердости наблюдается при минимальном значении напряжения лампы накачки $U=250$ V.

Одной из важных характеристик структуры является толщина сформированных слоев модифицированной поверхности. По результатам металлографических исследований структуры поверхности стали была составлена таблица толщины модифицированного поверхностного слоя и зоны термического упрочнения, образующихся в результате лазерной обработки табл. 1.

Таблица 1

Результаты среднестатистических значений толщины модифицированного поверхностного слоя и зоны термического упрочнения, полученных в результате лазерного упрочнения при различных режимах

Предварительная обработка поверхности	Напряжение U, V	Толщина поверхностного слоя L_1 , μm	Толщина зоны термического упрочнения L_2 , μm
Шлифование (G)	250	2	18
	300	3	23
	350	4	49
	400	7	68
	450	12	76
Абразивно-струйная обработка (ASO)	250	2	19
	300	4	37
	350	7	50
	400	11	73
	450	13	79

На основании полученных результатов измерения можно сделать вывод о том, что с увеличением напряжения лампы накачки происходит существенное увеличение толщины модифицированного поверхностного слоя, а также зоны термического упрочнения.

Исходя из вышеперечисленного отметим, что указанные режимы являются оптимальными и наиболее рациональными для формирования высокотвердого поверхностного слоя на нержавеющей стали марки 12X18H10T. При указанных режимах величина микротвердости достигает 12.58 ± 0.1 GPa для образцов с предварительной ASO, и $11,21 \pm 0.1$ GPa - для предварительно шлифованных образцов. При этом толщина модифицированного слоя не превышает 13 μm .

Исследования выполнены при финансовой поддержке Минобрнауки РФ в рамках государственного задания образовательным организациям высшего образования, подведомственным Минобрнауки РФ (проект № 11.1943.2017/4.6).

Список литературы

1. Цай К. В., Максимкин О. П., Гусев М. Н. [и др.]. Особенности формирования микроструктуры при пластической деформации в облученной нейтронами нержавеющей стали 12X18H10T //Научно-технический журнал "Вестник НЯЦ РК". 2009. вып. 4. С. 77-85.
2. Родионов И. В. Металлооксидные имплантационные системы в современной медицинской технике //Фундаментальные проблемы современного материаловедения. 2013. Т. 10. №. 1. С. 98-104.
3. Коломийцев Е. В. Коррозионно-усталостная прочность тавровых соединений стали 12X18H10T и методы ее повышения //Автоматическая сварка. 2012. №. 12. С. 41-43.
4. Родионов И. В. Костные металлоимплантаты с оксидными биосовместимыми покрытиями / Сб. трудов XV Междунар. научно-практ. конф. студентов, аспирантов и молодых ученых «Современные техника и технологии». Томск: Изд-во ТПУ, 2009. Т.1. С. 569-571.
5. Родионов И. В. Коррозионные потенциалы различных видов поверхностей стальных ортопедических остеофиксаторов в физиологическом растворе // Коррозия: материалы, защита. №11, 2009. С. 6-10.
6. Родионов И. В., Бутовский К. Г., Анников В. В., Хапрора Т. С. Поверхностно-структурные характеристики термооксидных биопокровтий остеофиксаторов из стали 12X18H9T / Сб. докладов 2-го Междунар. научно-технического симпозиума «Наноструктурные функциональные покрытия и материалы для промышленности» Харьковской нанотехнологической ассамблеи – 2007. Т.1. Наноструктурные материалы. Украина, Харьков, 2007. С. 139-145.

7. Жукешов А. М., Габдуллина А. Т., Амренова А. У. [и др.]. воздействию импульсной плазмы на поверхность нержавеющей стали //Известия НАН РК, серия физико-математическая. 2013. №. 2. С. 71-74.

8. Константинов В. М., Ткаченко Г. А., Ковальчук А. В. Повышение жесткости металлической основы систем" конструкционная сталь–нитрид титана". 2012.

9. Родионов И. В. Применение технологии воздушно-термического оксидирования для получения оксидных биосовместимых покрытий на чрескостных остеофиксаторах из нержавеющей стали //Перспективные материалы. 2012. №. 4. С. 36.

10. Курсин О. А., Егоров Н. И., Кожемякин И. Ф. [и др.]. Исследование влияния основных параметров процесса наводораживания поверхности на ее качество при финишной абразивной обработке //«Известия ВолгГТУ». 2014. С. 25-28.

11. Тарасова Т. В., Белашова И. С., Кузьмин С. Д., Казаков А. В. Лазерная термообработка коррозионностойкой стали 12X18H10T //Материалы XIX международного симпозиума «Динамические и технологические проблемы механики конструкций и сплошных сред» имени А.Г. Горшкова. 2013. С. 38-42.

12. Ким В. А., Башков О. В., Сатаева И. В. Локальное лазерное легирование нержавеющей стали 12X18H10T //Ученые записки Комсомольского-на-Амуре государственного технического университета. 2016. Т. 1. №. 2. С. 64-70.