

К ВОПРОСУ ПОВЫШЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ И ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ СВОЙСТВ НЕКОТОРЫХ КОНСТРУКЦИОННЫХ СТАЛЕЙ

Пачурин Г.В.¹, Шевченко С.М.², Горшкова Т.А.²

¹ФГБОУ ВПО Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева Нижний Новгород, Россия (603600, Н. Новгород, ГСП-41, ул. Минина, 24, НГТУ, каф. «ПБиЭ»), e-mail: PachurinGV@mail.ru, <http://www.famous-scientists.ru/1238>

²ФГБОУ ВПО Нижегородский государственный педагогический университет им. Козьмы Минина (603950, Н. Новгород, ГСП-37, ул. Ульянова, 1, НГПУ им. К. Минина, каф. «ТСuТО»), e-mail: shevchenko.sm@mail.ru

Важной задачей является повышение срока эксплуатации конструкционных материалов в зависимости от условий их работы. Решение этой задачи связано с определением метода упрочнения материала для конкретных условий эксплуатации. В работе приведены результаты исследования влияния методов поверхностной обработки конструкционных сталей на их свойства, а именно – лазерного легирования хромом на истирание углеродистой стали 45 и хромового покрытия из металлоорганического соединения на прочность и деформацию сталей аустенитного класса при повышенных температурах и низких напряжениях. Установлено, что при повышенных температурах и низких напряжениях начинает проявляться такой вид деформации как зернограничное проскальзывание, который вносит существенный вклад, как в зарождение, так и рост микротрещин. Его величина меняется в зависимости от напряжения, размера зерна и расстояния от поверхности. Максимальный эффект повышения эксплуатационных свойств аустенитных сталей наблюдается при нанесении хромового покрытия из металлоорганического соединения. Предлагаемый способ позволяет заменить дорогостоящие жаропрочные стали более дешевыми аустенитными сталями, упрочненными тонким поверхностным покрытием из металлоорганического соединения хрома.

Ключевые слова: конструкционные материалы, поверхностная обработка, лазерное легирование, хромовое покрытие, металлоорганическое соединение, эксплуатационные свойства.

GO TO IMPROVE TECHNOLOGICAL AND OPERATIONAL PROPERTIES OF SOME STRUCTURAL STEEL

Pachurin G.V.¹, Shevchenko S.M.², Gorshkova T.A.²

¹FGBOU VPO Novgorod State Technical University. RE Alekseev Nizhny Novgorod, Russia (603600, Nizhny Novgorod, GSP-41, st. Minin, 24, NSTU, dep. "PBiE"), e-mail: PachurinGV@mail.ru; <http://www.famous-scientists.ru/1238>

²FGBOU VPO Nizhny Novgorod State Pedagogical University Kozma Minin (603950, Nizhny Novgorod, GSP-37, str. Ulyanov, 1, NGPU them.Minin, dep. "TSiTO"), e-mail: shevchenko.sm@mail.ru

An important objective is to improve the life of structural materials depending on conditions of operation. The solution to this problem is related to the definition of the method of hardening material for a specific application. The paper presents the results of study of the effect of the surface processing methods for structural steels their properties and, specifically, laser alloying abrasion carbon chromium steel and a chromium coating 45 of an organometallic compound on the strength and deformation of austenitic steels at elevated temperatures and low voltages. Found that at high temperatures and low voltage begins to show this kind of deformation as grain boundary sliding, which makes a significant contribution in the birth and growth of microcracks. Its value varies depending on the voltage of the grain size and the distance from the surface. The maximum effect of increasing the performance properties of austenitic steels observed in chrome plating of the organometallic compound. The proposed method makes it possible to replace expensive heat-resistant steel cheaper austenitic steels, hardened by a thin surface coating of organometallic compounds of chromium.

Keywords: construction materials, surface treatment, laser alloying, chrome plated, metal compound, performance properties.

Введение

Материалы многих ответственных деталей машин и механизмов (клапаны двигателей, лопатки турбин, детали узлов атомных реакторов и др.) работают при повышенных

температурах, переменных или постоянных нагрузках, сложном напряженном состоянии. Важной является задача (проблема) повышения срока эксплуатации конструкционных материалов в зависимости от условий их работы [1,4].

Решение этой задачи тесно связано с определением метода упрочнения материала (легирование, термомеханическая обработка, поверхностное упрочнение и др.) для конкретных условий эксплуатации [5]. Оценка эффективности использования того или иного метода возможна на основании глубокого изучения особенностей развития процессов деформации и разрушения металла в зависимости от условий испытания [2,3].

В данной работе приведены результаты исследования влияния методов поверхностной обработки конструкционных сталей на их свойства, а именно – лазерного легирования хромом на истирание углеродистой стали 45; лазерной обработки и хромового покрытия из металлоорганического соединения (МОС) на прочность и деформацию сталей аустенитного класса при повышенных температурах ($T=700-900$ °С) и низких напряжениях ($G/E < 10^{-4}$).

Методика исследования

Лазерное легирование хромом углеродистой стали 45 осуществлялось при плотности мощности $0,24 \cdot 10^5$ Вт/см² и скорости обработки 0,4 см/с. Толщина наносимого слоя (толщина обмазки) менялась от 0,1 до 0,5 мм.

Образцы стали 45 после лазерного легирования подвергали испытанию на истирание, которое проводилось на приборе «Эхо-1». При этом исследуемый образец (индентор) внедряли при его вращательном движении в контртело, твёрдость которого ниже твёрдости индентора. По полученным на контртеле отпечаткам определяли величину износа материала.

Исследования проводились на сталях аустенитного класса: X17H2, X18H9T, X18H10, при трех режимах нанесения хромового покрытия:

I – $T_{oc}=450$ °С, $V_{oc}=0,03$ гр/мин, $t_{oc}=1ч15$ мин;

II – $T_{oc}=450-495$ °С, $P_{реакт}= 0,3$ мм рт. ст., $V_{oc}=0,002$ гр/мин при одновременной подаче катализатора (йода) и ингибитора (N_0);

III – $T_{oc}=450-495$ °С, $P_{oc}=0,3$ мм рт.ст., $V_{oc}=0,002$ гр/мин, $t_{oc}=2ч50$ мин, $\xi=1500$ в/см при подаче потенциала и катализатора – йода (V_{oc} – скорость осаждения, t_{oc} – время осаждения, P – давление).

Температура испытания (850–950 °С) не превышала температуру рекристаллизации пиролитических хромовых покрытий. Толщина покрытия варьировалась в пределах 10–40 мкм.

Результаты исследования и их обсуждение

Анализ результатов рентгеноструктурного анализа показал, что на поверхности ванны образовалась α -фаза-твёрдый раствор замещения и Cr_2O_3 -результат окисления хрома на воздухе. В самой же ванне обнаружены α -фаза, Cr_7C_3 , $\text{Cr}_3\text{C}_2, \text{Cr}_2\text{O}_3$. Образовавшаяся структура представляет собой легированный мартенсит, зёрна имеют разную форму и размеры: от мелких полиэдрических до крупных вытянутых.

На рис. 1 представлены полученные в работе результаты изменения микротвёрдости после лазерного легирования хромом углеродистой стали 45 в зависимости от толщины наносимого слоя (толщины обмазки). Как следует из приведенных на рисунке данных, максимальное значение твёрдости наблюдается при толщине обмазки 0,12 мм, глубина легирования при этом составляет -0,55 мм.

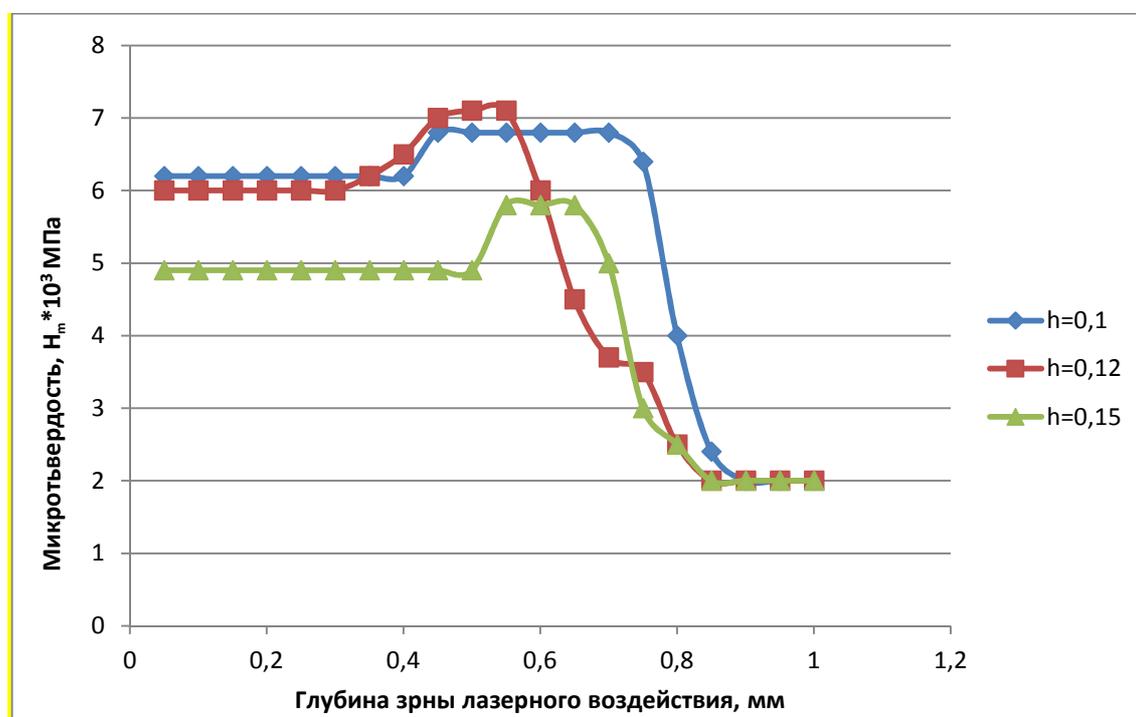


Рис. 1. Изменение микротвёрдости после лазерного легирования хромом углеродистой стали 45 в зависимости от толщины наносимого слоя (толщины обмазки)

Испытания на истирание показали, что лазерное легирование хромом позволяет повысить сопротивление износу конструкционной стали на 30 %.

При повышенных температурах ($T > 0,5T_{пл}$) и низких напряжениях начинает проявляться такой вид деформации как зернограничное проскальзывание (ЗГП), который вносит существенный вклад, как в зарождение, так и рост микротрещин. Величина ЗГП меняется в зависимости от напряжения, размера зерна, расстояния от поверхности [7]. Формирование межкристаллитных трещин в этих условиях начинается с поверхности металла в местах с некоторой критической величиной ЗГП. В связи с этим следует ожидать,

что наибольший эффект при повышенных температурах и низких напряжениях работы материала будут давать методы поверхностного упрочнения, в частности, указанные выше.

В зависимости от режима нанесения покрытия формировалась структура с конкретными морфологическими особенностями: I – полосчатая структура, II – столбчатая, III – слоисто-столбчатая с ярко выраженной слоистостью, и различными свойствами, в частности, микротвердостью (табл.1).

Таблица 1. Изменения параметров микротвердости покрытий в зависимости от режима их нанесения

Режим нанесения покрытия	Микротвердость до высокотемпературного нагрева, ГПа	Микротвердость после высокотемпературного нагрева, ГПа
I	15,0	10,0
II	7,6	5,8
III	13,0	8,0

Из анализа данных таблицы следует, что при первом режиме нанесения хромового покрытия получается наибольшее значение микротвердости. При этом режиме формируется довольно распространенная полосчатая структура покрытия. К тому же [6], этот метод наименее трудоемок, не требует введения катализатора, ингибитора, приложения потенциала, что, безусловно, свидетельствует о более целесообразном выборе его в качестве рабочего режима.

При толщине 10–15 мкм покрытие деформируется вместе с подложкой. Увеличение толщины до 30–40 мкм приводит к значительному охрупчиванию материала и, как следствие, к уменьшению жаропрочности стали. При толщине покрытия 10–15 мкм долговечность стали составляет порядка 10–11 часов, в то время как при толщине 30–40 мкм – 4 часа, а без покрытия – 1–2 часа. Таким образом, наиболее оптимальным является покрытие толщиной 10–15 мкм.

В таблице 2 приведены в качестве примера результаты изменения прочности и пластичности стали 12X18H10T в зависимости от метода поверхностного упрочнения: лазерной обработки и хромового покрытия из МОС (I-й режим).

Таблица 2. Зависимость прочности и пластичности стали 12X18H10T в зависимости от метода поверхностного упрочнения

№ партии	Состояние поверхности	Общая деформация (%)	ЗГП (%)	Время до разрушения, (час)
I	Не обработанная	36	2,5	2

II	Лазерная обработка	20	1,4	4
III	Хромовое покрытие из МОС	13	0,8	11

Из приведенных в таблице данных следует, что максимальный эффект наблюдается при нанесении хромового покрытия из МОС.

Поверхностное покрытие из МОС хрома при последующем нагреве упрочняет поверхностный слой стали за счет диффузии хрома в основной материал. Упрочнение поверхностного слоя ведет к уменьшению деформации как за счет скольжения, так и за счет ЗГП. Уменьшение скорости ЗГП приводит к замедлению процесса образования и роста трещин [7] и, в результате, к увеличению долговечности металла. При этом при нагреве до 950 °С рекристаллизационные процессы отсутствуют.

Заключение

Установлено, что максимальный эффект повышения эксплуатационных свойств исследованных сталей наблюдается при нанесении хромового покрытия из металлоорганического соединения. Предлагаемый способ позволяет заменить дорогостоящие жаропрочные стали более дешевыми аустенитными сталями, упрочненными тонким поверхностным покрытием из металлоорганического соединения хрома.

Список литературы

1. Пачурин Г.В., Шевченко С.М., Дубинский В.Н., Власов О.В. Микромеханизмы высокотемпературной усталости и ползучести металлов и сплавов: учеб. пособие / Г.В. Пачурин [и др.]. – Н. Новгород: НГТУ, 2006. – 116 с.
2. Пачурин Г.В. Повышение коррозионной долговечности и эксплуатационной надежности изделий из деформационно-упрочненных металлических материалов // Фундаментальные исследования. – 2009. – № 2. – С. 82-83.
3. Пачурин Г.В., Власов В.А. Повышение эксплуатационной долговечности металлоизделий // Современные наукоемкие технологии. – 2010. – № 1. – С. 51-52.
4. Пачурин Г.В. Циклическая долговечность листовых низкоуглеродистых сталей при пониженных и повышенных температурах // Ремонт. Восстановление. Модернизация. – 2011. – № 7. – С.18-24.
5. Пачурин Г.В., Шевченко С.М., Дубинский В.Н. Высокотемпературная усталость и ползучесть: монография. – Издатель LAP LAMBERT AcademicPublishingGmbH&Co. KG, Germany, 2012. – 131 с. (№ ISBN: 978-3-659-11863-0).

6. Шевченко С.М., Сахарова В.Н., Пачурин Г.В., Иняев В.А. Повышение жаропрочности сталей // *Фундаментальные исследования*. – 2006. – № 4. – С. 87-88.

7. Шевченко С.М., Пачурин Г.В., Сахарова В.Н. Поверхностное упрочнение сталей металлоорганическими соединениями хрома в целях повышения жаропрочности // *Упрочняющие технологии и покрытия*. – 2006. – № 7. – С. 52-53.

Рецензенты:

Михаленко М.Г., д.т.н., профессор, декан ИФХФ, Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева (НГТУ), г. Нижний Новгород.

Лоскутов А.Б., д.т.н., профессор, зав. кафедрой «Электроснабжение и электроэнергетика» (ЭСиЭ), Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева (НГТУ), г. Нижний Новгород.