

2. Кардаполова, М. А. Особенности влияния параметров лазерной обработки на физико-механические свойства покрытий из сплавов на основе железа / М. А. Кардаполова, О. Г. Девойно, О. В. Дьяченко / Машиностроение-традиции и инновации: сборник трудов Всерос. молод. конф. 30 августа-1 сентября / Юргинский техн. институт. – Томск: Изд-во Томского политех. Университета. 2011. С. 200-204

3. Голубев, В. С. Лазерная обработка материалов с изменением химического состава поверхностного слоя. / В. С. Голубев, И. И. Вегера, О. Чернашеюс, В. В. Чаевский. / Вестник БарГУ, сер. Технические науки – 2019, Т. 7. – С. 34-42.

4. Астапчик, С. А. Лазерные технологии в машиностроении и металлообработке / С. А. Астапчик, В. С. Голубев, А. Г. Маклаков. – Минск: Белорусская наука, 2008. – 252 с.

5. Голубев, В. С. Поверхностное легирование стали HARDOX 600 с использованием волоконного лазера / В. С. Голубев, И. И. Вегера, В. Е. Ходюш, О. В. Дьяченко, К. В. Протасевич / Современные методы и технологии создания и обработки материалов/ ГНУ «Физико-технический институт НАН Беларуси, Минск, 2023. – С. 72 – 84.

УДК 669.15.194.55:621.785.5

ВЫБОР КОМПОНЕНТОВ ДЛЯ ЛАЗЕРНОГО ЛЕГИРОВАНИЯ СТАЛЬНЫХ ИЗДЕЛИЙ И ИССЛЕДОВАНИЕ ИХ ВЛИЯНИЯ НА ИЗНОСОСТОЙКОСТЬ

*канд. техн. наук, доцент О. В. Дьяченко, ФММП БНТУ, г. Минск,
канд. техн. наук, доцент М. А. Кардаполова, С. М. Криуша, МСФ БНТУ, г. Минск,*

Резюме. Изучено влияние параметров лазерного легирования и легирующих компонентов на формирование поверхностного слоя стальных изделий. Обоснован выбор компонентов для лазерного легирования. Изучено влияние состава легирующих компонентов на микротвердость поверхностного слоя стальных изделий. Изучено влияние состава выбранных компонентов на трибологические характеристики поверхностного слоя.

Ключевые слова: лазерное легирование, стальные изделия, микротвердость.

Введение. Существующие в настоящее время ряд технологических методов восстановления-упрочнения изношенных деталей машин обеспечивает получение высокого уровня физико-механических и эксплуатационных свойств рабочих поверхностей. Известен способ газопламенного нанесения компонентов на основе меди, никеля и кобальта [1, 2]. Данный способ является дорогостоящим. Применение комплексного лазерного легирования стальных изделий является наиболее перспективным методом, позволяющим получить поверхности с гарантированным набором свойств [3 – 5].

Методика исследования. На образцы из сталей 30 ГОСТ 1050-88, 20 ГОСТ 1050-88, 10 ГОСТ 1050-2013 и сталь 3 ГОСТ 380-2005 диаметром 40 мм и толщиной 20 мм наносили порошковые покрытия из оксида хрома Cr_2O_3 и карбида бора B_4C в виде обмазок. Чтобы слой легирующих элементов имел нужную механическую прочность, в состав добавили 3 % раствор нитроцеллюлозного клея на ацетоне до получения пастообразной массы. Приготовленные образцы с нанесенным легирующим составом подвергли воздействию лазерного излучения непрерывного действия мощностью 800 Вт.

Плотность мощности излучения составила $1,8^9 \text{Вт/м}^2$ при скорости перемещения луча лазера относительно поверхности образцов 315 мм/мин. Толщина легированного слоя составила 100-150 мкм. Микротвердость измерили с помощью цифрового твердомера HVS-1000AT. Исследования структуры и химического состава материалов проводили с использованием металлографического комплекса ADF 1350.

Основная часть. Испытания износостойкости легированных поверхностей проводили с помощью машины торцового трения. В качестве контртела использовали трубку из твердого сплава ВК 6. Величина износа определили по глубине образовавшейся канавки с помощью профилографа-профилометра модели 252.

Целью работы является выбор компонентов для лазерного легирования, повышающих микротвердость и уменьшающих износ стальных изделий.

Использование в легирующем покрытии оксида хрома Cr_2O_3 и карбида бора B_4C обеспечивает образование в поверхностном слое после лазерной обработки легированных хромом карбидов и боридов железа [3 – 5]. Под действием высоких температур и избыточного давления лазерного излучения в зоне обработки эти соединения распадаются с образованием активных атомов бора, углерода и хрома, которые диффундируют в стальную поверхность, взаимодействуют с атомами железа и друг с другом. Карбид бора является также и активным восстановителем хрома из оксида с образованием газообразных соединений углерода с кислородом, выделение которых фиксируется в результате эксперимента и является доказательством протекания восстановительной реакции [3 – 5].

Таким образом, структура легированного слоя после обработки лазерным излучением состоит из α -твердого раствора хрома и бора в железе с включением сложных боридов типа $(\text{Cr}, \text{Fe})_2$ и (Cr, Fe) , а также вторичных карбидов типа MC . Отсюда можно сделать вывод, что введение хрома и бора необходимо в первую очередь для образования в слое легированных хромом боридов железа, а во вторую для легирования твердого раствора.

Провели испытания микротвердости и износостойкости образцов из низкоуглеродистых сталей 3, 10, 20, 30 с различным содержанием легирующих веществ – повышенным содержанием хрома 85 – 90 %, с содержанием

хрома 65 – 75 %. Количество карбида бора варьировали от 25 – 35 % и 50 – 65 %. Кроме того, в эталонный состав содержал примеси Мо – 5 %, Мп – 15 % и Si – 10 %. Результаты измерения микротвердости и износостойкости представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Микротвердость и износостойкость образцов в зависимости от количества легирующих веществ

№ состава	Состав, мас. %						Микро- твердость, ГПа	Износ, мкм	Состав
	Cr ₂ O ₃	Cr	B ₄ C	Mo	Mn	Si			
Сталь 30									
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	–	45	10	20	15	10	12,95	24	эталон
2	70	–	30	–	–	–	12,98	21	предлагаемый
Сталь 20									
3	–	45	10	20	15	10	9,55	38	эталон
4	65	–	35	–	–	–	10,68	29	предлагаемый
5	70	–	30	–	–	–	11,1	28	предлагаемый
6	75	–	25	–	–	–	9,8	32	предлагаемый
Сталь 10									
7	–	45	10	20	15	10	9,83	37	эталон
8	70	–	30	–	–	–	10,75	30	предлагаемый
Сталь 3									
9	–	45	10	20	15	10	9,15	40	эталон
10	70	–	30	–	–	–	10,82	29	предлагаемый

Проведенные эксперименты показали оптимальное количество легирующих элементов. Оксид хрома Cr₂O₃ 65 – 75 %, карбид бора 25 -35 %. При содержании оксида хрома в легирующем составе менее 65 мас. % не обеспечивается получение высокой твердости упрочненного слоя. Увеличение количества оксида хрома сверх указанного не приводит к дальнейшему увеличению твердости и оказывает отрицательное влияние на формирование легированного слоя, вследствие выделения свободного кислорода при разложении оксида хрома, появления пор в слое, что отрицательно сказывается на износостойкости.

Что касается указанного количества B₄C, оно необходимо для повышения твердости упрочненного слоя и обеспечения полного восстановления оксида хрома Cr₂O₃ и получения высокой износостойкости легированного слоя. При увеличении содержания B₄C больше отрицательно скажется на формировании упрочненного слоя, выраженное в скачкообразном характере толщины легированного слоя, что значительно снижает износостойкость упрочненного слоя.

Заключение. В результате проведенных экспериментов получено, что наибольшую микротвердость после лазерного легирования показали составы, содержащие 70 % Cr₂O₃ и 30 % B₄C – 12,98 ГПа для стали 30; 11,1 ГПа для стали 20; 10,75 ГПа для стали 10; 10,82 ГПа – для стали 3. Это сказалось на износе. Наименьший износ – 21 мкм показал состав, содержащий 70 % Cr₂O₃ и 30 % B₄C. Наибольший износ показала легированная эталонным составом сталь 3 – 40 мкм.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Манойло, Е. Д. Газопламенное напыление покрытий / Е. Д. Манойло // Инженер-механик. – 2011. – № 4. – С. 26-34.
2. Коробов, Ю. С. Анализ свойств газотермических покрытий: [учеб. пособие]: в 2 ч. / Ю. С. Коробов, В. И. Панов, Н. М. Разинов – Екатеринбург: Изд-во Урал. ун-та, 2016 Ч. 1: Основные методы и материалы газотермического напыления – 80 с. ISBN 978-5-7996-1966-4 (ч. 1)
3. Лобанов, М. Л. Защитные покрытия: учебное пособие / М. Л. Лобанов, Н. И. Кардонина, Н. Г. Россина, А. С. Юровских // Редактор Ю. Г. Эйсмонт. – Екатеринбург: Изд-во Урал. Ун-та, 2014. – 200 с
4. Белова, С. А. Возможности лазерного легирования при изготовлении быстрорежущего инструмента / Белова С. А. // Современные проблемы науки и образования. 2014. № 6. –С. 33- 38.
5. Inés García-Blanco / Corrosion Behavior of Cobalt–Chromium-Based Laser Claddings Reinforced with Boron Nitride, Graphene Oxide, and Graphite /Inés García-Blanco,* Scott C. Bozeman, Julie D. Tucker, Rubén González, and Burkan Isgor / Advanced Engineering Materials Wiley - Weinheim, Germany, 2024. – P. 1 – 15