

Научная статья

УДК 538.91:538.951

In-situ легирование карбидом бора B_4C как перспективный метод упрочнения наплавленных лазером CrFeNi покрытий

**Артем Владимирович Окулов¹, Николай Викторович Гохфельд²,
Юрий Станиславович Коробов³, Алексей Викторович Макаров⁴,
Евгений Викторович Харанжевский⁵, Александр Константинович
Степченков⁶, Илья Владимирович Окулов⁷**

^{1,2,3,4,6} Институт физики металлов им. М. Н. Михеева УрО РАН,
Екатеринбург, Россия

^{3,7} Уральский федеральный университет им. первого Президента
России Б. Н. Ельцина, Екатеринбург, Россия

⁵ Удмуртский государственный университет, Ижевск, Россия

⁷ Бременский университет, Бремен, Германия

⁷ Институт материаловедения им. Г. В. Лейбница, Ганновер, Германия

⁶ alexander.stepchenkov@gmail.com

Аннотация. Настоящая работа посвящена исследованию влияния in-situ легирования карбидом бора наплавленных лазером CrFeNi покрытий. Микроструктура и фазовый состав синтезированных CrFeNi– B_4C покрытий были изучены с помощью сканирующей электронной микроскопии и рентгеноструктурного анализа, соответственно. Для изучения механических свойств проводили испытания на микротвердость, наноиндентирование и трибологию полученных образцов.

Ключевые слова: лазерная наплавка, легирование, карбид бора, CrFeNi, механические свойства

Финансирование. Работа выполнена в рамках государственных заданий Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (тема «Аддитивность» № 121102900049-1 и тема «Лазер» № АААА-А19-119070490049-8).

Original article

In-situ Alloying with B₄C as a Prospective Method of Strengthening Laser-Deposited CrFeNi Coatings

**Artem V. Okulov¹, Nickolay V. Gokhfeld², Yurii S. Korobov³,
Aleksey V. Makarov⁴, Evgeny V. Kharanzhevskiy⁵,
Alexander K. Stepchenkov⁶, Ilya V. Okulov⁷**

^{1,2,3,4,6} M. N. Mikheev Institute of Metal Physics, Ural Branch
of the Russian Academy of Sciences, Ekaterinburg, Russia

^{3,7} Ural Federal University named after the first President
of Russia B. N. Yeltsin, Ekaterinburg, Russia

⁵ Udmurt State University, Izhevsk, Russia

⁷ University of Bremen, Bremen, Germany

⁷ G. V. Leibniz Institute of Materials Science, Hanover, Germany

⁶ alexander.stepchenkov@gmail.com

Abstract. The present work is concerned with the research of the in-situ alloying effect of laser-deposited CrFeNi coatings with boron carbide. The microstructure and phase composition of the synthesized CrFeNi–B₄C coatings were studied using SEM and X-ray diffraction analysis, respectively. The microhardness, nanoindentation and tribological tests were carried out to investigate the mechanical properties of the obtained samples.

Keywords: laser cladding, alloying, boron carbide, CrFeNi, mechanical properties

Funding. The work was carried out within the framework of state tasks of the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation (topic “Additivity” No. 121102900049-1 and topic “Laser” No. AAAA19-119070490049-8).

Покрyтия из металлокерамического композита (МКК) обеспечивают высокую твердость поверхности в сочетании с адекватной устойчивостью к износу, коррозии и высоким температурам. Эффективным методом синтеза таких покрытий МКК является in-situ легирование путем лазерной наплавки. Метод обеспечивает реализацию принципа Шарпи, когда наиболее твердые структурные компоненты распределены внутри пластичной металлической матрицы в виде изо-

лированных друг от друга включений. Благодаря своим превосходным механическим свойствам: высокая прочность, твердость и термостойкость, для получения МКК покрытий были выбраны следующие материалы: эквиатомный среднеэнтропийный сплав (СЭС) CrFeNi и B_4C .

Механическая смесь CrFeNi– B_4C была приготовлена путем смешивания многокомпонентного эквиатомного порошка CrFeNi с различным содержанием B_4C , а именно 1 и 3 мас. %. Для чистоты эксперимента и уменьшения влияния перемешивания наплавочного слоя CrFeNi– B_4C и подложки из нержавеющей стали 316L был наплавлен двойной слой. Нанесение покрытий на подложку проводилось методом импульсной лазерной наплавки. Экспериментальная лазерная установка состояла из иттербиевого волоконного лазера с максимальной средней мощностью 50 Вт и длиной волны 1,065 мкм. Лазерная наплавка проводилась в камере с контролируемой атмосферой Ar импульсами длительностью около 40 нс. Для изучения микроструктуры и механических свойств синтезированных покрытий CrFeNi и CrFeNi– B_4C использовались различные методы исследования: оптика высокого разрешения, СЭМ, рентгеноструктурный анализ, наноиндентирование и трибологические испытания [1].

По результатам исследования был проведен сравнительный анализ полученных эквиатомных покрытий CrFeNi до и после in-situ легирования 1 и 3 мас. % B_4C . Показано влияние изменения количества B_4C на механические характеристики наплавленного слоя. Установлен рациональный интервал содержания B_4C , в котором наплавленный слой сочетает высокую твердость, прочность и достаточную пластичность, выражающуюся в отсутствии пор и трещин.

Список источников / References

1. Ultralow friction behaviour of B_4C -BN-MeO composite ceramic coatings deposited on steel / E. V. Kharanzhevskiy [et al.] // Surface and Coatings Technology. 2020. Vol. 390. P. 125664.