

УДК 535:621.373.826:539

ВЛИЯНИЕ ЛАЗЕРНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ НА МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА МНОГОЭЛЕМЕНТНЫХ ПОКРЫТИЙ**Кузнецова Ю.А., Лауринас В.Ч., Гученко С.А., Юров В.М.***Карагандинский государственный университет им. Е.А. Букетова,
Караганда, e-mail: exciton@list.ru*

В работе рассмотрено влияние лазерного излучения на механические свойства многоэлементных покрытий. Покрытия получали ионно-плазменным методом при одновременном распылении композиционного катода Cr-Mn-Si-Cu-Fe-Al и титанового катода в атмосферах аргона и азота. При осаждении Cr-Mn-Si-Cu-Fe-Al-Ti в атмосфере азота структура покрытия резко изменяется, при этом формируются области, содержащие нитриды титана и хрома, причем по данным РФЭС содержание обеих компонент примерно одинаково. После лазерной обработки покрытия Cr-Mn-Si-Cu-Fe-Al-Ti, полученного в среде азота, микротвердость уменьшается более чем в 2 раза, а полученного в среде аргона, наоборот, увеличивается почти в 2 раза. Одной из вероятных причин разупрочнения покрытия Cr-Mn-Si-Cu-Fe-Al-Ti, полученного в среде азота, является коагуляция микрокристаллитов титана и хрома. Таким образом, эффект лазерного воздействия на наноструктурные покрытия может быть довольно разнообразен.

Ключевые слова: покрытие, микротвердость, лазер, упрочнение**EFFECT OF LASER RADIATION ON MECHANICAL PROPERTIES OF MULTIPLE COATINGS****Kuznetsova Y.A., Laurinas V.C., Guchenko S.A., Yurov V.M.***Karaganda State University named after E.A. Buketov, Karaganda, e-mail: exciton@list.ru*

In this paper we examine the effect of laser radiation on the mechanical properties of multi-coatings. Coatings prepared by ion-plasma sputtering method while the composite cathode Cr-Mn-Si-Cu-Fe-Al and titanium cathode in an atmosphere of argon and nitrogen. When precipitating Cr-Mn-Si-Cu-Fe-Al-Ti in a nitrogen atmosphere, the structure of the coating changes abruptly, are formed at the same area, nitrides containing titanium and chromium, wherein at XPS data content of the two components is approximately the same. After the laser treatment the coating Cr-Mn-Si-Cu-Fe-Al-Ti, prepared in a nitrogen atmosphere, decreases the microhardness of more than two times, and the obtained argon, conversely, increased by almost 2-fold. One of the probable reasons for softening coating Cr-Mn-Si-Cu-Fe-Al-Ti, prepared in a nitrogen atmosphere, a coagulation microcrystallites titanium and chromium. Thus, the effect of laser irradiation on nanostructured coatings can be quite diverse.

Keywords: coating, microhardness, laser, hardening

В последнее время возрос интерес исследователей к синтезу высокоэнтропийных многоэлементных однофазных покрытий вакуумными методами [7]. Это связано с тем, что такие составы практически невозможно получить обычными методами металлургии.

Модификация свойств материалов лазерным излучением по физической сути сводится к локальному термическому воздействию. Поэтому оно определяется теплофизическими параметрами материала, плотностью мощности и временем воздействия излучения, в целом количеством удельной энергии, поглощенной материалом, и скоростью ее рассеивания [2–5].

В настоящей работе приведены экспериментальные результаты по лазерному воздействию на твердость многоэлементных покрытий.

Материалы и методика эксперимента

В настоящей работе использовались катоды Cr-Mn-Si-Cu-Fe-Al, полученные методом индукционного плавления, и титановые катоды марки ВТ-1-00 по ГОСТ 1908. Покрытия наносились на стальную под-

ложку ионно-плазменным методом на установке ННВ-6.6И1 при одновременном распылении указанных выше катодов. Количественный анализ элементного состава композиционных катодов и покрытий проводился на электронном микроскопе JEOL JSM-5910. Исследование микротвердости композиционных покрытий проводилось на микротвердомере HVS-1000A. Микроструктура покрытий определялась на металлографическом микроскопе Эпиквант. Покрытия наносились в среде аргона и азота. В качестве источника лазерного излучения в работе использовался лазер на алюмоиттриевом гранате, легированном неодимом ($\lambda = 1064$ нм). Длительность вспышки лампы накачки лазера, работавшего в режиме свободной генерации, составляла $2 \cdot 10^{-3}$ с. Энергия лазерного импульса составляла 1 Дж и перед проведением эксперимента измерялась с помощью ИМО-2Н, частота следования лазерных импульсов регулировалась от 0,1 до 35 Гц.

Результаты эксперимента и их обсуждение

На рис. 1–2 показана микроструктура покрытий Cr-Mn-Si-Cu-Fe-Al-Ti до и после лазерной обработки. В табл. 1 приведены значения микротвердости по Виккерсу (HV) образцов Cr-Mn-Si-Cu-Fe-Al-Ti, полученных в среде аргона, без лазерной обработки

и после лазерной обработки. Испытание на микротвердость проводилось при нагрузке 0,01 кг, время выдержки 15 с.

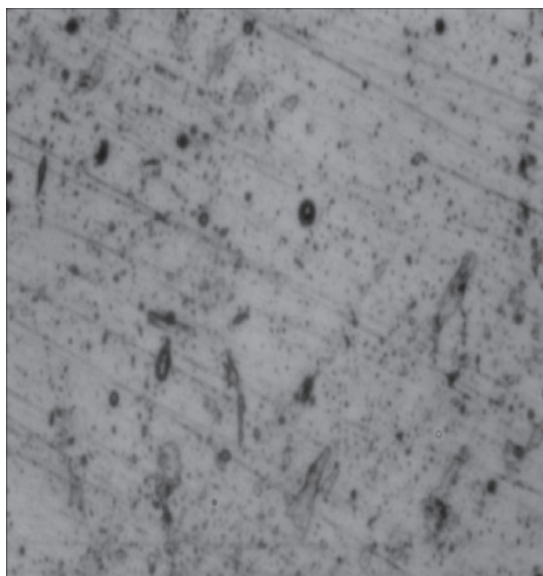


Рис. 1. Микроструктура покрытия, полученного в газовой среде аргона, до лазерного облучения

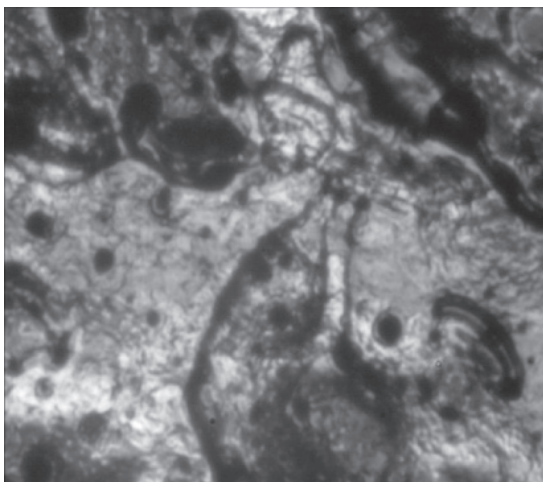


Рис. 2. Микроструктура покрытия, полученного в газовой среде аргона, после лазерного облучения

На рис. 3–4 показана микроструктура покрытия Cr-Mn-Si-Cu-Fe-Al-Ti, полученного в атмосфере азота, а в табл. 2 – значения микротвердости. Испытание на микротвердость проводилось при нагрузке 0,025 кг, время выдержки 15 с.

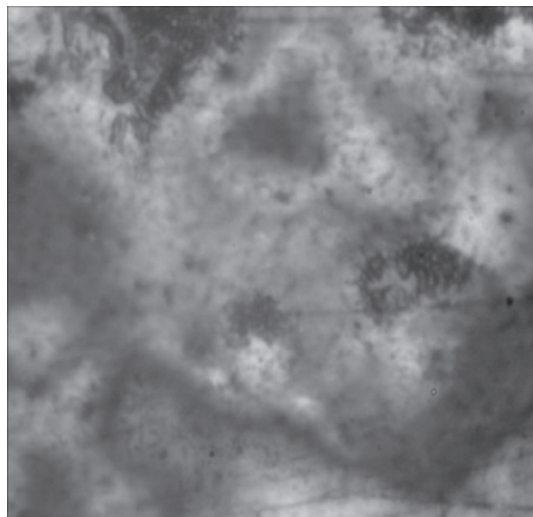


Рис. 3. Микроструктура покрытия, полученного в газовой среде азота, без лазерного облучения

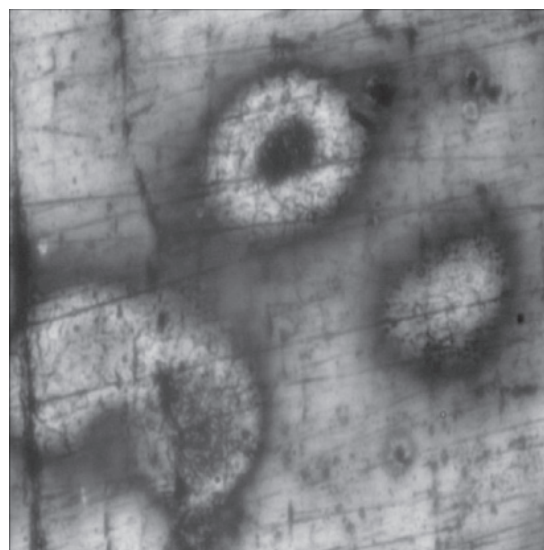


Рис. 4. Микроструктура покрытия, полученного в газовой среде азота, после лазерного облучения

Таблица 1
Результаты исследований микротвердости покрытия Cr-Mn-Si-Cu-Fe-Al-Ti, полученного в среде аргона

Образец Cr-Mn-Si-Cu-Fe-Al-Ti	Нагрузка испытания, кг	Микротвердость, НВ
Без лазерной обработки	0,01	190,5
После лазерной обработки	0,01	328,0

При осаждении Cr-Mn-Si-Cu-Fe-Al-Ti в атмосфере азота структура покрытия резко изменяется и образуется ячеистая наноструктура [8], при этом формируются области, содержащие нитриды титана и хрома, причем по данным РФЭС содержание обеих компонент примерно одинаково. Размер частиц нитрида титана и хрома по данным электронной микроскопии составляет

100–150 нм. Микрориталлиты нитридов титана и хрома имеют преимущественную ориентацию (предположительно в направлении (200)), что отлично от сферической симметрии микрориталлитов чистого титана. Все это, наряду с ячеистой структурой покрытия, приводит к его высокой микротвердости (табл. 2). После лазерной обработки покрытия Cr-Mn-Si-Cu-Fe-Al-Ti, полученного в среде азота, микротвердость уменьшается более чем в 2 раза (табл. 2). Это означает, что в этом случае мы имеем дело не с упрочнением покрытия, а с его отпускком, как это наблюдается в закаленных сталях при высоких температурах.

Таблица 2
Результаты исследований микротвердости покрытия Cr-Mn-Si-Cu-Fe-Al-Ti, полученного в среде азота

Образец Cr-Mn-Si-Cu-Fe-Al-Ti	Нагрузка испытания, кг	Микротвердость, HV
Без лазерной обработки	0,025	804,4
После лазерной обработки	0,025	365,5

Однако механизм разупрочнения в нашем случае отличен от механизма отпуска стали, где последний обусловлен фазовым переходом мартенсит→аустенит. Одной из вероятных причин разупрочнения покрытия Cr-Mn-Si-Cu-Fe-Al-Ti, полученного в среде азота, является коагуляция микрориталлитов титана и хрома, отчетливо видная на рис. 3 и 4 и происходящая при остывании расплава после лазерного облучения. Подобный эффект наблюдается при легировании титаном при бескислородной плавке металлов [8]. При этом включения нитридов титана значительно ухудшают свойства литья. Другой причиной разупрочнения может быть тот факт, что при высокой температуре, которая достигается при лазерном облучении, нитриды титана и хрома «разъедаются» окислами железа [6]. Образование окислов железа может происходить как за счет его значительного содержания в покрытии, так и за счет того, что лазерное облучение проводилось на воздухе.

Заключение

В настоящее время лазерные технологии получили «второе дыхание» и активно используются в различных областях науки, техники, медицины, экологическом мониторинге и т.д. Немаловажную роль они стали играть и в нанотехнологиях [1]. В настоящей работе показано, что эффект лазерного воздействия на наноструктурные покрытия может быть

довольно разнообразен. Однако решающую роль при этом играет первоначальная структура покрытия, которая задает механизм и направление ее преобразования при внешних, в том числе и лазерных, воздействиях.

Работа выполнена по программе МОН РК 055 «Научная и/или научно-техническая деятельность», подпрограмма 101 «Грантовое финансирование научных исследований».

Список литературы

1. Булгаков А.В., Булгакова Н.М., Бураков И.М. и др. Синтез наноразмерных материалов при воздействии мощных потоков энергии на вещество. – Новосибирск: Институт теплофизики СО РАН, 2009. – 462 с.
2. Вейко В.П., Петров А.А. Введение в лазерные технологии. – СПб: СПбГУ ИТМО, 2009. – 143 с.
3. Григорьянц А.Г., Шиганов И.Н., Мисюрлов А.И. Технологические процессы лазерной обработки. – М.: Изд-во МГТУ, 2006. – 664 с.
4. Калиниченко А.С., Бергман Г.В. Управляемое направленное затвердевание и лазерная обработка: теория и практика. – Минск: Технопринт, 2001. – 367 с.
5. Лосев В.Ф., Морозова Е.Ю., Ципилев В.П. Физические основы лазерной обработки материалов. – Томск: ТПУ, 2011. – 199 с.
6. Самсонов Г.В. Нитриды. – Киев: Наукова думка, 1969. – 312 с.
7. Соболев О.В., Андреев А.А., Горбань В.Ф. и др. О воспроизводимости однофазного структурного состояния многоэлементной высокоэнтропийной системы Ti-V-Zr-Nb-Hf и высокотвердых нитридов на ее основе при их формировании вакуумно-дуговым методом // Письма в ЖТФ. – 2012. – Т. 38, Вып. 13. – С. 40–47.
8. Юров В.М., Лауринас В.Ч., Гученко С.А., Завачкая О.Н. Образование ячеистой наноструктуры при формировании многофазных покрытий // Наноматериалы и нанотехнологии. – 2012. – № 2. – С. 17–24.

References

1. Bulgakov A.V., Bulgakova N.M., Burakov I.M. i dr. Sintez nanorazmernih materialov pri vozdejstvii moshhnyh potokov jenergii na veshhestvo. Novosibirsk: Institut teplofiziki SO RAN, 2009. 462 p.
2. Vejko V.P., Petrov A.A. Vvedenie v lazernye tehnologii. SPb: SPbGU ITMO, 2009. 143 p.
3. Grigorjanc A.G., Shiganov I.N., Misjurov A.I. Tehnologicheskie processy lazernoj obrabotki. M.: Izd-vo MG TU, 2006. 664 p.
4. Kalinichenko A.S., Bergman G.V. Upravljajemoe napravlennoe zatverdevanie i lazernaja obrabotka: teorija i praktika. Minsk: Tehnoprnt, 2001. 367 p.
5. Losev V.F., Morozova E.Ju., Cipilev V.P. Fizicheskie osnovy lazernoj obrabotki materialov. Tomsk: TPU, 2011. 199 p.
6. Samsonov G.V. Nitridy. Kiev: Naukova dumka, 1969. 312 p.
7. Sobol O.V., Andreev A.A., Gorban V.F. i dr. O vosproizvodimosti odnofaznogo strukturnogo sostojanija mnogojelementnoj vysokojentropijnoj sistemy Ti-V-Zr-Nb-Hf i vysokotverdyh nitridov na ee osnove pri ih formirovanii vakuumno-dugovym metodom // Pisma v ZhTF. 2012. T. 38, Vyp. 13. pp. 40–47.
8. Jurov V.M., Laurinas V.Ch., Guchenko S.A., Zavackaja O.N. Obrazovanie jacheistoj nanostrukтуры pri formirovanii mnogofaznyh pokrytij // Nanomaterialy i nanotehnologii. 2012. no. 2. pp. 17–24.

Рецензенты:

Портнов В.С., д.т.н., профессор, начальник УПО, Карагандинский государственный технический университет, г. Караганда;
Смирнов Ю.М., д.т.н., профессор, заведующий кафедрой «Физика», Карагандинский государственный технический университет, г. Караганда.

Работа поступила в редакцию 18.03.2015.