

УДК 535:621.373.826:539

ВЛИЯНИЕ ЛАЗЕРНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ НА ТРИБОЛОГИЧЕСКИЕ 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 трибологические 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. После лазерной обработки покрытий Cr-Mn-Si-Cu-Fe-Al-Ti, полученных в среде аргона и азота, коэффициенты трения уменьшаются. Для покрытий, полученных в среде аргона, уменьшение коэффициента трения более значительно, чем для покрытий, полученных в среде азота. Эффект лазерного воздействия на трибологические свойства покрытий связывается с уменьшением шероховатости поверхности за счет ее оплавления лазерным лучом.

Ключевые слова: покрытие, структура, трение, лазерное излучение

EFFECT OF LASER RADIATION ON MULTIPLE TRIBOLOGICAL PROPERTIES OF COATINGS

Kuznetsova Y.A., Laurynas V.C., Guchenko S.A., Yurov V.M.

Karaganda State University named after E.A. Buketova, Karaganda, e-mail: exciton@list.ru

In this paper we examine the effect of laser radiation on tribological 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 this region containing titanium nitride and chromium. After the laser treatment coatings Cr-Mn-Si-Cu-Fe-Al-Ti, obtained in argon and nitrogen, the friction coefficients are reduced. Coatings obtained in argon, reducing the friction coefficient more significantly than that for the coatings obtained in a nitrogen atmosphere. The effect of laser irradiation on the tribological properties of the coatings is associated with a decrease in surface roughness due to its fusion with a laser beam.

Keywords: coating, structure, friction, laser radiation

В последнее время возрос интерес исследователей к синтезу высокоэнтропийных многоэлементных однофазных покрытий вакуумными методами [10]. Это связано с тем, что такие составы практически невозможно получить обычными методами металлургии.

Лазерное излучение обладает высокой энергонасыщенностью, монохроматичностью и когерентностью, узкой направленностью. Оно позволяет концентрировать энергию с плотностью мощности от предельно малой до 10^{18} Вт/см². Лазерное излучение при воздействии на поверхность обрабатываемого материала позволяет быстро и дозированно передавать эту энергию [2–4, 7].

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

Материалы и методы 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

подложку ионно-плазменным методом на установке ННВ-6.6И1 при одновременном распылении указанных выше катодов. Исследование микроструктуры и количественный анализ элементного состава композиционных катодов и покрытий проводились на электронном микроскопе JEOL JSM-5910. Трибологические исследования проводились на установке, описанной в работе [5].

Нами использовалось осаждение многоэлементных покрытий в условиях ионного ассистирования. Перед нанесением покрытий в вакуумной камере производилась очистка подложек сначала тлеющим разрядом, для этого на подложку подавалось напряжение (1–3) кВ в течение (5–10) мин, затем – ионная очистка.

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 ламп накачки лазера, работавшим 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 показано электронно-микроскопическое изображение покрытия

Cr-Mn-Si-Cu-Fe-Al-Ti, полученного в среде аргона. Отчетливо видны зерна титана размером от 1 до 10 мкм в диаметре. Материалы с таким размером зерен принято называть крупнокристаллическими.

Результаты количественного РФЭС-анализа показали, что содержание Mn, Si, Cu и Al менее 1 масс.%. При нанесении в среде азота структура покрытия резко изменяется (рис. 2) благодаря образованию нитрида титана.

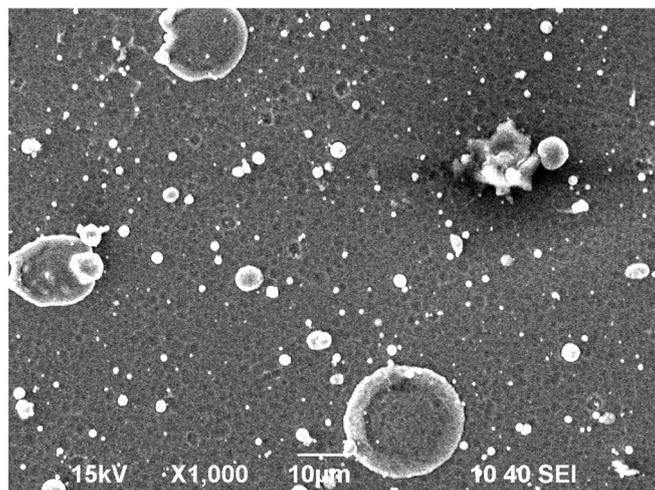


Рис. 1. Электронно-микроскопическое изображение покрытия Cr-Mn-Si-Cu-Fe-Al+Ti в среде аргона

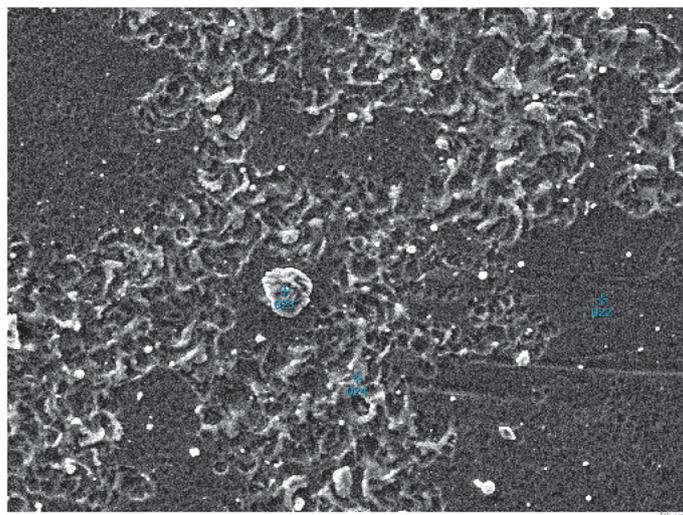


Рис. 2. Электронно-микроскопическое изображение покрытия Cr-Mn-Si-Cu-Fe-Al-Ti, полученного в среде азота

В этом случае средний размер зерен составляет (100–150) нм. Такие покрытия называют субмикрокристаллическими. Результаты количественного РФЭС-анализа покрытия Cr-Mn-Si-Cu-Fe-Al+Ti в среде азота показали, что содержание хрома, титана и азота близки между собой. Это говорит о том, что помимо образования нитрида титана идет процесс образования и нитрида хрома. Из рис. 2 видно, что микрокристаллиты нитридов титана и хрома имеют пре-

имущественную ориентацию (предположительно в направлении (200)), что также отлично от сферической симметрии микрокристаллитов чистого титана (рис. 1).

В табл. 1 приведены коэффициенты трения образцов Cr-Mn-Si-Cu-Fe-Al-Ti, полученных в среде аргона, а табл. 2 – в среде азота без лазерной обработки и после лазерной обработки. Определение коэффициентов трения производилось в паре: покрытие – покрытие; покрытие – алюминий; покрытие – медь.

Таблица 1

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

Образец Cr-Mn-Si-Cu-Fe-Al-Ti	Коэффициент трения		
	покрытие – покрытие	покрытие – алюминий	покрытие – медь
Без лазерной обработки	0,413	0,302	0,269
После лазерной обработки	0,274	0,265	0,264

Таблица 2

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

Образец Cr-Mn-Si-Cu-Fe-Al-Ti	Коэффициент трения		
	покрытие – покрытие	покрытие – алюминий	покрытие – медь
Без лазерной обработки	0,431	0,314	0,243
После лазерной обработки	0,370	0,320	0,229

Сущность лазерного упрочнения железоуглеродистых сталей, как и обычных методов закалки, состоит в бездиффузионном превращении при быстром охлаждении гранецентрированной кубической решетки аустенита в искаженную объемо-центрированную решетку мартенсита [1].

Закалка цветных металлов не связана с фазовыми переходами в объеме вещества, а обусловлена «исправлением» искажений структуры металлов, возникших при их затвердевании [8, 9]. Поэтому в нашем случае влияние лазерного излучения на свойства композиционных покрытий, основу которых составляет алюминий, не столь тривиально, как это может показаться с первого взгляда. К этому нужно добавить и наноструктурное состояние исследованных покрытий, теплофизические свойства которых значительно отличаются от объемных свойств вещества.

Как следует из табл. 1 и 2, коэффициент трения одноименных пар металлов (покрытие – покрытие) значительно больше, чем для разноименных. Это классический результат, который говорит о том, что для уменьшения трения в сопряженных парах необходимо использовать разнородные металлы или разнородные металлические покрытия.

После лазерной обработки покрытий коэффициенты трения уменьшаются. Для покрытий, полученных в среде аргона, уменьшение коэффициента трения более

значительно, чем для покрытий, полученных в среде азота.

Эффект лазерного влияния на коэффициенты трения покрытий мы связываем с уменьшением их шероховатости после оплавления лазерным лучом. Отличие покрытий, полученных в среде азота, связано с наличием, как было показано выше, нитридных фаз титана и хрома, которые мало чувствительны к малым дозам облучения из-за их высокой температуры плавления.

Заключение

На основе представленных в настоящей работе результатов исследования можно сделать вывод, что, изменяя режимы лазерного облучения металлических покрытий, можно изменять их трибологические свойства.

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. Калининченко А.С., Бергман Г.В. Управляемое направленное затвердевание и лазерная обработка: теория и практика. – Минск: Технопринт, 2001. – 367 с.
5. Колесников В.А., Байсагов Я.Ж., Юров В.М. Информационно-измерительный прибор для определения коэффициента трения скольжения // *Фундаментальные исследования*. – 2011. – № 12. – Ч. 1. – С. 121–124.
6. Лосев В.Ф., Морозова Е.Ю., Ципилев В.П. Физические основы лазерной обработки материалов. – Томск: ТПУ, 2011. – 199 с.
7. Майоров В.С. Лазерное упрочнение металлов // *Лазерные технологии обработки материалов: современные проблемы фундаментальных исследований и прикладных разработок* / под ред. В.Я. Панченко. – М.: Физматлит, 2009. – С. 439–469.
8. Меркулова Г.А. Металловедение и термическая обработка цветных сплавов. – Красноярск, СФУ, 2008. – 312 с.
9. Самсонов Г.В. Нитриды. – Киев: Наукова думка, 1969. – 312 с.
10. 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.
1. Bulgakov A.V., Bulgakova N.M., Burakov I.M. i dr. Sintez nanorazmernih materialov pri vozdeystvii moshhnyh potokov jenerгии 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. Grigor'janc 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. Upravljaemoe napravlennoe zatverdevanie i lazernaja obrabotka: teorija i praktika. Minsk: Tehnoprint, 2001. 367 p.
5. Kolesnikov V.A., Bajsagov Ja.Zh., Jurov V.M. Informacionno-izmeritel'nyj pribor dlja opredelenija koeficienta trenija skol'zhenija // *Fundamental'nye issledovanija*. 2011. no. 12. Ch. 1. pp. 121–124.
6. Losev V.F., Morozova E.Ju., Cipilev V.P. Fizicheskie osnovy lazernoj obrabotki materialov. Tomsk: TPU, 2011. 199 p.
7. Majorov V.S. Lazernoe uprochnenie metallov // *Lazernye tehnologii obrabotki materialov: sovremennye problemy fundamental'nyh issledovanij i prikladnyh razrabotok* / pod red. V.Ja. Panchenko. M.: Fizmatlit, 2009. pp. 439–469.
8. Merkulova G.A. Metallovedenie i termicheskaja obrabotka cvetnyh splavov. Krasnojarsk, SFU, 2008. 312 p.
9. Samsonov G.V. Nitridy. Kiev: Naukova dumka, 1969. 312 p.
10. 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 // *Pis'ma v ZhTF*. 2012. T. 38, Vyp. 13. pp. 40–47.

References

1. Bulgakov A.V., Bulgakova N.M., Burakov I.M. i dr. Sintez nanorazmernih materialov pri vozdeystvii moshhnyh po-