

(Карагандинский государственный университет им. Е. А. Букетова, г. Караганда)

## ВЛИЯНИЕ ЛАЗЕРНОГО ОБЛУЧЕНИЯ НА СВОЙСТВА МНОГОФАЗНЫХ ПОКРЫТИЙ

### Аннотация

В работе обсуждаются результаты исследования влияния лазерного облучения на механические свойства ионно-плазменных покрытий. Для получения покрытий использовались многокомпонентные плазменные потоки. Осаждение покрытий производилось в атмосфере аргона и азота. Свойства покрытий Cr – Mg – Si – Cu – Fe – Al + Ti, полученные в среде аргона и азота, после лазерного облучения изменяются различным образом. Это связано с особенностями поведения нитридной фазы при воздействии лазерного излучения. Свойства покрытий Fe – Al после лазерного облучения практически не изменяются. Это связано с особенностями структуры этих покрытий, которая представляет собой незамкнутую структуру.

**Ключевые слова:** лазерное облучение, покрытие, трение, микротвердость, микроструктура, наноструктура.

**Кілт сөздер:** лазерлік сәулелендіру, жабулар, үйкеліс, микроқатандық, микроқұрылым, наноқұрылым.

**Keywords:** a laser irradiation, a covering, a friction, microhardness, a microstructure, a nanostructure.

**Введение.** Лазерное излучение при воздействии на поверхность обрабатываемого материала позволяет быстро и дозированно передавать большую энергию. Возможность такого интенсивного подвода энергии к материалу обуславливает локальность тепловых и связанных с ними других физических процессов. 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. Структура слоя, упрочненного лазерным излучением, характеризуется большой твердостью, пониженной химической активностью, меняются механические характеристики, термостойкость, величина и характер распределения остаточных напряжений [1-4].

**Методика эксперимента.** 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. Излучение лазера с помощью кварцевой сферической линзы с фокусным расстоянием 50 мм фокусировалось на поверхности образца в пятно, диаметр которого в зависимости от условий эксперимента мог составлять 60 мкм и более. Диаметр пятна измерялся с помощью оптической системы микротвердомера HVS-1000А. Частота следования импульсов подбиралась таким образом, чтобы при фиксированной и нерегулируемой скорости перемещения образца минимальное расстояние между центрами пятен лазерного света на поверхности объекта не превышало их диаметр, и составляла 5 Гц. На образцы в количестве 4-х штук было нанесено ионно-плазменное композиционное покрытие Cr – Mg – Si – Cu – Fe – Al +Ti в газовой среде аргона в течение 40 минут. Затем образцы № 2 и 4 были подвержены лазерной обработке лазером «Квант-17» с частотой  $\nu = 5$  Гц и энергией  $E = 0,95$  Дж, на расстоянии 70 мм и 60 мм соответственно.

### Результаты эксперимента

На рисунках 1, 2 показана микроструктура покрытий до и после лазерной обработки покрытия.

В таблице 1 приведены коэффициенты трения образцов Cr – Mg – Si – Cu – Fe – Al +Ti в среде аргона без лазерной обработки и после лазерной обработки. Определение коэффициентов трения производилось в паре: покрытие – покрытие; покрытие – алюминий; покрытие – медь.

В таблице 2 приведены значения микротвердости по Виккерсу (HV) образцов Cr – Mg – Si – Cu – Fe – Al +Ti в среде аргона без лазерной обработки и после лазерной обработки. Испытание на микротвердость проводилось при нагрузке 0,01 кг, что соответствует 0,098 Н, время выдержки 15 с.

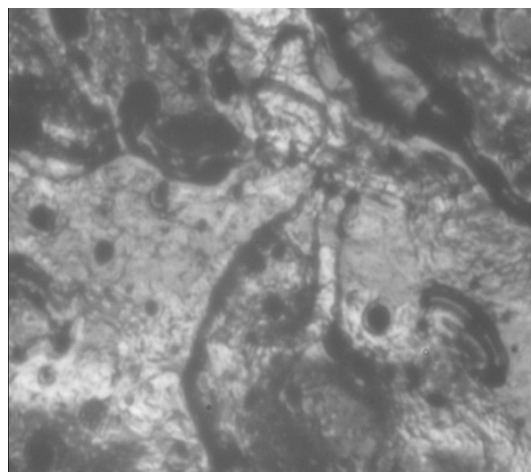
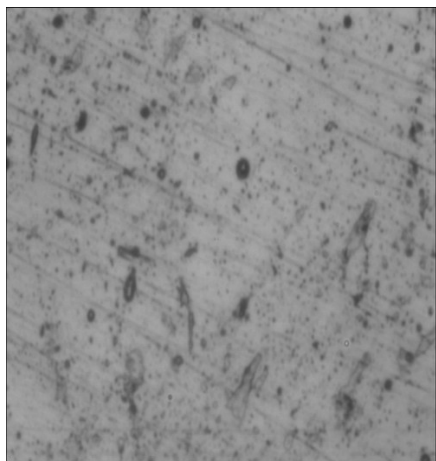


Рисунок 1 – Микроструктура покрытия

Cr – Mr – Si – Cu – Fe – Al +Ti

в газовой среде аргона до лазерного  
облучения

Рисунок 2 – Микроструктура покрытия

Cr – Mr – Si – Cu – Fe – Al +Ti в газовой  
среде аргона после лазерного облучения

Таблица 1 – Результаты трибологических исследований покрытия Cr –Mr – Si – Cu – Fe – Al +Ti, полученного в среде аргона

Образец	Коэффициент трения		
	покрытие – покрытие	покрытие – алюминий	покрытие – медь
Cr – Mr – Si – Cu – Fe – Al +Ti до лазерной обработки	0,413	0,302	0,269
Cr – Mr – Si – Cu – Fe – Al +Ti после лазерной обработки, R= 70 мм.	0,274	0,265	0,264

Таблица 2 – Результаты исследований микротвердости покрытия Cr –Mr – Si – Cu – Fe – Al +Ti, полученного в среде аргона

Образец	Нагрузка испытания, кг	Микротвердость, HV
Cr – Mr – Si – Cu – Fe – Al +Ti до лазерной обработки	0,01	190,5
Cr – Mr – Si – Cu – Fe – Al +Ti после лазерной обработки	0,01	328,0

При осаждении Cr –Mr – Si – Cu – Fe – Al +Ti в атмосфере азота структура покрытия резко изменяется и образуется ячеистая наноструктура. Это явление рассмотрено нами в работе [5]. Полученные в этой работе экспериментальные данные укладываются во все рассмотренные модели образования ячеистой структуры: концентрационного переохлаждения, связанного с наличием радиального градиента концентрации примеси нитрида титана; ячеек Бенара, возникновение которых обусловлено наличием вертикального градиента температуры; ячеистой дислокационной структуры, связанной с наличием пластических деформаций в покрытии. Окончательный выбор модели и, соответственно, управляющего параметра пока еще не сделан. Возможно, что на процесс формирования покрытий оказывают влияние все механизмы в той или степени.

На рисунках 3, 4 показана микроструктура покрытия Cr – Mg – Si – Cu – Fe – Al + Ti, полученного в атмосфере азота.

В таблице 3 приведены коэффициенты трения образцов Cr –Mg – Si – Cu – Fe – Al +Ti в среде аргона без и после лазерной обработки.

В таблице 4 приведены значения микротвердости по Виккерсу (HV) образцов Cr–Mg–Si–Cu–Fe–Al+Ti в среде аргона без лазерной обработки и после лазерной обработки.

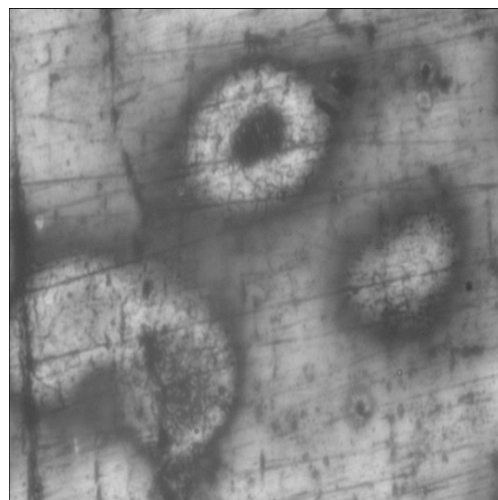
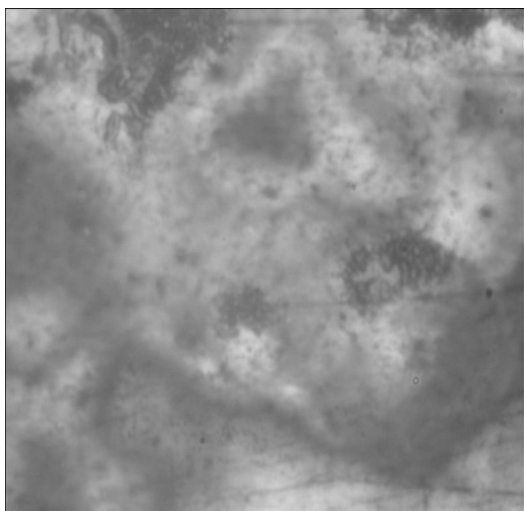


Рисунок 3 – Микроструктура покрытия Cr – Mg – Si – Cu – Fe – Al +Ti в газовой среде азота после лазерного облучения, R= 67 мм

Рисунок 4 – Микроструктура покрытия Cr – Mg – Si – Cu – Fe – Al +Ti в газовой среде азота после лазерного облучения, R= 65 мм

Таблица 3 – Результаты трибологических исследований покрытия Cr – Mg – Si – Cu – Fe – Al +Ti, полученного в среде азота

Образец	Коэффициент трения		
	покрытие – покрытие	покрытие – алюминий	покрытие – медь
Cr – Mg –Si – Cu - Fe – Al + Ti в среде азота, до лазерной обработки	0,243	0,304	0,431
Cr – Mg –Si – Cu - Fe – Al + Ti в среде азота, после лазерной обработки	0,229	0,370	0,320

Таблица 4 – Результаты исследований микротвердости покрытия Cr – Mg – Si – Cu – Fe – Al +Ti, полученного в среде азота

Образец	Нагрузка испытания, кг	Микротвердость, HV
Cr – Mg – Si – Cu – Fe – Al +Ti до лазерной	0,025	804,4

обработки		
Cr – Mg – Si – Cu – Fe – Al +Ti после лазерной обработки, R=67 мм	0,025	365,5
Cr – Mg – Si – Cu – Fe – Al +Ti после лазерной обработки, R=70 мм	0,025	297,2

### Обсуждение результатов эксперимента

Сущность лазерного упрочнения железуглеродистых сталей, как и обычных методов закалки, состоит в бездиффузионном превращении при быстром охлаждении гранцентрированной кубической решетки аустенита в искаженную объемцентрированную решетку мартенсита [6]. Характерной чертой мартенсита является его высокая твердость, с одной стороны, и низкая пластичность и хрупкость, с другой стороны. В нашем случае, как это следует из данных РФЭС, исследуемые покрытия не содержат углерода, несмотря на высокое содержание железа.

Закалка цветных металлов не связана с фазовыми переходами в объеме вещества, обусловлена «исправ-лением» искажений структуры металлов, возникших при их затвердевании [7]. 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 таблиц 1 и 2, для покрытия Cr – Mg – Si – Cu – Fe – Al +Ti в среде аргона коэффициент трения после лазерной обработки уменьшается, а микротвердость возрастает. Первый эффект мы связываем с уменьшением шероховатости покрытия при его оплавлении лазерным лучом. Второй эффект обусловлен формированием дислокационной структуры покрытия при резком нагреве-охлаждении, что отчетливо видно из сравнения рисунок 1 и 2. При нанесении покрытий Cr – Mg – Si – Cu – Fe – Al +Ti в среде азота в последнем 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. Микрорекристаллиты нитридов титана и хрома имеют преимущественную ориентацию (предположительно в направлении (200)), что отлично от сферической симметрии микрорекристаллитов чистого титана. Все это, наряду с ячеистой структурой покрытия, приводит к высокой его микротвердости (таблица 4). После лазерной обработки покрытия Cr – Mg – Si – Cu – Fe – Al +Ti, полученного в среде азота, коэффициент трения изменяется незначительно, а микротвердость уменьшается более чем в 2 раза (табл.4). Это означает, что в этом случае мы имеем дело не с упрочнением покрытия, а с его отпуском, как это наблюдается в закаленных сталях при высоких температурах.

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 – Mg – Si – Cu – Fe – Al + Ti, полученного в среде азота, является коагуляция микрорекристаллитов титана и хрома, отчетливо видная на рисунок 3 и 4 и происходящая при остывании расплава после лазерного облучения. Подобный эффект наблюдается при легировании титаном при бескислородной плавки 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 [8]. Образование окислов железа может происходить как за счет его значительного содержания в покрытии, так и за счет того, что лазерное облучение проводилось на воздухе. Этот вопрос требует дальнейшего исследования.

**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 [9]. 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.

## ЛИТЕРАТУРА

1 Калиниченко А.С., Бергман Г.В. Управляемое направленное затвердевание и лазерная обработка: теория и практика. – Минск: Технопринт, 2001. – 367 с.

2 Григорьянц А.Г., Шиганов И.Н., Мисюрин А.И. Технологические процессы лазерной обработки. – М.: Изд-во МГТУ, 2006. – 664 с.

3 Вейко В.П., Петров А.А. Введение в лазерные технологии. – СПб.: СПбГУ ИТМО, 2009. – 143 с.

4 Лосев В.Ф., Морозова Е.Ю., Ципилев В.П. Физические основы лазерной обработки материалов. – Томск: ТПУ, 2011. – 199 с.

5 Юров В.М., Лауринас В.Ч., Гученко С.А., Завацкая О.Н. // Наноматериалы и нанотехнологии. – 2012. – № 2. – С. 17-24.

6 Майоров В.С. Лазерные технологии обработки материалов: современные проблемы фундаментальных исследований и прикладных разработок / Под ред. В. Я. Панченко. – М.: Физматлит, 2009. – С. 439-469.

7 Меркулова Г.А. Металловедение и термическая обработка цветных сплавов. – Красноярск: СФУ, 2008. – 312 с.

8 Самсонов Г.В. Нитриды. – Киев: Наукова думка, 1969. – 312 с.

9 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.

## REFERENCES

1 Kalinichenko A.S., Bergman G.V. Upravljajemoe napravlennoe zatverdevanie i lazernaja obrabotka: teorija i praktika. – Minsk: Tehnoprind, 2001. – 367 s.

2 Grigor'janc A.G., Shiganov I.N., Misjurov A.I. Tehnologicheskie processy lazernoj obrabotki. – M.: Izd-vo MGTU, 2006. – 664 s.

3 Vejko V.P., Petrov A.A. Vvedenie v lazernye tehnologii. – SPb.: SPbGU ITMO, 2009. – 143 s.

4 Losev V.F., Morozova E.Ju., Cipilev V.P. Fizicheskie osnovy lazernoj obrabotki materialov. – Tomsk: TPU, 2011. – 199 s.

5 Jurov V.M., Laurinas V.Ch., Guchenko S.A., Zavackaja O.N. // Nanomaterialy i nanotehnologii. – 2012. – № 2. – S. 17-24.

6 Majorov V.S. Lazernye tehnologii obrabotki materialov: sovremennye problemy fundamental'nyh issledovanij i prikladnyh razrabotok / Pod red. V. Ja. Panchenko. – M.: Fizmatlit, 2009. – S. 439-469.

7 Merkulova G.A. Metallovedenie i termicheskaja obrabotka cvetnyh splavov. – Krasnojarsk: SFU, 2008. – 312 s.

8 Samsonov G.V. Nitridy. – Kiev: Naukova dumka, 1969. – 312 s.

9 Bulgakov A.V., Bulgakova N.M., Burakov I.M. i dr. Sintez nanorazmernyh materialov pri vozdeystvii moshhnyh potokov jenerгии na veshhestvo. – Novosibirsk: Institut teplofiziki SO RAN, 2009. – 462 s.

## Резюме

*В. Ч. Лауринас, О. Н. Завацкая, С. А. Гученко, В. М. Юров*

(Е. А. Бөкетов атындағы Қарағанды мемлекеттік университеті, Қарағанды қ.)

## КӨПФАЗАЛЫ ЖАБУЛАРДЫҢ ҚАСИЕТТЕРІНЕ

### ЛАЗЕРЛІК СӘУЛЕНІҢ ӘСЕРІ

Жұмыста ионды-плазмалық жабулардың механикалық қасиеттеріне лазерлік сәулеленудің әсерін зерттеу нәтижелеріне талдау жүргізілген. Жабуларды жасау үшін көп компонентті плазмалық ағындар қолданылды. Жабулар аргон және азот атмосферасында жасалды. Аргон және азот ортасында алынған Cr – Mg – Si – Cu – Fe – Al + Ti жабуларының қасиеттері, лазерлік сәулелендіруден кейін әрқилы өзгереді. Оның себебі лазерлік сәулеленудің әсері кезіндегі нитридті фазалардағы ерекшеліктер. Fe – Al

жабуларының қасиеттеріне лазерлік сәуле әсер етпейді. Оның себебі осындай жабулардың құрылымдық қасиеттері, олар түйықталмаған құрылым болып табылады.

**Кілт сөздер:** лазерлік сәулелендіру, жабулар, үйкеліс, микроқатандық, микроқұрылым, наноқұрылым.

## Summary

*V. Ch. Laurinas, O.N. Zavatsky, S. A. Guchenko, V. M. Jurov*

(Karaganda state university of E. A. Buketov, Karaganda)

### INFLUENCE OF A LASER IRRADIATION ON PROPERTIES OF MULTIPHASE NANOSTRUCTURAL COVERINGS

In work results of research of influence of a laser irradiation on mechanical properties of ionic-plasma coverings are discussed. For reception of coverings multicomponent plasma streams were used. Sedimentation of coverings was made in argon and nitrogen atmosphere. Properties of coverings Cr-Mr - Si - Cu - Fe - Al +Ti, received in the environment of argon and nitrogen, after a laser irradiation change in the various image. It is connected with features of behaviour of nitrides of the titan and chrome at influence of laser radiation. Properties of coverings Fe - Al after a laser irradiation practically do not change. It is connected with features of structure of these coverings which represents not closed structure.

**Keywords:** a laser irradiation, a covering, a friction, microhardness, a microstructure, a nanostructure.

*Поступила 27.03.2013г.*