

допустимой глубины резания в сравнении с использованием штатного резцедержателя. Предлагаемая в статье методика является универсальной и позволяет рассчитать в некотором приближении и обеспечить в новом резцедержателе с регулируемым положением центра жесткости необходимые упругие параметры еще на стадии формирования только схемы конструкции.

ЛИТЕРАТУРА

1. Орликов М.Л., Суховий Б.Ф. Резцедержатель с регулируемым эллипсом жесткости. – Технология и организация производства, 1973. № 10. – с. 35 – 37.
2. Суник Г.П., Ланда Г.Л. Повышение устойчивости врезного точения // Станки и инструмент.-1985.- N 7.-С.24-25.
3. Пат. України на корисну модель № 21427: МПК В23В 29/03/ Різцетримач Шевченко О.В., Вакуленко С.В., Дюмін В.А. – Оpub. 15.03.2007, Бюл. № 3. – 3 с.
4. Вакуленко С. В. Теоретичне дослідження ефективності використання інструментального оснащення з орієнтованим центром жорсткості // Надійність інструменту та оптимізація технологічних систем. Збірник наукових праць. – Краматорськ, вип. №30, 2012. С.101-106
5. Вакуленко С. В. Методика теоретичного визначення приведених пружних параметрів інструментального оснащення з орієнтованим центром жорсткості // Вісник Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут», вип.. №65, 2012. С.82-89.
6. Різцетримач: Деклараційний патент України № 98244: МПК В23В 29/04 (2006.01)/ Вакуленко С.В. - Оpub. 27.04.2015, Бюл. № 8.

УДК 621.793.79

ВЛИЯНИЕ ИМПУЛЬСНОЙ ЭЛЕКТРОННО-ЛУЧЕВОЙ ОБРАБОТКИ НА ПОКРЫТИЕ ИЗ ХРОМО-ВАНАДИЕВОГО ЧУГУНА

Б.В. Дампилон¹, А.М. Толстокулаков²

¹кандидат технических наук, доцент кафедры материаловедения в машиностроении, Государственное высшее учебное заведение «Национальный Исследовательский Томский Политехнический Университет», г. Томск, Россия, e-mail: dampilon@ispms.tsc.ru

²студент института физики высоких технологий, Государственное высшее учебное заведение «Национальный Исследовательский Томский Политехнический Университет», г. Томск, Россия e-mail: lst.jimmy@mail.ru

Аннотация. В настоящей работе представлены результаты исследования влияния импульсной электронной обработки и последующего отжига на структуру и твердость покрытий из хромо-ванадиевого чугуна. Покрытия были получены методом электронно-лучевой наплавки на подложке из малоуглеродистой стали. После шлифования поверхности покрытий были обработаны локально импульсным сфокусированным в точку электронным пучком. Результаты исследования показали, что модифицированные зоны

состоят из двух фаз. Первая фаза – пересыщенный аустенит. Вторая локально распределенные в объеме модифицированной зоны зародыши эвтектики. Результаты измерений системой NanoTest показали, что модифицированные зоны имеют низкие значения твердости. Низкие значения твердости, вероятно, обусловлено наличием значительного объема пересыщенного аустенита в модифицированной зоне. Отжиг приводит к значительному увеличению твердости модифицированных зон. В результате отжига (500°C) пересыщенный аустенит распадается. Повышение температуры отжига до 1100°C приводит к росту и коагуляции карбидной фазы модифицированных зон.

Ключевые слова: импульсивный электронно-лучевая обработка, упрочнение покрытий из хромо-ванадиевого чугуна, модифицированные зоны, пересыщенный аустенит, отжиг, твердость.

MODIFICATION OF CHROME-VANADIUM WHITE IRON COATINGS BY IMPULSIVE ELECTRON-BEAM PROCESSING

Bair Dampilon¹, Alexey Tolstokulakov²

¹associate professor of Institute of high technology physics, National research Tomsk polytechnic university, scientific associate of Institute of strength physics and material science SB RAS, PhD, Tomsk, Russian Federation e-mail: dampilon@ispms.tsc.ru

²student of Institute of high technology physics, National research Tomsk polytechnic university, Tomsk, Russian Federation e-mail: Ist.Jimmy@mail.ru

Abstract. Results of investigation of effect of impulsive electron-beam processing and following annealing on structure and hardness of hardfaced chrome-vanadium cast iron coatings are presented in given paper. The coatings were obtained by electron-beam hardfacing on low-carbon steel substrates. After grinding surfaces of the coatings were locally processed by impulsive focused electron beam with discrete point distribution in a square packing on the surface area. The research results showed that the modified zones consist of two phases. The first phase is supersaturated austenite. The second phase locally distributed in the volume of modified zone is the nucleation centers of eutectic. Results of measuring by NanoTest system showed that modified zones have low values of hardness. Low hardness values are probably caused by presence of significant volume of supersaturated austenite in modified zone. Following annealing of specimens led to significant increasing of hardness of modified zones. As a result of the annealing (500°C) supersaturated austenite is decomposed on eutectoid with nanoscale structure components. Increasing of the annealing temperature up to 1100°C results in decomposition of supersaturated austenite, growth and coagulation of carbide phase in the modified zones.

Keywords: impulsive electron-beam processing, hardfaced chrome-vanadium cast iron coatings, modified zones, supersaturated austenite, annealing, eutectoid with nanoscale structure components, hardness.

Введение. Обработка поверхности различных металлов и сплавов концентрированными потоками энергий все шире применяется в инженерии

поверхности. Целью такой обработки является модифицирование структуры и улучшение эксплуатационных свойств рабочего поверхностного слоя деталей машин и конструкций. Ресурс работы тяжелонагруженных деталей в основном определяется износостойкостью их рабочей поверхности. Поэтому использование дорогостоящих конструкционных материалов для изготовления всего объема деталей нецелесообразно. Экономически себя оправдывают детали со специальными покрытиями или модифицированными поверхностными слоями, обеспечивающими нужный комплекс свойств. Рабочая поверхность детали защищается от износа покрытием или модифицированным слоем, а прочность и вязкость детали в целом обеспечивается стальной основой.

Модифицированию поверхностных слоев материалов с помощью импульсных электронных пучков посвящено достаточно много работ [1-4]. Во всех работах авторами предпринята попытка модифицирования поверхности материалов широкоапертурным пучком с целью повышения эксплуатационных свойств значительной по площади поверхности изделия. В результате такой обработки формируется модифицированный слой глубиной несколько десятков микрон. Основными недостатками такой обработки являются: незначительная глубина модифицированного слоя и сплошная граница раздела, создающая сильнонапряженное состояние между модифицированным слоем и основным материалом, значительно отличающимися по структуре и свойствам (рис.1, а). Мягкие материалы при такой обработке еще способны обеспечить релаксацию напряжений на границе раздела, а высокопрочные легированные сплавы с элементами внедрения за счет значительной разницы в свойствах модифицированного слоя и основного материала уже не способны выдерживать напряжения на границе раздела, и релаксация напряжений происходит с образованием трещин в модифицируемом слое. Для эффективной релаксации напряжений необходимо создавать прерывистую границу раздела в процессе модифицирования поверхностных слоев. Для достижения указанного эффекта можно использовать локальную обработку поверхности материала сфокусированным в точку электронным пучком или развернутого в линию. В результате такой обработки можно сформировать локальные модифицированные зоны на глубину несколько сотен микрон и разграниченные прослойками исходного материала.

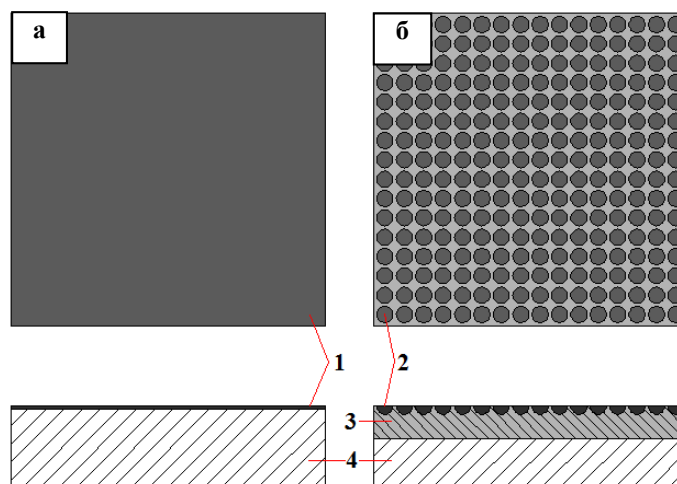


Рисунок 1 - Схематическое изображение образцов со сплошным модифицированным слоем (а) и с дискретным точечным распределением модифицированных зон в квадратной упаковке (б):

1 – модифицированный слой; 2 – модифицированная зона; 3 – наплавленное покрытие; 4 – материал упрочняемого изделия

Одной из перспективных для нанесения покрытий и модифицирования поверхностного слоя является вакуумная электронно-лучевая технология. Технология позволяет наносить на детали тонкие покрытия в режиме напыления, покрытия значительной толщины в режиме наплавки порошковых материалов, а также производить обработку поверхности непрерывными и импульсными пучками электронов. Использование комплекса режимов электронно-лучевой технологии позволит конструировать рабочую поверхность тяжело нагруженных деталей машин и механизмов.

Цель работы. Исследовать структуры и некоторые свойства модифицированных зон, полученных локальной импульсной электронно-лучевой обработкой на поверхности покрытий из хромованадиевого чугуна.

Материал и результаты исследований. Покрытия из эвтектического хромованадиевого чугуна были нанесены на подложки из малоуглеродистой стали методом электронно-лучевой наплавки (ЭЛН) в вакууме. Толщина наплавленных покрытий 2 мм. После шлифовки поверхность покрытий была локально обработана импульсным сфокусированным в точку ($\varnothing 1$ мм) электронным лучом с дискретным точечным распределением в квадратной упаковке по площади поверхности покрытия (рис.1, б). Каждая модифицированная зона образована в результате одного импульса электронного пучка с длительностью 15 миллисекунд. Микроструктуру модифицированных зон исследовали с помощью растрового электронного микроскопа Leo Evo 50 с использованием микрорентгеноспектрального анализа. Твер-

дость модифицированных зон измеряли с помощью измерительного комплекса Nanotest. Термическую обработку образцов проводили в вакуумной печи при различных температурах от 500 до 1100°C с выдержкой 30 минут.

В результате локальной импульсной обработки электронным лучом на поверхности покрытия из хромованадиевого чугуна сформировались модифицированные зоны (зоны импульсного воздействия). Диаметр каждой зоны на поверхности составил порядка 500-600 мкм (рис.2), с глубиной 400-500 мкм. Между модифицированными зонами остались прослойки покрытия, не подвергавшиеся воздействию электронного луча и необходимые для релаксации напряжений на границе раздела основного материала с модифицированными зонами. Модифицированные зоны образовались через жидкую фазу. При воздействии импульсного (15 мсек.) сфокусированного в точку пучка электронов на поверхность покрытия, материал в зоне воздействия быстро нагревается до температуры плавления и мгновенно кристаллизуется за счет интенсивного отвода тепла в объем материала. В результате такого воздействия материал в зоне воздействия находится в сильно-неравновесном структурном состоянии. Процесс можно характеризовать как закалку из жидкого состояния.

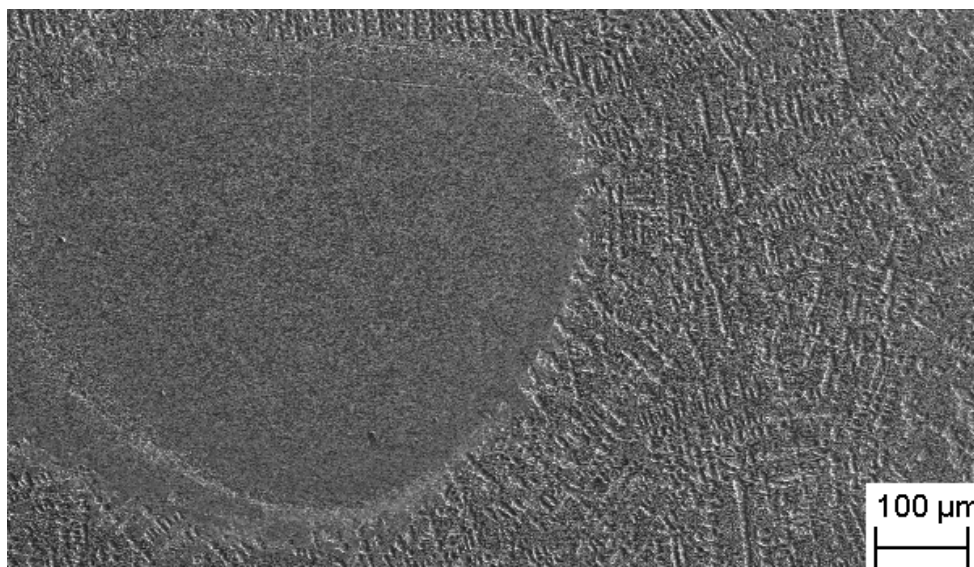


Рисунок 2 - Локальная модифицированная зона на поверхности покрытия из хромованадиевого чугуна, полученная импульсным воздействием электронного пучка (РЭМ)

Результаты исследований с использованием растровой электронной микроскопии показали значительное изменение структуры модифицированных зон по сравнению со структурой исходного покрытия (рис.3). Модифицированные зоны состоят из двух фаз. Первая фаза представляет собой

сильнопересыщенный аустенит, а вторая – ультрадисперсные зародыши эвтектики, имеющие характерную для эвтектики разветвленную форму. Аустенитная фаза имеет однородную структуру, занимает основной объем модифицированной зоны и фактически не травится «царской водкой». После травления сильнопересыщенный аустенит имеет вид сплошного каркаса с вытравленными участками зародышей эвтектики (рис.3, б).

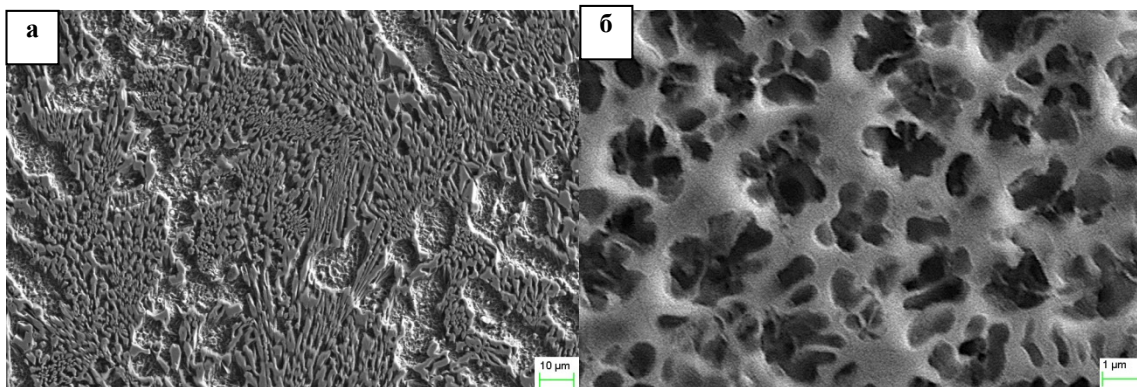


Рисунок 3 – Микроструктура исходного покрытия из эвтектического хромованадиевого чугуна (а) и микроструктура модифицированной зоны (б) после травления в «царской водке» (РЭМ)

В результате обработки покрытий из эвтектического хромованадиевого чугуна импульсным электронным лучом формируются модифицированные зоны с сильнонеравновесным структурно-фазовым состоянием. С целью приведения материала модифицированной зоны в более равновесное структурное состояние был проведен отжиг образцов при различных температурах. Результаты исследования показали, что после отжига при $T=500^{\circ}\text{C}$ (рис.4, а) наблюдается распад сильнопересыщенного аустенита на эвтектоид с наноразмерными структурными аморфной фазы. Структура распавшейся аморфной фазы имеет вид эвтектики с наноразмерными структурными составляющими. Отжиг при более высоких температурах ($700-800^{\circ}\text{C}$) приводит также к распаду аморфной фазы, заметному росту и коагуляции карбидной фазы эвтектики (рис.4, б, в). После отжига при 1100°C карбидная фаза уже представлена в виде отдельных частиц имеющих дисперсность 1-2 мкм (рис.4, г). Вторичные карбиды в зависимости от режимов термообработки имеют дисперсность от десятков нанометров до единиц микрометров, равномерно распределяясь в объеме модифицированных зон. Импульсная локальная обработка сфокусированным электронным лучом покрытий из эвтектического хромованадиевого чугуна, полученных электронно-лучевой наплавкой и последующий высокотемпературный отжиг приводят к значительному изменению структуры материала в модифицированных зонах относительно материала покрытия (рис.5). Формируя

сверхнеравновесное структурное состояние материала, можно в дальнейшем управлять его структурой последующей термической обработкой.

Проведенные измерения с помощью измерительного комплекса Nano-Test показали, что материал модифицированных зон имеет очень низкие показатели твердости и модуля упругости (рис.5). Низкие значения указанных свойств, вероятно, связаны с аморфным метастабильным состоянием основной фазы. Последующий высокотемпературный отжиг образцов приводит к значительному увеличению твердости и модуля упругости модифицированных зон. Вероятно, с увеличением температуры отжига за счет диффузионных процессов происходит достраивание карбидов до равновесного стехиометрического состава с увеличением их твердости и модуля упругости.

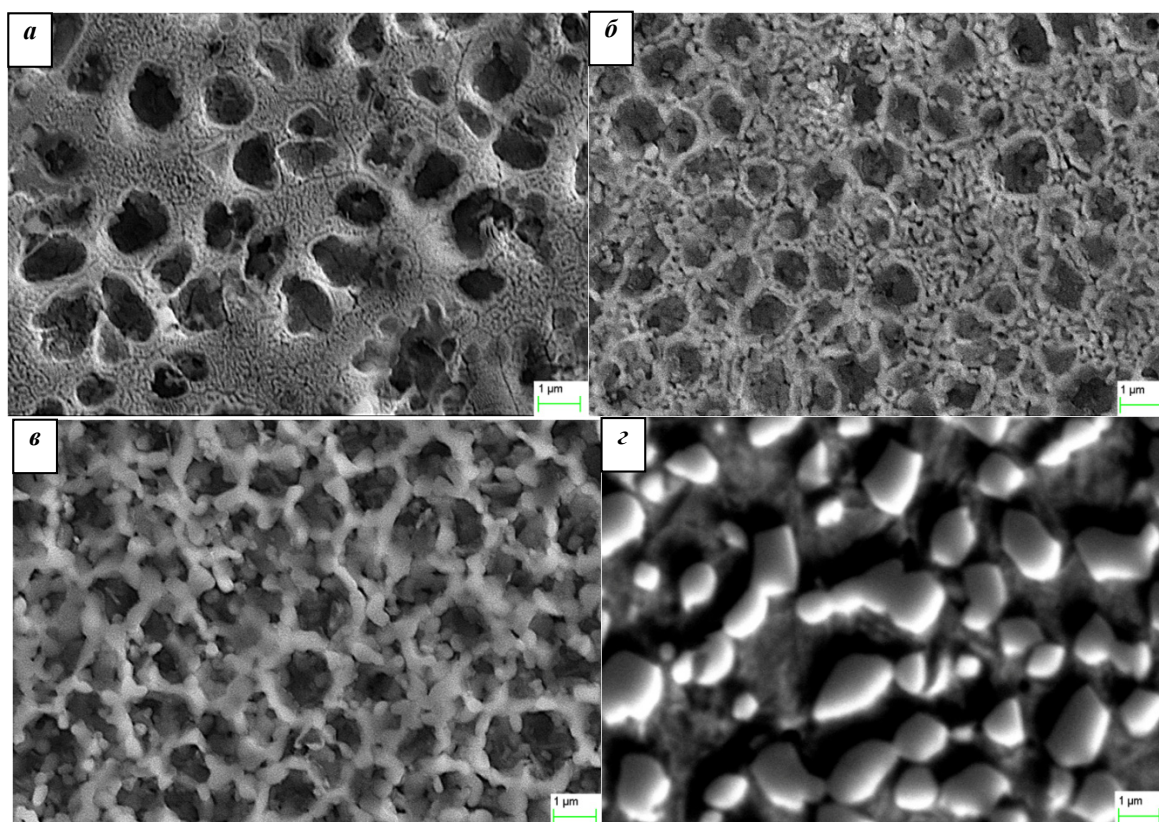


Рисунок 4 - Микроструктура модифицированных зон после отжига при различных температурах (травление в «Царской водке»): а – без ТО (исходная структура); б - 500°C; в – 700°C; г – 800°C; д – 1100°C

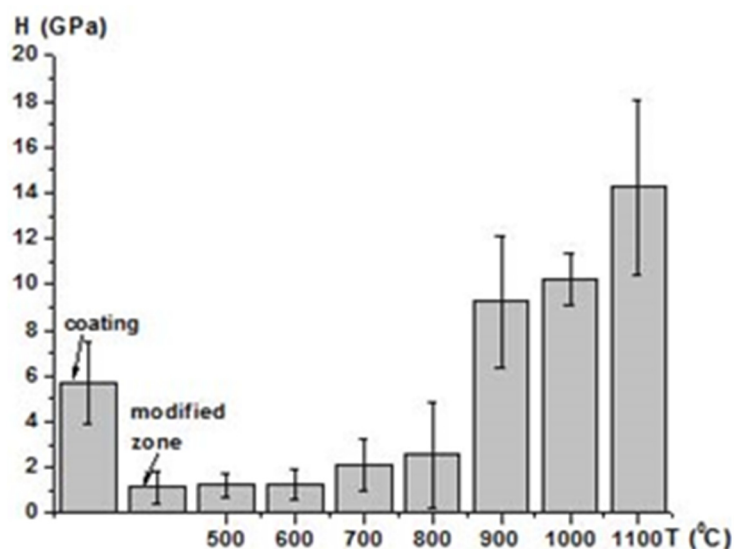


Рисунок 5 - Твердость модифицированных зон после наплавки, импульсной электронно-лучевой обработки и отжига при различных температурах (coating – исходное покрытие; modified zone – модифицированная зона)

Выводы. Локальная импульсная электронно-лучевая обработка покрытий из эвтектического хромованадиевого чугуна приводит к образованию модифицированных зон с сильнонеравновесным структурным состоянием.

Материал модифицированной зоны состоит из сильнопересыщенного аустенита и зародышей эвтектики.

Модифицированные зоны имеют низкие показатели твердости из-за значительного количества сильнопересыщенного аустенита.

Последующий отжиг образцов при 500°C приводит к распаду сильнопересыщенного аустенита на эвтектоид с наноразмерными структурными составляющими.

Увеличение температуры отжига до 1100°C приводит к значительному росту и коагуляции карбидной фазы.

Отжиг образцов в диапазоне 900-1100°C приводит к значительному увеличению твердости модифицированных зон. Повышение твердости вероятно связано с достраиванием карбидов до равновесного стехиометрического состава в указанном диапазоне температур.

Использование комплексной технологии включающей в себя электронно-лучевую наплавку, импульсную электронно-лучевую обработку и термическую обработку позволит конструировать поверхностные слои с высокими эксплуатационными свойствами на рабочей поверхности тяжело нагруженных деталей.

ЛИТЕРАТУРА

1. Овчаренко В.Е., Псахье С.Г., Лапшин О.В., Колобова Е.Г. Модификация металло-керамического сплава электронно-импульсной обработкой его поверхности // Изв-я Томского политехнического университета. Технические науки. 2004. Том 37. №6. С. 75-80.
2. Полетика И.М., Гнусов С.Ф., Голковский М.Г. и др. Создание упрочняющих покрытий электронно-лучевой наплавкой и последующей импульсной обработкой электронным пучком // Упрочняющие технологии и покрытия. 2011. №1. С. 15-22.
3. Гнусов С.Ф., Тарасов С.Ю., Иванов Ю.Ф., Ротштейн В.П. Влияние импульсного электронно-лучевого плавления на микроструктуру и триботехнические свойства твердого сплава WC-сталь 110Г13 // Proc. of 6th Intern. Conf. on Modification of Materials with Particle Beams and Plasma Flows. 23–28 Sept. 2002, Tomsk, Russia.
4. Proskurovsky D., Rotshtein V., Ozur G., et al. Pulsed electron-beam technology for surface modification of metallic materials // J. Vac. Sci. Technol. A 1694, 1998.

УДК 621.981.21

ЭФФЕКТ ПАМЯТИ ФОРМЫ В МЕТАЛЛАХ

А.Г. Лисняк¹, А.И. Ионас²

¹кандидат технических наук, доцент, кафедра технологии горного машиностроения, Государственное высшее учебное заведение «Национальный горный университет», г. Днепропетровск, Украина

²студент группы ГМмм-14-1, Государственное высшее учебное заведение «Национальный горный университет», г. Днепропетровск, Украина, E-mail: ionasanna@mail.ru

Аннотация. В работе выполняется анализ эффекта форм запоминания в металлах на примере материала - никелид титана.

Ключевые слова: мартенситное превращение, никелид титана, деформация, исходная форма.

THE SHAPE MEMORY EFFECT IN METALS

Alexandr Lisnyak¹, A. Ionas²

¹Ph.D., Associate professor, Mining Engineering Department, State Higher Educational Institution “National Mining University”, Dnepropetrovsk, Ukraine

²Student, State Higher Educational Institution “National Mining University”, Dnepropetrovsk, Ukraine, e-mail: ionasanna@mail.ru

Abstract. In this article is analyzed the effect of storage in the metal form on an example of the material – nickel alloy titanium.

Keywords: martensitic transformation, nikelid titanium, strain, the original form.

