

УДК 621.9

Г. И. КОСТЮК, О.Д. ГРИГОР, А.В. МАТВЕЕВ

ВЛИЯНИЕ ХАРАКТЕРА ЗАДАНИЯ ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИХ И ТЕРМОМЕХАНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК МАГНИЕВЫХ СПЛАВОВ ПРИ ОБРАБОТКЕ С ЦЕЛЬЮ ПОЛУЧЕНИЯ НАНОСТРУКТУР ИОНАМИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СТОХАСТИЧЕСКИХ ЗНАЧЕНИЙ И ПОЛУЧЕННЫХ КВАНТОВО МЕХАНИЧЕСКИХ МЕТОДОМ

В работе проведено сравнение влияния задания теплофизических и термомеханических характеристик магниевых сплавов при ионно-лучевой обработке с целью получения наноструктур с использованием стохастических и расчетных значений по квантово-механической теории. Показано, что для однозарядных ионов практически всегда при малых энергиях можно использовать стохастические значения, тогда как с ростом заряда иона зона технологических параметров, при которых оба способа задания теплофизических и термомеханических характеристик дают одинаковые результаты смещаются в сторону высоких энергий.

Ключевые слова: квантово-механический метод, наноструктуры, стохастический метод, теплофизические и термомеханические характеристики материала, ионы.

В роботі проведено порівняння впливу завдання теплофізичних і термомеханічних характеристик магнієвих сплавів при іонно-променевої обробці з метою отримання наноструктур з використанням стохастичних і розрахункових значень по квантово механічній теорії. Показано, що для однозарядних іонів практично завжди при малих енергіях можна використовувати стохастичні значень, тоді як з ростом заряду іона зона технологічних параметрів при яких обидва способи завдання теплофізичних і термомеханічних характеристик дають однакові результати зміщуються в бік високих енергій.

Ключевые слова: квантово-механічний метод, наноструктури, стохастичний метод, теплофізичні і термомеханічні характеристики матеріалу, іони.

In the comparison of the effect of thermal and thermo-setting performance magnesium alloys in ion beam processing For the purpose of obtaining nanostructures using stochastic and calculated values for the quantum mechanical theory. It is shown that for singly charged ions are almost always at low energies can be used stochastic values, whereas with increasing ion charge of technological parameters of the zone in which the two methods for defining thermal and thermomechanical characteristics give the same results are shifted toward higher energies.

Keywords: quantum mechanical method, nanostructures, stochastic method, thermal and thermomechanical properties of the material, the ions.

Введение. В настоящее время, к сожалению, в авиационной технике еще не достаточно широко применяется магниевые сплавы, так как они при малой массе не имеют достаточно высоких прочностных характеристик. Это связано с тем, что практически всегда разрушение начинаются с поверхности детали и желательнее иметь поверхность с повышенными физико-механическими характеристиками, для этого обычно применялись различного рода покрытия, но это приводило к снижению усталостных характеристик материала. Создание слоя из наноструктур (НС) в магниевом сплаве может существенно повысить твердость поверхности, а, следовательно, и износостойкость детали, повысить усталостные характеристики за счет затруднения развития усталостной трещины в НС. Затруднение разрушения НС за счет повышения предела текучести, а также способности выдерживать ударные нагрузки в результате снижения модуля упругости.

Работа выполнена в рамках программы Министрства образования и науки Украины «Новые и ресурсосберегающие технологии в энергетике, промышленности и агропромышленном комплексе» (подсекция 13 «Аэрокосмическая техника и транспорт») и по темам: «Создание физико-технических основ повышения качества материалов аэрокосмических конструкций» и «Разработка технологических основ интегрированных технологий плазменно-ионной обработки деталей аэрокосмической техники» (подсекция 6 «Физико-технические проблемы материаловедения»), «Концепция создания наноструктур, нано- и традиционных покрытий с учетом влияния адгезии на эффективность и работоспособность дета-

лей АТ, АД и РИ», «Экспериментально-теоретическое исследование получения наноструктур при действии ионных и свето-лучевых потоков на конструкционные материалы и РИ», хозяйственных работ и договоров о сотрудничестве.

Состояние вопроса. К сожалению, в настоящее время нет как теоретических, так и экспериментальных работ по получению наноструктур (НС) на магниевые сплавах, хотя теоретическому исследованию получения наноструктур посвящены ряд наших монографий [1...5], а экспериментальные работы рассматривались в монографиях [6...11]. На основе этих работ можно сформулировать критерии образования наноструктур: достижение необходимого диапазона температур (500- 1500 К), превышения скорости роста температуры – 10^7 К/с и наличие температурных напряжений в диапазоне 10^7 - 10^9 Па. При реализации температурных напряжений превышающих 10^{10} Па есть вероятность непосредственного получения НС.

Ограничив область пространства в детали, где реализуются эти критерии можно найти объем зоны, где возможно получения НС при действии индивидуального иона, а далее по объему получаем размер зерна. Размер зерна обычно необходим, так как практически всегда исследуется влияние размера зерна на физико-механические характеристики материалов и детали. Поэтому в работе проводим исследование влияния энергии ионов на размер зерна при квантово-механическом и стохастическом определении теплофизических и термомеханических характеристик обрабатываемого материала.

Цель исследования. Целью исследования было определения технологических параметров, при кото-

© Г. И. Костюк, О.Д. Григор, А.В. Матвеев, 2017

рых необходимо учитывать изменение теплофизических и термомеханических характеристик материала при квантово механическом подходе по сравнению со стохастическими их значениями.

Расчетная модель и метод ее решения. Проведено сравнение результатов расчета размеров зерна в зоне действия ионов с разными зарядами ($z=1, z=2, z=3$) на магниевый сплав.

Показано, что определяющим является суммарное энергетическое воздействие, которое определяется величиной энергии иона и его заряда. Так при малом энергетическом воздействии – малая энергия и 200 эВ малое зарядовое число $z=1$. Результаты расчета размера зерна по обоим методам совпадают и в этом случае можно пользоваться стохастическими данными теплофизическим и термомеханическим характеристиками. С ростом энергии увеличивается расхождение результатов. Для больших зарядовых чисел $z=2$ результаты расчета размера зерна по обоим методам коррелируют только при энергии 2000 эВ. При дальнейшем увеличении зарядового числа результаты оценки размера зерна совпадают только при

энергии 20 КэВ. Причем везде кривые по полученные с применением квантово механического подхода являются более пологими, то есть в этом случае влияние на размер зерна осуществляется максимальным образом при малом энергетическом воздействии ($E_i \cdot z$)

Результаты расчета и их обсуждение. Были рассчитаны размеры зерна для случая действия ионов с зарядовыми числами ($z=1, z=2, z=3$). При двух методов задания теплофизических и термомеханических характеристик: стохастическим (---) и квантово механическим методом (---). Так для случая действия иона бора на магниевый сплав получены зависимости размера зерна от энергии иона видно, что при энергии 200 эВ ($z=1$) результаты по обоим методам совпадают.

С ростом энергии стохастическим метод дает большие размеры зерна. Увеличение зарядового числа до 2 приводит к тому, что результаты расчета по двум методам совпадают уже при энергии 2000 эВ, а квантово механический подход дает более пологую кривую размера зерна от энергии (рис. 1а).

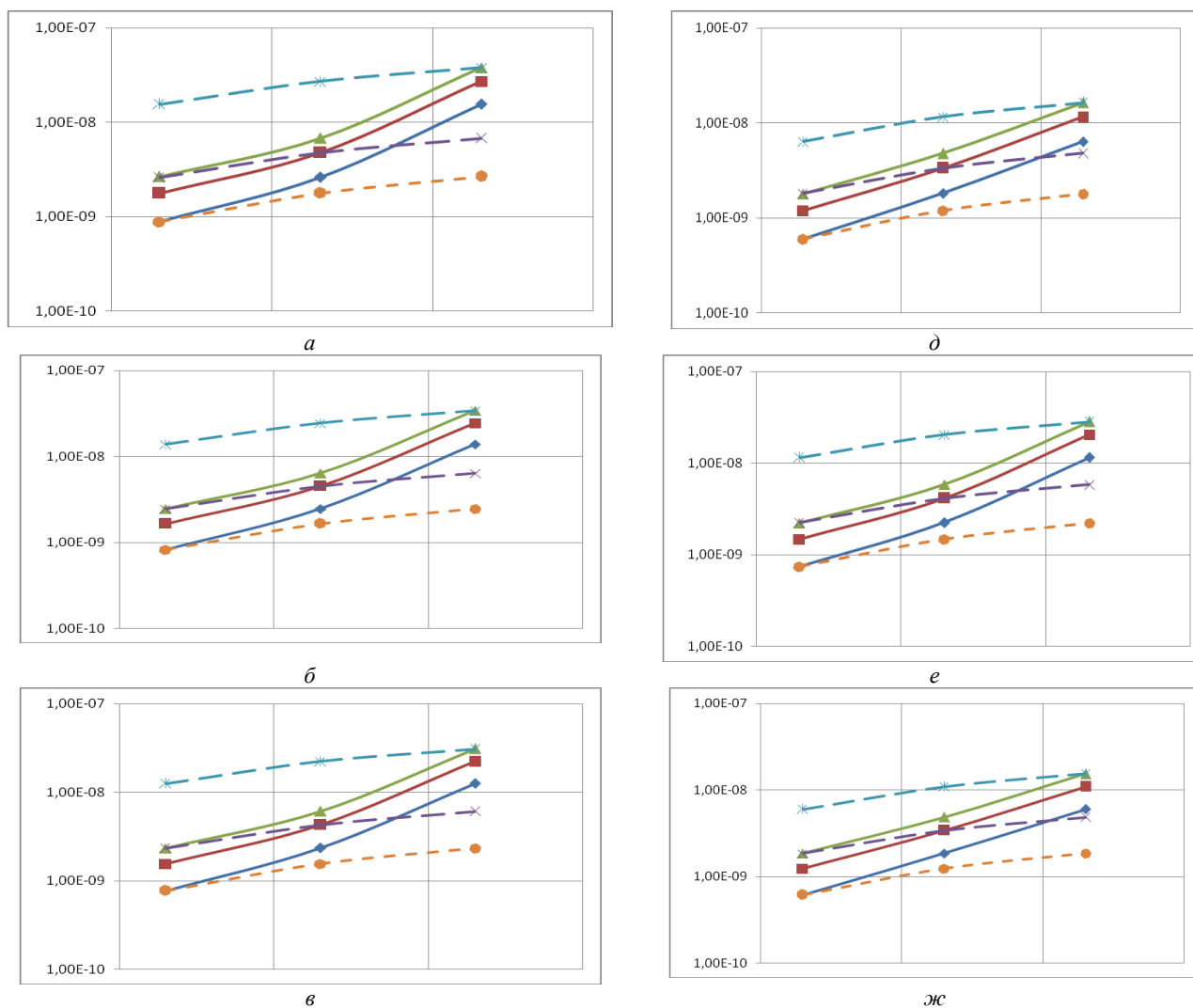


Рис. 1 – Зависимости размера зерна в магниевом сплаве от энергии ионов в случае стохастического определения теплофизических и термомеханических характеристик материалов (---) и с применением квантово механическим подходом (---), при действии ионов: В⁺ – а, С⁺ – б, N⁺ – в, Al⁺ – г, Cr⁺ – д, O⁺ – е, Y⁺ – ж, Zr⁺ – з, Hf⁺ – и, W⁺ – к, V⁺ – л, Mo⁺ – м

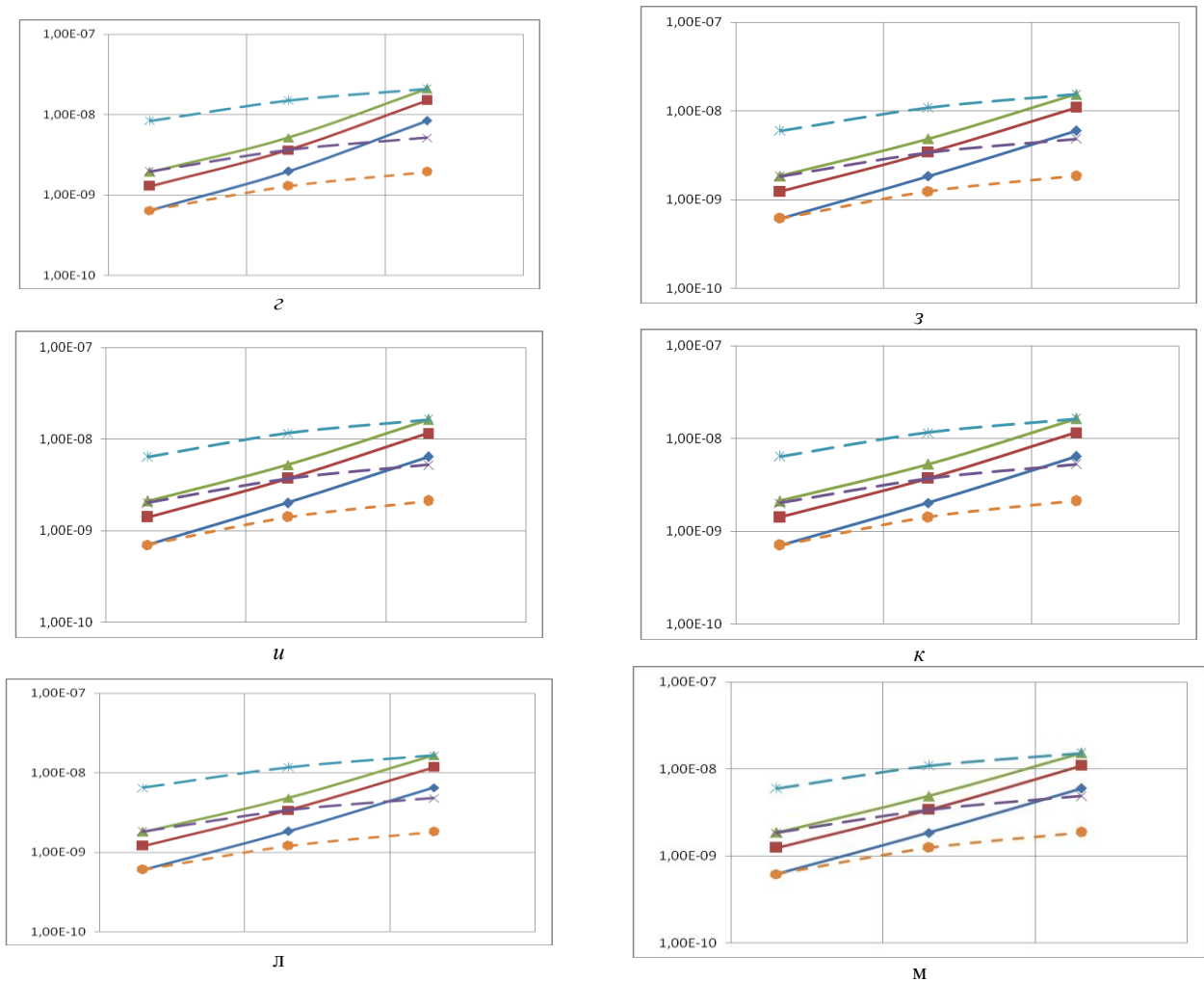


Рис. 1 – Продолжение

Дальнейшее увеличение зарядового числа до 3 приводит к совпадению результатов расчета по двум методам только при энергии 20 КэВ тогда как значение размера зерна полученного стохастическим методом, при меньших энергиях имеет значительно меньшее значение. Можно заметить, что как при стохастическом, так и при квантово механических методах кривые при разных зарядовых числах получаются эквидистантными. Для стохастического метода наблюдается быстрый рост размера зерна с увеличением энергии, а для квантово-механического относительно медленный рост размера зерна с увеличением энергии.

Переход к ионам углерода и азота, характер кривых и точки совпадения результатов остаются такими же. Только значение размера зерна начинает уменьшаться. Переход к ионам кислорода и алюминия приводит к еще большему уменьшению размера зерна, хотя точки корреляции значений по разным методам сохраняются для $z=1 - 200$ эВ, для $z=2 - 2000$ эВ, $z=3 - 20$ КэВ. Все это подтверждает наш тезис, что энергетическое воздействие является определяющим в выборе метода определения теплофизических и термомеханических характеристик.

Переход к ионам хрома и иттерия (рис 1 е, ж) приводит к дальнейшему снижению размера зерна. Которая даже при энергии 20 КэВ имеет величину порядка 10 нм. В этом случае точки совпадения ре-

зультатов расчета размера зерна совпадают с предыдущими: $z=1 - 200$ эВ, для $z=2 - 2000$ эВ, $z=3 - 20$ КэВ..

Видно, что проведенные расчеты приводят к практически одинаковым результатам по нахождению точек корреляции результатов рассчитанных по двум методам. Это значит, что можно использовать полученные закономерности для оценки размера зерна, при действии различных ионов используя соответствующий метод для соответствующей энергии и соответствующего зарядового числа. Это существенно может сократить объем проводимых расчетов.

Переход к более тяжелым ионам циркония и гафния позволяет оценить влияние и стохастического и квантово механического метода определения теплофизических и термомеханических характеристик для тяжелых ионов. Видно, что и для тяжелых ионов исследованные зависимости близки к ранее полученным но для случае действия двух зарядных ионов есть уже две точки в которых результаты близки при энергии 200 и совпадают при 2000 эВ. То есть в этом случае уже в диапазоне 200 – 2000 эВ можно пользоваться стохастическим методом при оценке размера зерна в магниевом сплаве. В случае же энергии 20 КэВ они существенно разнятся.

Для более тяжелых ионов цирконий и гафний (рис. 1 з, и) результаты реализуются практически такие же как и в первом случае полное совпадение

реализуется при $z=1$ – 200 эВ, для $z=2$ – 2000 эВ, $z=3$ – 20 КэВ, хотя различие результатов по одному и второму методу сближаются по величинам размера зерна, что говорит о том, что для больших размеров зерна можно пользоваться стохастическим методом определения теплофизических и термомеханических характеристик и погрешность не будет превышать 10 – 25 % большие значения соответствуют большим энергиям.

Дальнейший рост массы ионов для молибдена и вольфрама (рис 1 к, л) показывает, что корреляция результатов проявляется при заряде ионов $z=1$ – 200 эВ, для $z=2$ – 2000 эВ, $z=3$ – 20 КэВ, а значения отличаются практически на те же величины. Это говорит о том, что можно пользоваться для последних четырех, результатами одного из них от этого точность не будет снижаться более чем на 2–5 %.

Выводы. На основе исследования влияния технологических параметров потоков ионов и заряда на размер зерна в магниевом сплаве показано, что учет теплофизических и термомеханических характеристик полученных как стохастическим, так и квантово механическим методом необходим далеко не всегда: при зарядах $z=1$ и энергии 200 эВ; для $z=2$ – 2000 эВ, $z=3$ – 20 КэВ, можно пользоваться стохастическими характеристиками практически для всех исследованных ионов и погрешность будет не более 2–3 %.

В случае отлечения заряда и энергии от перечисленных ранее для легких ионов (до кислорода) необходимо обязательно учитывать влияние квантово механического метода на определение теплофизических и термомеханических магниевом сплава.

При переходе к тяжелым ионам (цирконий, гафний, молибден и вольфрам) можно практически во всем исследованном диапазоне зарядов и энергий можно пользоваться стохастическими данными по теплофизическим и термомеханическим характеристикам и в этом случае погрешность расчетов размера зерна не будет превышать 25 %

Определение размера зерна позволяет, зная зависимость физико – механических характеристик материала от размера зерна прогнозировать эти характеристики для исследуемых материалов.

Список литературы

1. Костюк Г. И. Эффективный режущий инструмент с нанопокрытиями и наноструктурными модифицированными слоями: Моногр.-справ.: в 2 кн. / Г. И. Костюк – Х.: «Планета-Принт», 2016. – Кн.1. Плазменно-ионные и ионно-лучевые технологии. – 735 с.
2. Костюк Г. И. Нанотехнологии: выбор технологических параметров и установок, производительность обработки, физико-механические характеристики наноструктур: моногр. / Г. И. Костюк. – К.: Изд. центр Междунар. академии наук и инновац. технологий, 2014. – 472 с.
3. Костюк Г. И. Нанотехнологии: теория, эксперимент, техника, перспективы: моногр. / Г. И. Костюк. – К.: Изд. центр Междунар. академии наук и инновац. технологий, 2012. – 648 с.
4. Костюк Г. И. Наноструктуры и нанопокрытия: перспективы и реальность: учеб. пособие / Г. И. Костюк. – Х.: Нац. аэрокосм. ун-т «Харьк. авиац. ин-т», 2009. – 406 с.
5. Костюк Г. И. Научные основы создания современных технологий: учеб. пособие / Г. И. Костюк. – Х.: Нац. аэрокосм. ун-т «Харьк. авиац. ин-т», 2008. – 552 с.
6. Костюк Г. И. Эффективный режущий инструмент с покрытием и упрочненным слоем: моногр.-справ. / Г. И. Костюк. – Х.: Нац. аэрокосм. ун-т «Харьк. авиац. ин-т», 2007. – 633 с.
7. Костюк Г. И. Эффективный режущий инструмент с покрытием и упрочненным слоем: справ. / Г. И. Костюк. – К.: Вид-во АІНУ, 2003. – 412 с.
8. Гречихин Л. И. Физика наночастиц и нанотехнологий / Л. И. Гречихин. – М.: УП «Технопринт», 2004. – 397 с.
9. Аксенов И. И. Вакуумная дуга в эрозионных источниках плазмы / И. И. Аксенов. – Х.: Изд-во НИИ «ХФТИ», 2005. – 211 с.
10. Гусев А. И. Наноматериалы, наноструктуры, нанотехнологии / А. И. Гусев. – М.: Физматлит, 2005. – 416 с.
11. Андриевский Р. А. Наноматериалы: концепция и современные проблемы / Р. А. Андриевский // Физика металлов и металловедение. – 2003. – Т. 91, № 1. – С.50 – 56.

Bibliography (transliterated)

1. Kostyuk, G. I. *Effektivnyy rezhuschchiy instrument s pokrytiyem i uprochnennym sloyem: sprav* [Effective cutting tool coated with a layer of reinforced] – Kiev, Planeta print, 2016. 735 p.
2. Kostyuk, G. I. *Nanotekhnologii: vybor tekhnologicheskikh parametrov i ustanovok, proizvoditel'nost' obrabotki, fiziko-mekhanicheskiye kharakteristiki nanostruktur: monogr* [Nanotechnology: the choice of process parameters and settings, processing performance, physical and mechanical properties of nanostructures] – Kiev, Izd. tsentr Mezhdunar. akademii nauk i innovats. tekhnologiy, 2014. 472 p.
3. Kostyuk, G. I. *Nanotekhnologii: teoriya, eksperiment, tekhnika, perspektivy: monogr* [Nanotechnology: theory, experiment, technology and prospects] – Kiev, Izd. tsentr Mezhdunar. akademii nauk i innovats. tekhnologiy, 2012. 648 p.
4. Kostyuk, G. I. *Nanostruktury i nanopokrytiya: perspektivy i real'nost' ucheb.posobiye* [Nanostructures and nanocoating: Prospects and Reality] – Kharkiv, Nats. aerokosm. un-t «Khar'k. aviats. in-t », 2009. 406 p.
5. Kostyuk, G. I. *Nauchnyye osnovy sozdaniya sovremennykh tekhnologiy: ucheb.posobiye* [The scientific basis for the creation of modern technologies] – Kharkiv, Nats. aerokosm. un-t «Khar'k. aviats. in-t », 2008. 552 p.
6. Kostyuk, G. I. *Effektivnyy rezhuschchiy instrument s pokrytiyem i uprochnennym sloyem: monogr.-sprav* [Effective cutting tool coated with a layer of reinforced] – Kharkiv, Nats. aerokosm. un-t «Khar'k. aviats. in-t », 2007. 633 p.
7. Kostyuk, G. I. *Effektivnyy rezhuschchiy instrument s pokrytiyem i uprochnennym sloyem: sprav* [Effective cutting tool coated with a layer of reinforced] – Kiev, АІНУ, 2003. 412 p.
8. Grechikhin, L. I. *Fizika nanochastits i nanote-khnologiy* [The physics of nanoparticles and nanotechnology] – Moscow, UP «Tekhnoprint», 2004. 397 p.
9. Aksenov, I. I. *Vakuumnaya duga v erozionnykh istochnikakh plazmy* [Vacuum arc erosion plasma sources] – Kharkiv, NII «KHFTI», 2005. 211 p.
10. Gusev, A. I. *Nanomaterialy, nanostruktury, nanotekhnologii* [Nanomaterials, nanostructures, nanotechnology] – Moscow, Fizmatlit, 2005. 416 p.
11. Andriyevskiy, R. A. *Nanomaterialy: kontseptsiya i sovremennyye problemy* [Nanomaterials: concept and modern problems] *Fizika metallov i metallovedeniye*. 2003. – Т. 91, № 1. – p.p. 50 – 56.

Поступила (received) 17.04.17

Бібліографічні описи / Библиографические описания / Bibliographic descriptions

Вплив характеру завдання теплофізичних і термомеханічних характеристик магнієвих сплавів при обробці з метою отримання наноструктур іонами з використанням стохастичних значень і отриманих квантово механічних методом / Г. І. Костюк, О.Д. Григор, А.В. Матвєєв // Вісник НТУ «ХП». Серія: Технології в машинобудуванні. – Харків : НТУ «ХП», 2017. – № 17 (1239). – С. 78–82. – Библиогр.: 11 назв. – ISSN 2079-004X.

Влияние характера задания теплофизических и термомеханических характеристик магниевых сплавов при обработке с целью получения наноструктур ионами с использованием стохастических значений и полученных квантово механических методом / Г. И. Костюк, О.Д. Григор, А.В. Матвеев // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Технології в машинобудуванні. – Харків : НТУ «ХПІ», 2017. – № 17 (1239). – С. 78–82. – Библиогр.: 11 назв. – ISSN 2079-004X.

Influence of the nature of the task of thermophysical and thermomechanical characteristics of magnesium alloys in processing for the purpose of obtaining nanostructures by ions using stochastic values and obtained by quantum mechanical methods / G. Kostyuk, O. Grigor, A. Matveyev // Bulletin of NTU "KhPI". Series: Techniques in a machine industry. – Kharkov : NTU "KhPI", 2017. – No. 17 (1239). – P.78–82. – Bibliogr.: 11. – ISSN 2079-004X

Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

Костюк Геннадій Ігоревич – доктор технічних наук, професор, професор Національного аерокосмічного університету «Харківський авіаційний інститут», м. Харків, тел.: (057)-788-42-06, e-mail: g.kostyuk206@yandex.ru;

Костюк Геннадий Игоревич – доктор технических наук, профессор, профессор Национального аэрокосмического университета «Харьковский авиационный институт», г. Харьков, тел.: (057)-788-42-06, e-mail: g.kostyuk206@yandex.ru;

Kostyuk Gennadiy Igorevich – Doctor of Technical Sciences, Full Professor, National Aerospace University Zhukovsky, tel.: (057)-788-42-06, e-mail: g.kostyuk206@yandex.ru;

Григор Ольга Діонісова – студентка кафедри теоретичної механіки, машинознавства і роботомеханічних систем, Національного аерокосмічного університету ім. Жуковського М.Є. «ХАІ», тел. : (057) -788-42-06, e-mail: g.kostyuk206@yandex.ru.

Григор Ольга Дионисова – студентка кафедры теоретической механики, машиноведения и роботомеханических систем, Национального аэрокосмического университета им. Жуковского Н.Е. «ХАИ», тел.: (057)-788-42-06, e-mail: g.kostyuk206@yandex.ru.

Grigor Olga Dionisova - student of the Department of Theoretical Mechanics, Machine Science and Robot Mechanics, National Aerospace University. Zhukovsky N.E. "KhAI", tel. : (057) -788-42-06, e-mail: g.kostyuk206@yandex.ru.

Матвеев Александр Вадимович – аспірант кафедри теоретичної механіки, машинознавства і роботомеханічних систем, Національного аерокосмічного університету ім. Жуковського М.Є. «ХАІ», тел. : (057) -788-42-06, e-mail: g.kostyuk206@yandex.ru.

Матвеев Александр Вадимович – аспирант кафедры теоретической механики, машиноведения и роботомеханических систем, Национального аэрокосмического университета им. Жуковского Н.Е. «ХАИ», тел.: (057)-788-42-06, e-mail: g.kostyuk206@yandex.ru.

Matveyev Alexander Vadimovich - postgraduate student of the Department of Theoretical Mechanics, Machine Science and Robot Mechanics, National Aerospace University. Zhukovsky N.E. "KhAI", tel. : (057) -788-42-06, e-mail: g.kostyuk206@yandex.ru.