

УДК 621.865.6

Г. И. КОСТИЮК

ВЫБОР ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ИОНОВ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ НАНОСТРУКТУР ТРЕБУЕМОГО РАЗМЕРА ЗЕРНА В ТВЕРДОМ СПЛАВЕ Т30К4

Подано залежності розміру зерна від глибини його залягання (мінімальна і максимальна) для різних енергій (200, 2000, 20000 eV) і зарядів ($z = 1, z = 2, z = 3$) і широкого кола іонів ($B^+, C^+, N^+, Al^+, V^+, Cr^+, O^+, Fe^+, Ni^+, Co^+, Y^+, Zr^+, Mo^+, Gf^+, Ta^+, W^+, Pt^+$) при дії їх на твердий сплав (ТС) Т30К4. Проведені дослідження дають можливість створити шари наноструктур з різними властивостями і на різній глибині в ТС і забезпечити конструювання наноструктурних шарів з необхідними фізико-механічними характеристиками. Ці дослідження дозволяють розширити діапазон застосування пластин з ТЗ Т30К4 і дати можливість реалізувати всі переваги наноструктурних шарів, а значить, забезпечити високу зносостійкість, стійкість, вигінну міцність, а в кінцевому рахунку підвищити працездатність і ефективність різального інструмента з Т30К4.

Ключові слова: технологічні параметри, твердий сплав, наноструктури, різальний інструмент, розмір зерна.

Представлены зависимости размера зерна от глубины его залегания (минимальная и максимальная) для разных энергий (200, 2000, 20000 эВ), и зарядов ($z = 1, z = 2, z = 3$) и широкого круга ионов ($B^+, C^+, N^+, Al^+, V^+, Cr^+, O^+, Fe^+, Ni^+, Co^+, Y^+, Zr^+, Mo^+, Gf^+, Ta^+, W^+, Pt^+$) при действии их на твердый сплав (ТС) Т30К4. Проведенные исследования дают возможность создать слои наноструктур с разными свойствами и на разной глубине в ТС и обеспечить конструирование наноструктурных слоёв с необходимыми физико-механическими характеристиками. Эти исследования позволяют расширить диапазон применимости пластин из ТС Т30К4 и дать возможность реализовать все преимущества наноструктурных слоёв, а значит, обеспечить высокую износостойкость, стойкость при действии ударных нагрузок, изгибную прочность, а в конечном счёте повысить работоспособность и эффективность режущего инструмента из Т30К4.

Ключевые слова: технологические параметры, твердый сплав, наноструктуры, режущий инструмент, размер зерна.

Presents the dependence of the grain size of its depth (minimum and maximum) for different energies (200, 2000, 20000 eV) and charge ($z = 1, z = 2, z = 3$), and a wide range of ions ($B^+, C^+, N^+, Al^+, V^+, Cr^+, O^+, Fe^+, Ni^+, Co^+, Y^+, Zr^+, Mo^+, Gf^+, Ta^+, W^+, Pt^+$) under the influence of them on the cemented carbide (HA) TiC30Co4. The studies make it possible to create layers of nanostructures with different features and at different depths in the vehicle and ensure that the design of nanostructured layers with the necessary physical and mechanical properties. Studies can extend the range of applicability of the plates of the vehicle Т30К4i give the opportunity to realize all the benefits of nanostructured layers, and thus ensure high wear resistance, impact resistance, flexural strength, and ultimately improve the efficiency and effectiveness of the cutting tool of TiC30Co4.

Keywords: technological parameters, hard alloy nanostructures, cutting tools, grain size.

Введение. Несмотря на то, что твердый сплав (ТС) Т30К4 относительно недорогой (из-за относительно не большой доли карбида вольфрама), он широко не применяется при механической обработке, т.к. он зачастую не обеспечивает необходимые стойкость и снимаемый объём материала за период стойкости. Наноструктурные (НС) слои на его поверхности могут существенно повысить его стойкость (работоспособность) и снимаемый объём материала за период стойкости (эффективность). Поэтому исследование возможности получения НС, является актуальной и важной задачей для инструментального производства и машиностроения в целом.

Работа выполнена в рамках программы Министерства 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», «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 деталей АТ, АД и РИ», «Экспериментально-теоретическое исследование получения наноструктур при действии ионных и светолучевых потоков на конструкционные материалы и РИ», хозяйственных работ и договоров о сотрудничестве.

Состояние вопроса. К сожалению, в настоящее время нет достаточно систематизированных исследований по ТС Т30К4, хотя теоретические предпосылки к оценке работоспособности и эффективности и даже физико-механических характеристик можно провести, используя результаты работ [1–8].

Всё это может дать возможность оценить требуемые технологические параметры для получения НС на различных глубинах в материале этого твёрдого сплава, а значит, обеспечит повышение работоспособности и эффективности, что является актуальной задачей машиностроения.

Постановка задачи исследования. Исследование проводилось на основе решения совместной задачи теплопроводности и термоупругости, которая позволяла получить поля температур и температурных напряжений, скорость изменения температуры во времени, а значит, с учётом критериев получения наноструктур по диапазону температур, скорости изменения температур, значениям температурных напряжений оценить области материала ТС, где реально можно получить наноструктуры.

Всё это позволяет оценить объём нанозерна, а следовательно, и его размеры, а также глубины залегания этого зерна, что позволит, выбирая энергию, заряд и сорт иона (обеспечивающие необходимый размер зерна), найти технологические параметры потоков обрабатывающих ионов, которые дадут возможность получить слой наноструктур необходимой толщины.

Результаты исследований и их обсуждение. Для широкого круга ионов ($B^+, C^+, N^+, Al^+, V^+, Cr^+, O^+, Fe^+, Ni^+, Co^+, Y^+, Zr^+, Mo^+, Gf^+, Ta^+, W^+, Pt^+$) для разных энергий (200, 2000, 20000 эВ) и зарядов ($z = 1,$

© Г.И. Костюк, 2016

$z = 2, z = 3$) были построены зависимости размера зерна от минимальной (h_{\min}) и максимальной (h_{\max}) глубины залегания. Так, на рис. 1 показаны исследуемые зависимости для случая действия ионов бора (B^+), причём эта зависимость для минимальной глубины залегания имеет разрывы (рис. 1, а), тогда как для максимальной зависимости – она практически линейна в логарифмическом масштабе.

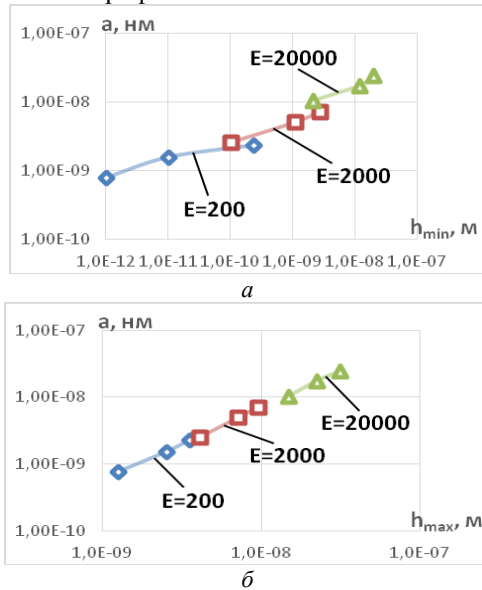


Рис. 1 – Зависимость размера зерна нанокластера (НК) от минимальной (а) и максимальной (б) глубины залегания НК при действии ионов бора (B^+) с различной энергией ($E = 200, E = 2000, E = 20000$) для Т30К4

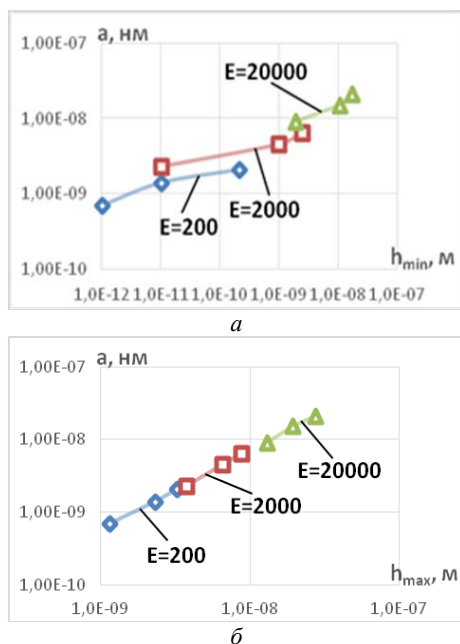


Рис. 2 – Зависимость размера зерна нанокластера (НК) от минимальной (а) и максимальной (б) глубины залегания НК при действии ионов углерода (C^+) с различной энергией ($E = 200, E = 2000, E = 20000$) для Т30К4

Переход к более тяжёлому иону (C^+) приводит к более значительному отклонению значений размеров зерна для ионов различных энергий (200, 2000, 20000 эВ), причём наблюдаются эквидистантные кривые (рис. 2, а) для минимальной глубины залегания,

тогда как для максимальной глубины – реализуется практически прямая (рис. 2).

Для иона азота реализуются кривые для энергий 2000, 20000 эВ, тогда как для 200 эВ наноструктуры образуются, начиная с поверхности материала (рис. 3, а). В этом случае для максимальной глубины залегания размер зерна растёт практически по прямой (рис. 3, б).

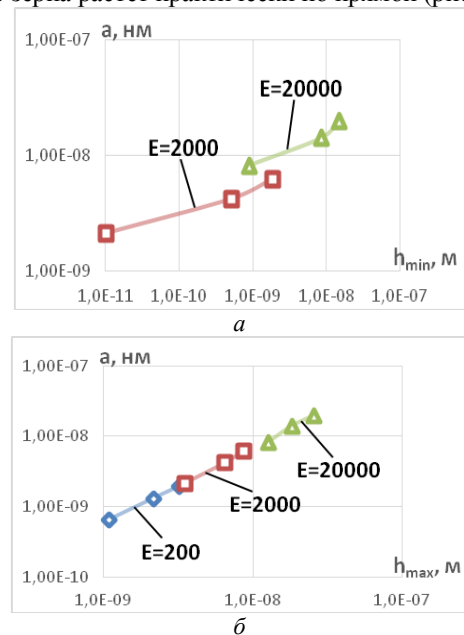


Рис. 3 – Зависимость размера зерна нанокластера (НК) от минимальной (а) и максимальной (б) глубины залегания НК при действии ионов азота (N^+) с различной энергией ($E = 200, E = 2000, E = 20000$) для Т30К4

Использование иона алюминия также приводит к наличию эквидистантных кривых для энергий 2000, 20000 эВ. При 200 эВ образования наноструктур начинается с поверхности (рис. 4, а), с ростом же максимального значения глубины залегания растёт и размер зерна (рис. 4, б).

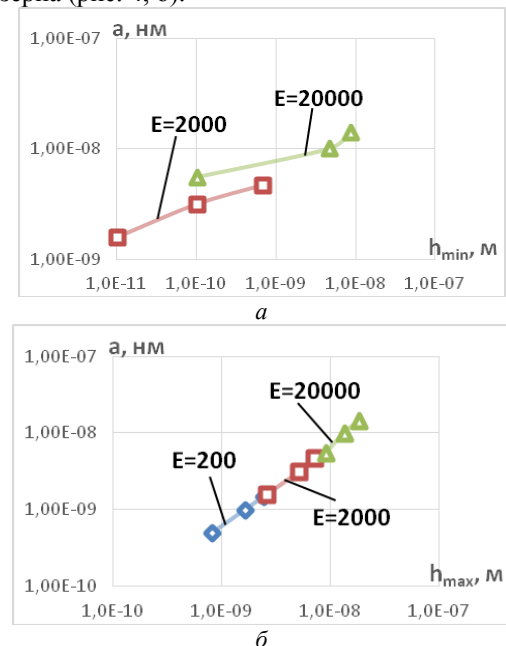


Рис. 4 – Зависимость размера зерна нанокластера (НК) от минимальной (а) и максимальной (б) глубины залегания НК при действии ионов алюминия (Al^+) с различной энергией ($E = 200, E = 2000, E = 20000$) для Т30К4

В этом случае, как и во всех предыдущих, для меньших энергий реализуются меньшие размеры зерна. Действия же иона ванадия на ТС Т30К4 приводит к изменению характера зависимости размера зерна от минимальной глубины залегания нанокластера. Здесь существуют разрывы по значению глубины залегания, тогда как в предыдущем случае мы имеем два значения размера зерна при одной и той же глубине залегания при разных энергиях (рис. 5, а). Характер зависимости размера зерна от максимальной глубины залегания практически сохранился (рис. 5, б).

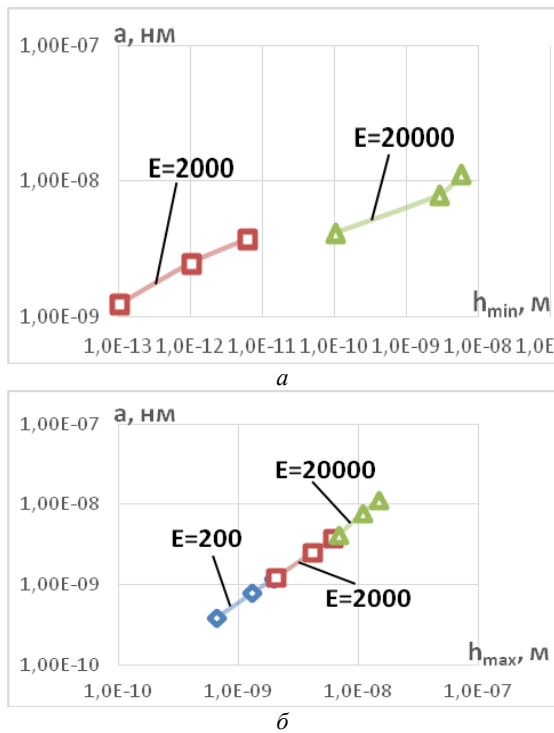


Рис. 5 – Зависимость размера зерна нанокластера (НК) от минимальной (а) и максимальной (б) глубины залегания НК при действии ионов алюминия (V^+) с различной энергией ($E = 200, E = 2000, E = 20000$) для Т30К4

Для более тяжёлого иона хрома характер зависимости практически сохранился, но зависимость размера зерна от минимальной глубины залегания представлена только для энергии 20000 эВ, тогда как для других энергий наноструктуры начинают образовываться с поверхности (рис. 6, а). Характер зависимости размера зерна от максимальной глубины залегания сохранился (рис. 6, б).

Для иона кислорода зависимость зерна от минимальной глубины залегания имеет две кривые для энергий 2000 и 20000 эВ, так как ион кислорода легче, чем ранее рассмотренные (рис. 7, а), а зависимость размера зерна от максимальной глубины залегания имеет линейный характер (рис. 7, б)

Переход к более тяжёлым ионам (железо и никель) приводит к тому, что зависимости размера зерна от минимальной глубины залегания реализуется только кривая для 2000 эВ, когда как для других энергий наноструктуры начинают образовываться на поверх-

ности (рис. 8, а; 9, а). Зависимости же размера зерна от максимальной глубины залегания сохранились.

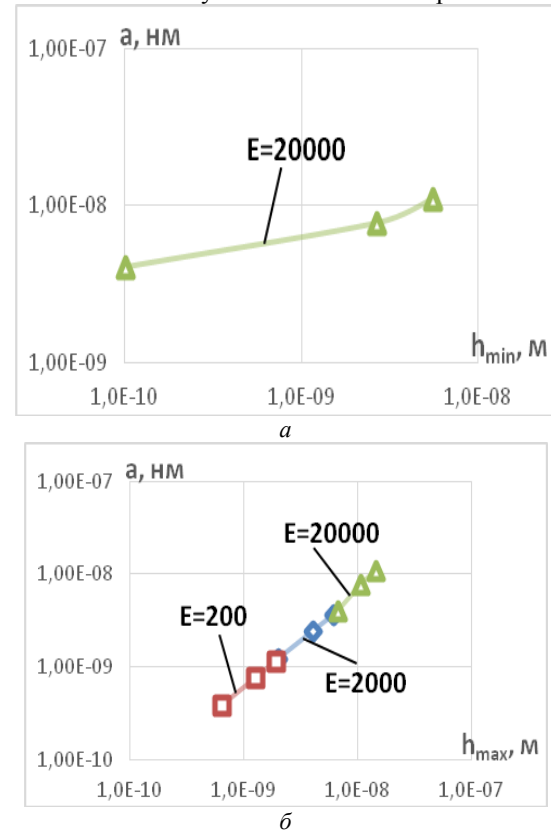


Рис. 6 – Зависимость размера зерна нанокластера (НК) от минимальной (а) и максимальной (б) глубины залегания НК при действии ионов алюминия (Cr^+) с различной энергией ($E = 200, E = 2000, E = 20000$) для Т30К4

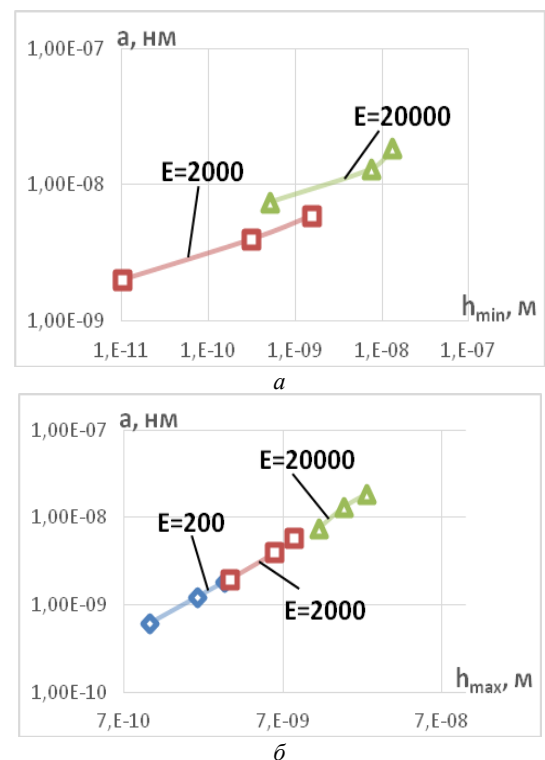


Рис. 7 – Зависимость размера зерна нанокластера (НК) от минимальной (а) и максимальной (б) глубины залегания НК при действии ионов алюминия (O^+) с различной энергией ($E = 200, E = 2000, E = 20000$) для Т30К4

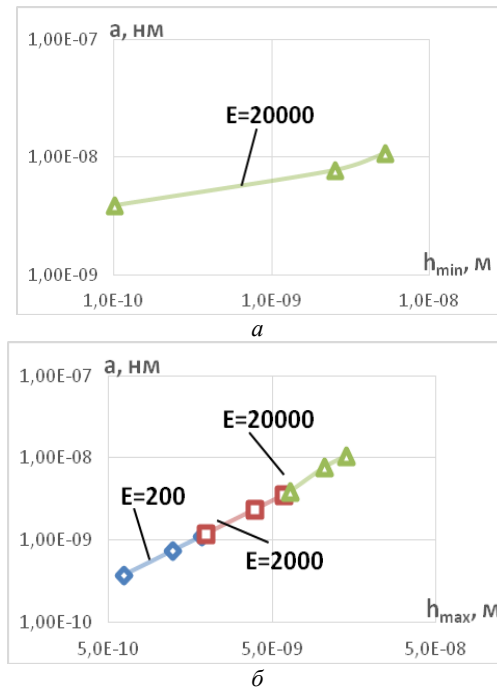


Рис. 8 – Зависимость размера зерна нанокластера (НК) от минимальной (а) и максимальной (б) глубины залегания НК при действии ионов алюминия (Fe^+) с различной энергией ($E = 200$, $E = 2000$, $E = 20000$) для Т30К4

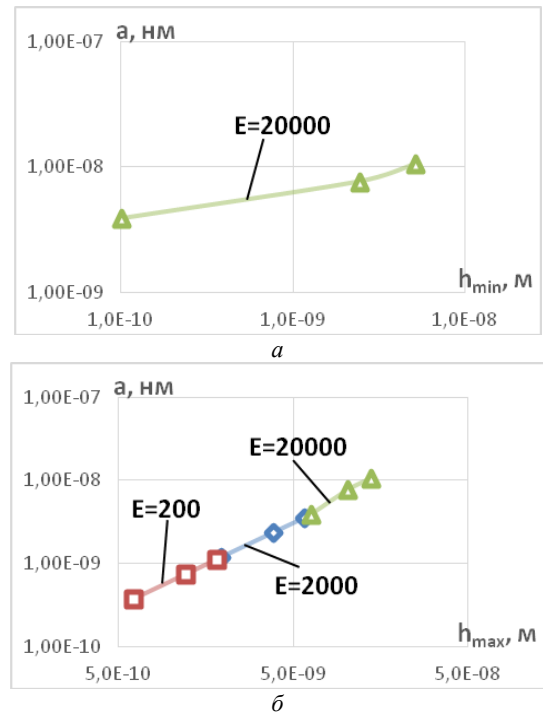


Рис. 10 – Зависимость размера зерна нанокластера (НК) от минимальной (а) и максимальной (б) глубины залегания НК при действии ионов алюминия (Co^+) с различной энергией ($E = 200$, $E = 2000$, $E = 20000$) для Т30К4

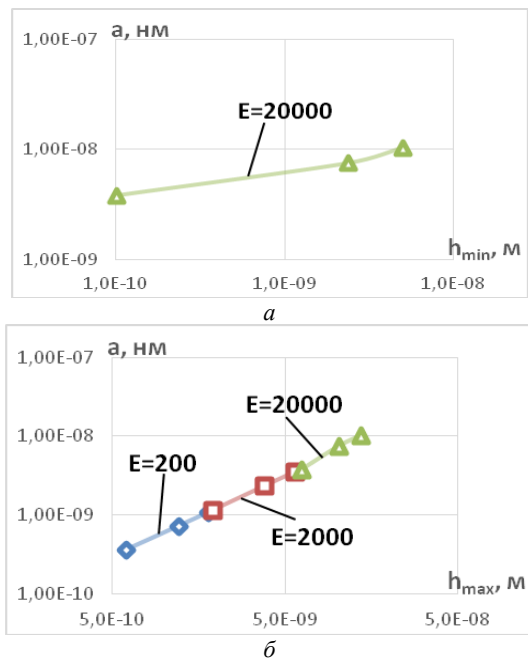


Рис. 9 – Зависимость размера зерна нанокластера (НК) от минимальной (а) и максимальной (б) глубины залегания НК при действии ионов алюминия (Ni^+) с различной энергией ($E = 200$, $E = 2000$, $E = 20000$) для Т30К4

Действие ионов кобальта, иттрия и циркония также приводит к тому, что размер зерна зависит только от минимальной глубины залегания для энергии 20000 эВ, тогда как при меньших энергиях наноструктуры образуются с поверхности (рис. 10, а, 11, а, 12, а). Для этих ионов зависимость размера зерна от максимальной глубины залегания практически сохранилась (рис. 10, б, 11, б; 12, б).

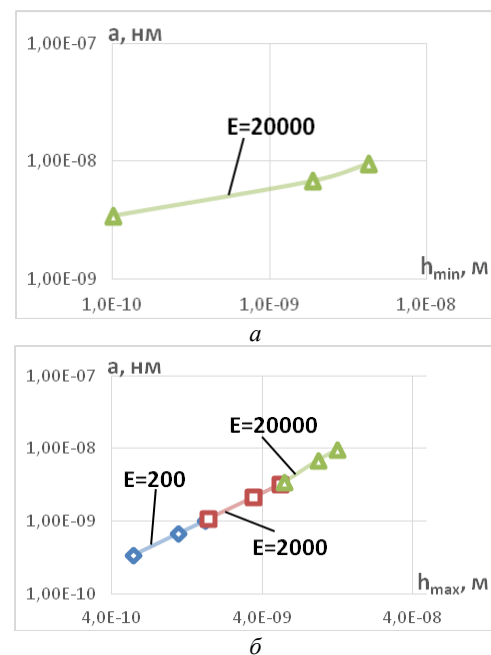


Рис. 11 – Зависимость размера зерна нанокластера (НК) от минимальной (а) и максимальной (б) глубины залегания НК при действии ионов алюминия (Y^+) с различной энергией ($E = 200$, $E = 2000$, $E = 20000$) для Т30К4

Анализ зависимости размера зерна НК от минимальной глубины залегания при действии ионов молибдена, гафния, тантала, вольфрама и платины имеет кривые только для энергии 20 КэВ. При других исследуемых энергиях наноструктуры образуются с поверхности (рис. 13, а, 14, а, 15, а, 16, а, 17, а).

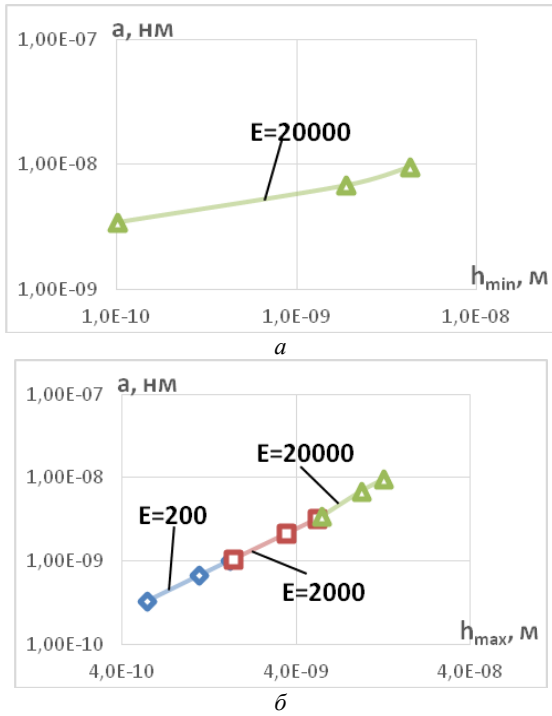


Рис. 12 – Зависимость размера зерна нанокластера (НК) от минимальной (а) и максимальной (б) глубины залегания НК при действии ионов алюминия (Zr^{+}) с различной энергией ($E = 200$, $E = 2000$, $E = 20000$) для Т30К4

Зависимость же размера зерна от максимальной глубины залегания для этих ионов практически имеет вид такой же, как и для предыдущих (рис. 13, б, 14, б, 15, б, 16, б, 17, б).

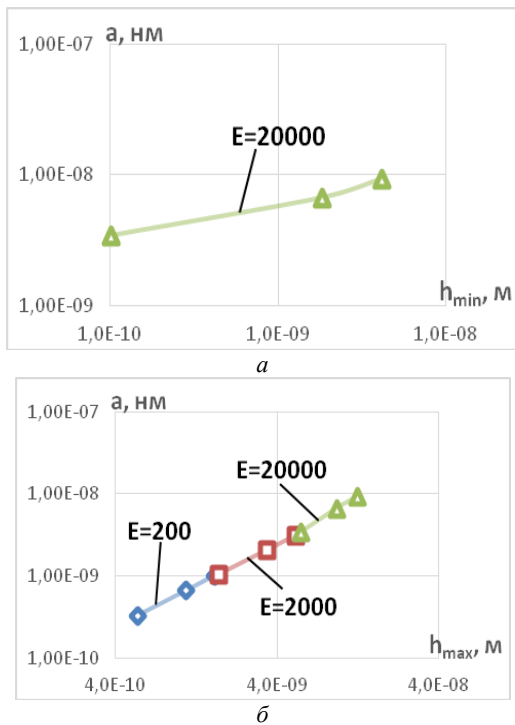


Рис. 13 – Зависимость размера зерна нанокластера (НК) от минимальной (а) и максимальной (б) глубины залегания НК при действии ионов алюминия (Mo^{+}) с различной энергией ($E = 200$, $E = 2000$, $E = 20000$) для Т30К4

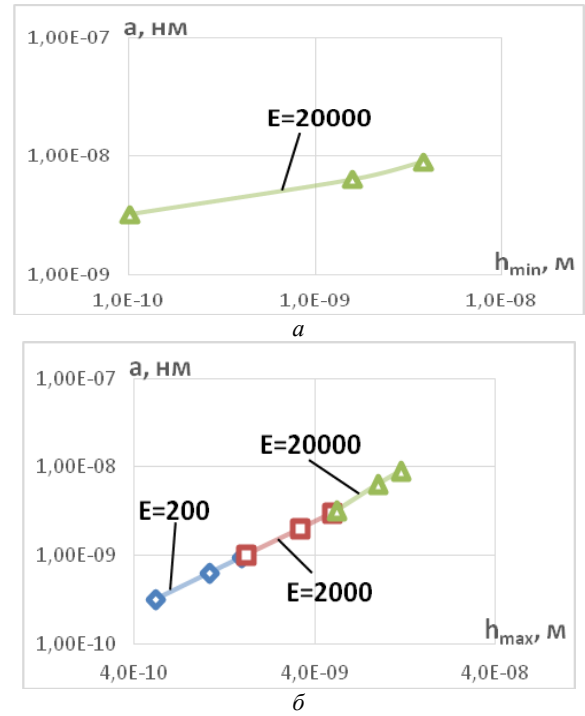


Рис. 14 – Зависимость размера зерна нанокластера (НК) от минимальной (а) и максимальной (б) глубины залегания НК при действии ионов алюминия (Hf^{+}) с различной энергией ($E = 200$, $E = 2000$, $E = 20000$) для Т30К4

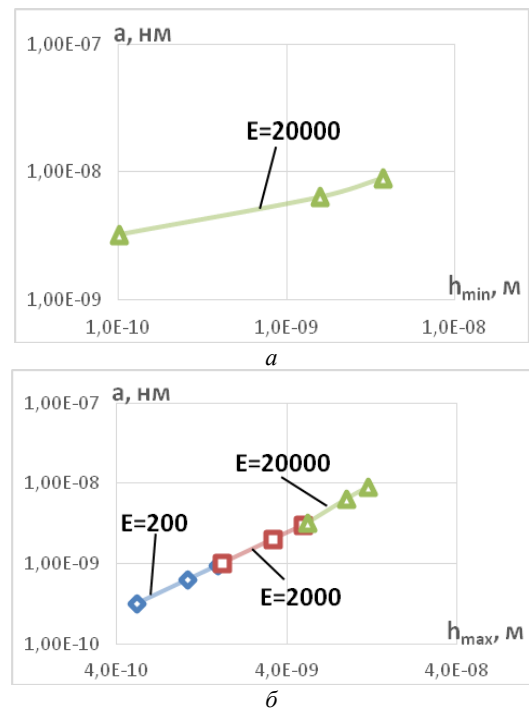


Рис. 15 – Зависимость размера зерна нанокластера (НК) от минимальной (а) и максимальной (б) глубины залегания НК при действии ионов алюминия (Ta^{+}) с различной энергией ($E = 200$, $E = 2000$, $E = 20000$) для Т30К4

Зная минимальную и максимальную глубину залегания для каждого из сортов ионов и зарядового числа ($z = 1$, $z = 2$, $z = 3$), определяются размеры слоя, в которых будут реализованы наноструктуры. Варьируя сортом иона, его зарядом и энергией, мы можем выбирать слои таким образом, чтобы каждый последующий слой увеличивал зону образования НС.

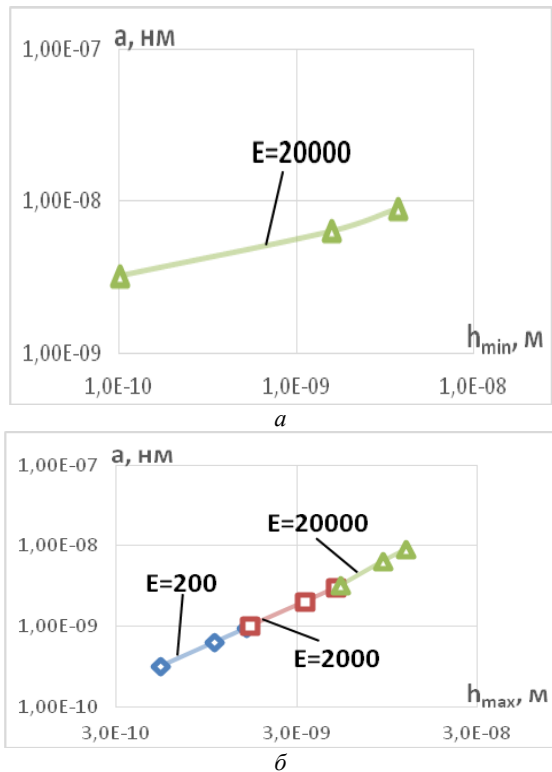


Рис. 16 – Зависимость размера зерна нанокластера (НК) от минимальной (а) и максимальной (б) глубины залегания НК при действии ионов алюминия (W^+) с различной энергией ($E = 200$, $E = 2000$, $E = 20000$) для Т30К4

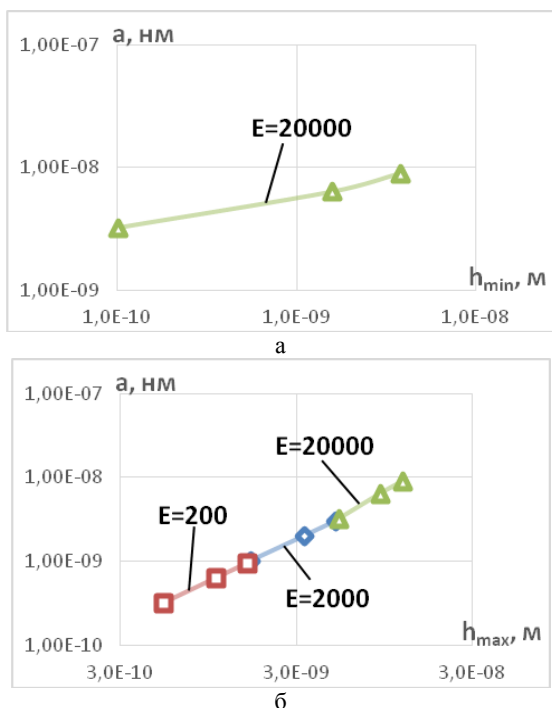


Рис. 17 – Зависимость размера зерна нанокластера (НК) от минимальной (а) и максимальной (б) глубины залегания НК при действии ионов алюминия (Pt^+) с различной энергией ($E = 200$, $E = 2000$, $E = 20000$) для Т30К4

Следовательно, мы можем конструировать слои наноструктур необходимых геометрических размеров, а с учётом влияния размера зерна на физико-механические и эксплуатационные характеристики

детали и режущего инструмента обеспечить высокую работоспособность и эффективность РИ и детали.

Выводы.

1) Исследование зависимости размеров зерна от минимальной и максимальной глубины залегания показали, что зависимость размера зерна от минимальной глубины залегания для лёгких ионов реализуется практически для всех энергий (от бора до азота). Повышение массы иона приводит к образованию НС при энергии 200 эВ начиная с поверхности (ионы кислорода, алюминия и ванадия). Дальнейшее увеличение массы ионов (железо, никель, иттрий, цирконий, молибден, гафний, тантал, вольфрам, платина) приводит к тому, что минимальная глубина залегания реализуется только для энергии 20 кэВ. Для энергии 200 и 2000 эВ НС начинают образовываться с поверхности.

2) Проведенные исследования позволяют конструировать слои НС с разным размером зерна на значительной глубине в материале, причём, варьируя сортом, зарядом и энергией ионов, можно обеспечивать различные свойства материала по глубине, т.е. получить перемежающиеся слои твердого и мягкого материала. Можно изменять адгезионное взаимодействие контактирующих материалов, что важно для деталей пар трения и РИ. Всё это, в конечном счете, даст возможность конструировать поверхностные слои материала с заданными свойствами.

Список литературы

1. Костюк Г. И. Эффективный режущий инструмент с нанопокрывтиями 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 нанопокрывтия: 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 АНУ, 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 металлоредение. – 2003. – Т. 91, № 1. – С.50 – 56.

Bibliography (transliterated)

1. Kostyuk, G. I. *Effektivnyy rezhushchiy 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 rezhushchiy instrument s pokrytiem 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 rezhushchiy instrument s pokrytiem i uprochnennym sloyem: sprav* [Effective cutting tool coated with a layer of reinforced] – Kiev, AINU, 2003. 412 p.
 8. Grechikhin, L. I. *Fizika nanochastits i nanote-khnologii* [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. – Vol. 91, № 1. – p.p. 50 – 56.

Поступила (received) 14.11.16

Бібліографічні описи / Библиографические описания / Bibliographic descriptions

Вибір технологічних параметрів іонів для отримання наноструктур необхідного розміру зерна в твердих сплавах Т30К4 / Г. І. Костюк // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Технології в машинобудуванні. – Х. : НТУ «ХПІ», 2016. – № 33 (1205). – С. 43–49. – Бібліогр.: 11 назв. – ISSN 2079-004X.

Выбор технологических параметров ионов для получения наноструктур требуемого размера зерна в твердом сплаве Т30К4 / Г. И. Костюк // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Технології в машинобудуванні. – Харків : НТУ «ХПІ», 2016. – № 33 (1205). – С. 43–49. – Библиогр.: 11 назв. – ISSN 2079-004X.

Study opportunities nanostructures on hard alloy WCCo8 under pulsed laser radiation of short duration / G. I. Kostyuk // Bulletin of NTU "KhPI". Series: Techniques in a machine industry. – Kharkov : NTU "KhPI", 2016. – No. 33 (1205). – P.43–49. – Bibliogr.: 11. – ISSN 2079-004X.

Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

Костюк Геннадій Ігорович – доктор технічних наук, професор, професор Національного аерокосмічного університету «Харківський авіаційний інститут», 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», 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.