

УДК 621.865.6

*Г.И. КОСТЮК, РАЗМАДЖУИ БЕХЗАД***ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ПОЛУЧЕНИЯ НАНОСТРУКТУР НА ТВЕРДОМ СПЛАВЕ ВК8 ПРИ ДЕЙСТВИИ ИМПУЛЬСНОГО ЛАЗЕРНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ МАЛОЙ ДЛИТЕЛЬНОСТИ**

Досліджено максимальні температури і максимальні температурні напруження при дії лазерного випромінювання щільністю теплового потоку від $10^{12}...10^{16}$ Вт / м² і часу дії $10^{-16}...10^{-10}$ с. Також для цих режимів наведено швидкості зростання температури і отримано просторові картини залежностей об'єму нанокластера від щільності теплового потоку та часу його дії при двох розмірах плями $5 \cdot 10^7$ і 10^6 м. Усе це дозволяє знайти технологічні режими отримання наноструктур у твердому сплаві ВК8 і вибирати їх з урахуванням можливостей технологічних установок і найнижчий рівень споживання електроенергії.

Ключові слова: наноструктури, твердий сплав, фемтосекундний лазер.

Исследованы максимальные температуры и максимальные температурные напряжения при действии лазерного излучения плотностью теплового потока $10^{12}...10^{16}$ Вт / м² и времени действия $10^{-16}...10^{-10}$ с. Также для этих режимов исследованы скорости нарастания температуры и получены пространственные картины зависимостей объёма нанокластера от плотности теплового потока и времени его действия при двух размерах пятна $5 \cdot 10^7$ и 10^6 м.

Всё это позволяет найти технологические режимы получения наноструктур в твёрдом сплаве ВК8 и выбирать их с учётом возможности технологических установок и минимального энергопотребления.

Ключевые слова: наноструктури, твердый сплав, фемтосекундний лазер.

In the paper, the maximum temperature and maximum thermal stresses under the action of laser radiation heat flux from $10^{12}...10^{16}$ W / m², and the time of action of $10^{-16}...10^{-10}$ seconds. Also for these regimes investigated the rate of rise of temperature and obtained the spatial pattern dependencies nanocluster volume of the heat flux density and the time of its action in two sizes $5 \cdot 10^7$ and 10^7 m.

All this allows you to find process conditions for fabricating nanostructures in solid alloy WC0,92+Co0,08 and select them taking into account the possibility of technological installations and minimal power consumption.

Keywords: nanostructures, hard alloy, femtosecond laser.

Введение. В настоящее время появились лазерные установки, работающие в фемтосекундном диапазоне времени и обеспечивающие высокие частоты следования импульса, что позволяет использовать их в технологических установках. В то же время есть возможность использовать и обычные лазеры, действующие при времени порядка $10^{-12}...10^{-10}$ с и относительно невысоких плотностях теплового потока 10^{12} Вт/м². Такие исследования теоретически не проводились особенно в фемтосекундном диапазоне времени, что говорит о важности этого исследования для повышения работоспособности и эффективности режущего инструмента из твёрдого сплава ВК8.

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. Несмотря на то что исследованию наноструктур посвящено большое количество

работ, включая монографии [1 - 11], а теоретическому исследованию получения наноструктур значительное количество работ [1 - 3], да и они посвящены получению наноструктур при действии потоков заряженных частиц. Серьёзных теоретических исследований получения НС при действии лазерного излучения, действующего в фемтосекундном диапазоне, практически не проводилось, исключение составило несколько наших работ [10 - 11]. В случае фемтосекундных лазеров процессы протекают очень быстро и очевидно, что теплофизические и термомеханические характеристики, полученные классическими методами, могут быть неприемлемы, поэтому необходимо использовать их теоретические значения, полученные привлекая квантово механический подход.

Всё изложенное выше говорит об актуальности и своевременности проводимого исследования для машиностроения и в частности производства режущего инструмента из твёрдых сплавов, что позволит значительно повысить эффективность (снимаемый объём материала за период стойкости) и работоспособность инструмента.

Постановка задачи исследования. Проводилось решение совместной задачи теплопроводности и термоупругости в зоне действия лазерного излучения на твёрдый сплав ВК8, причём теплофизические и термомеханические характеристики материала рассчитывались с применением квантово механического подхода.

В результате расчётов получены поля температур и температурных напряжений, скорости роста температур, а также объём нанокластера в зависимости от технологических режимов обработки. Учитывая критерии наноструктур, рассчитывались объёмы

© Г.И. Костюк, Размаджуй Бехзад, 2016

зон, где возможно получения наноструктур и фиксировались их технологические параметры образования.

Результаты расчётов и их обсуждение.

Результаты исследования зависимости максимальных температур на разных глубинах в зависимости от плотности теплового потока показаны на рис. 1 для различного времени действия: а – $t = 10^{-10}$ с;

б – $t = 10^{-11}$ с; в – $t = 10^{-12}$ с; г – $t = 10^{-13}$ с; д – $t = 10^{-14}$ с; е – $t = 10^{-15}$ с; ж – $t = 10^{-16}$ с.

Видно, что в зоне температур, необходимых для получения наноструктур (500...1500 К), лежит значительная область от $x = 0$ до $x = 2,37 \cdot 10^{-7}$ при $t = 10^{-10}$ с. Тогда как при $t = 10^{-13}$ с эта зона уменьшилась от $x = 0$ до $x = 7,48 \cdot 10^{-9}$ м, а при $t = 10^{-16}$ с она уже снижается 10^{-10} м.

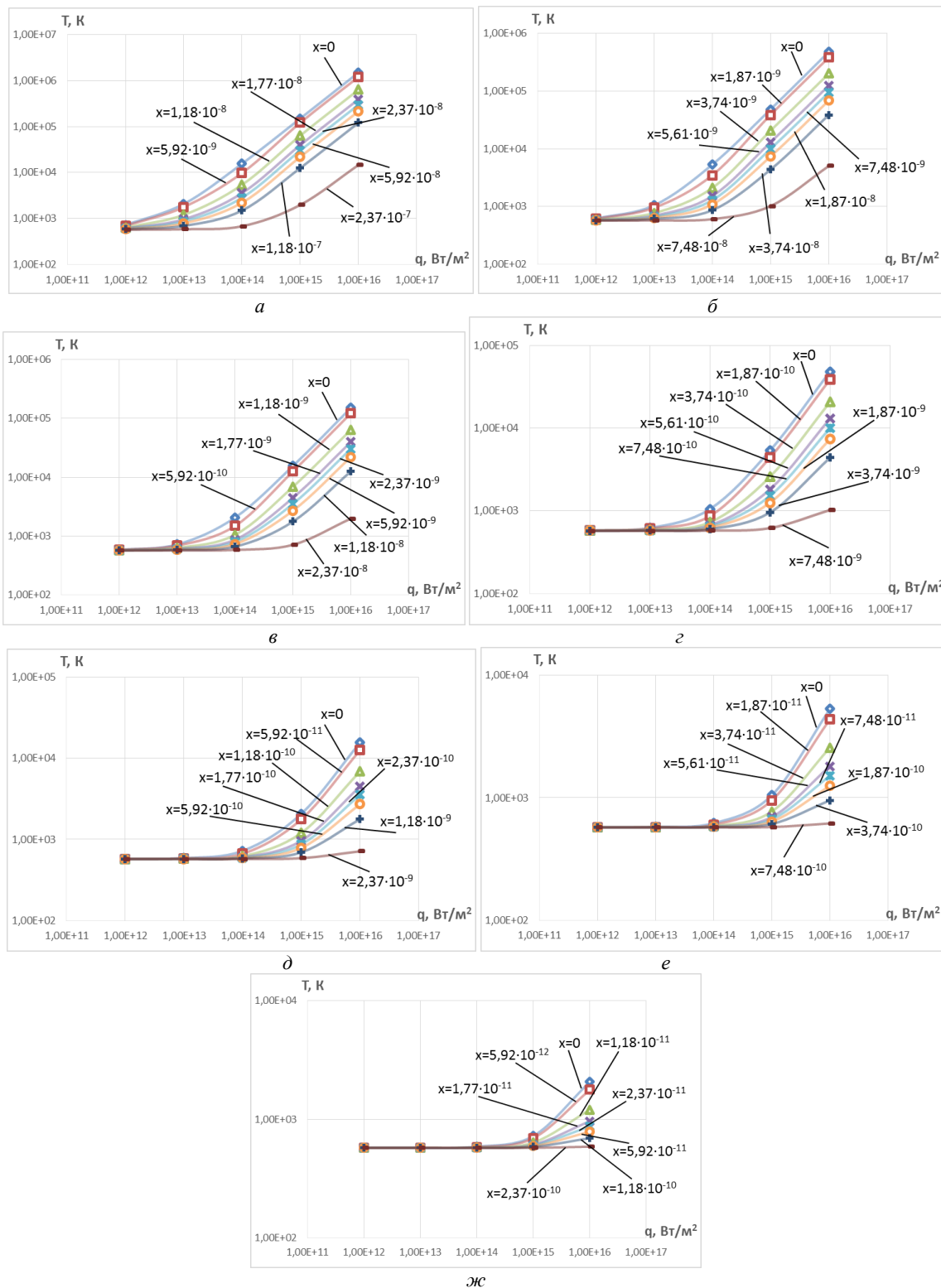


Рис. 1 – Зависимость максимальной температуры в зоне действия лазерного излучения на ВК8 от плотности теплового потока на разных глубинах при времени действия: а – $t = 10^{-10}$ с; б – $t = 10^{-11}$ с; в – $t = 10^{-12}$ с; г – $t = 10^{-13}$ с; д – $t = 10^{-14}$ с; е – $t = 10^{-15}$ с; ж – $t = 10^{-16}$ с

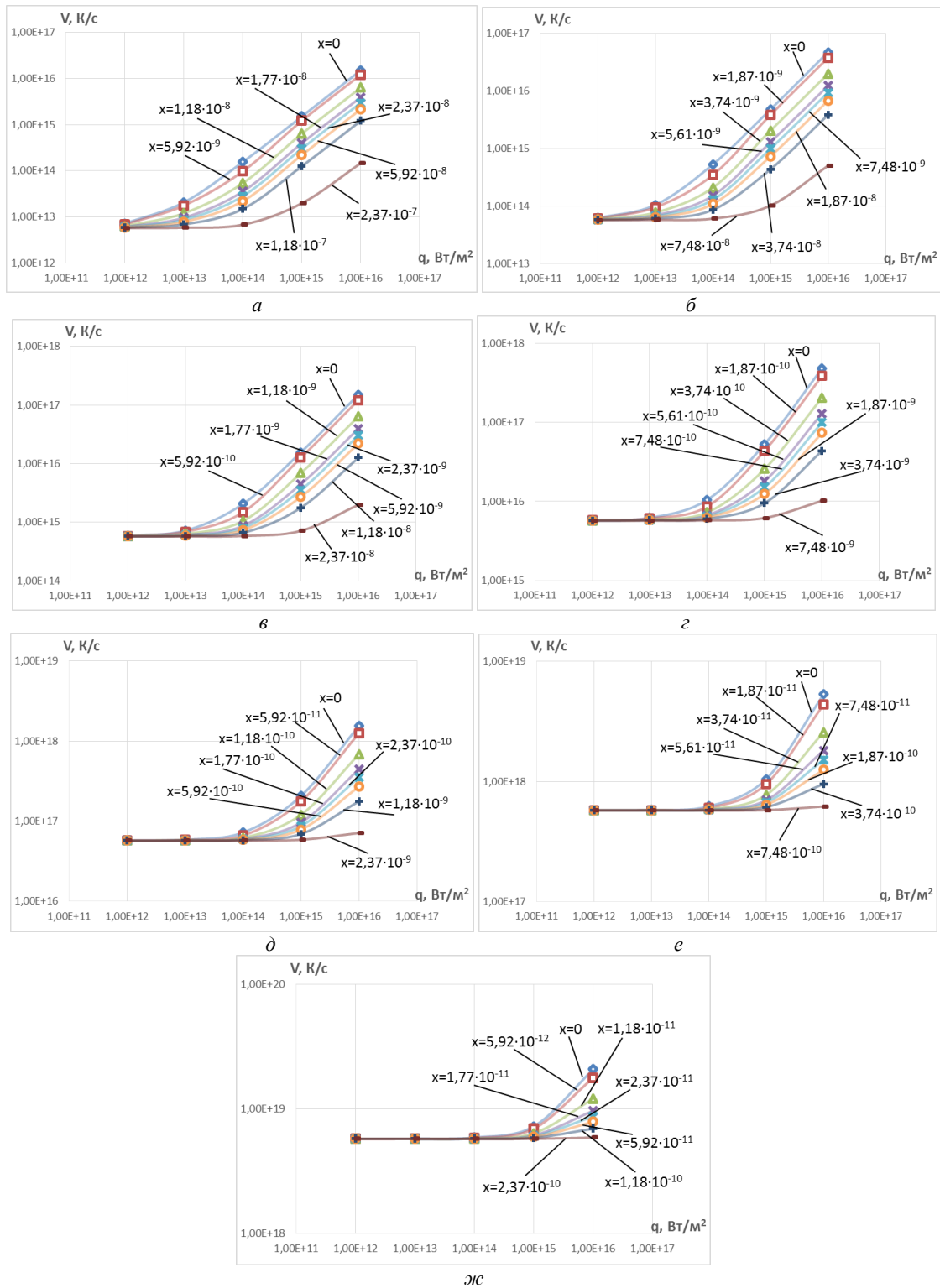


Рис. 2 – Зависимость скорости изменения температуры в зоне действия лазерного излучения на ВК8 от плотности теплового потока на разных глубинах при времени действия: а – $t = 10^{-10}$ с; б – $t = 10^{-11}$ с; в – $t = 10^{-12}$ с; г – $t = 10^{-13}$ с; д – $t = 10^{-14}$ с; е – $t = 10^{-15}$ с; ж – $t = 10^{-16}$ с

На рис. 2 показаны скорости изменения максимальной температуры на твёрды сплав ВК8 от плотности теплового потока на разных глубинах при том же времени действия.

Анализ этих зависимостей показывает, что практически для всех режимов по критерию скорости нарастания максимальной температуры условия образования НС выдерживается (более 10^7 K/c).

Анализ этих зависимостей показывает, что практически для всех режимов по критерию скорости нарастания максимальной температуры условия образования НС выдерживается (более 10^7 K/c).

На рис. 3 показаны зависимости температурных напряжений в зоне действия лазерного излучения на ВК8 от плотности теплового потока на разных глубинах при том же времени действия. Видно, что при

большем времени действия и значительных плотностях теплового потока температурные напряжения могут приближаться до 10^{12} Па. С уменьшением времени они уменьшаются и составляют 10^{10} Па при 10^{13} с, и снижаются до 10^9 Па при 10^{-16} с.

Анализ зависимостей на рис. 3 позволяет заключить, что значения температурных напряжений высоки и в ряде случаев они могут непосредственно приводить к образованию наноструктур, а в остальных – существенно ускорять получение наноструктур.

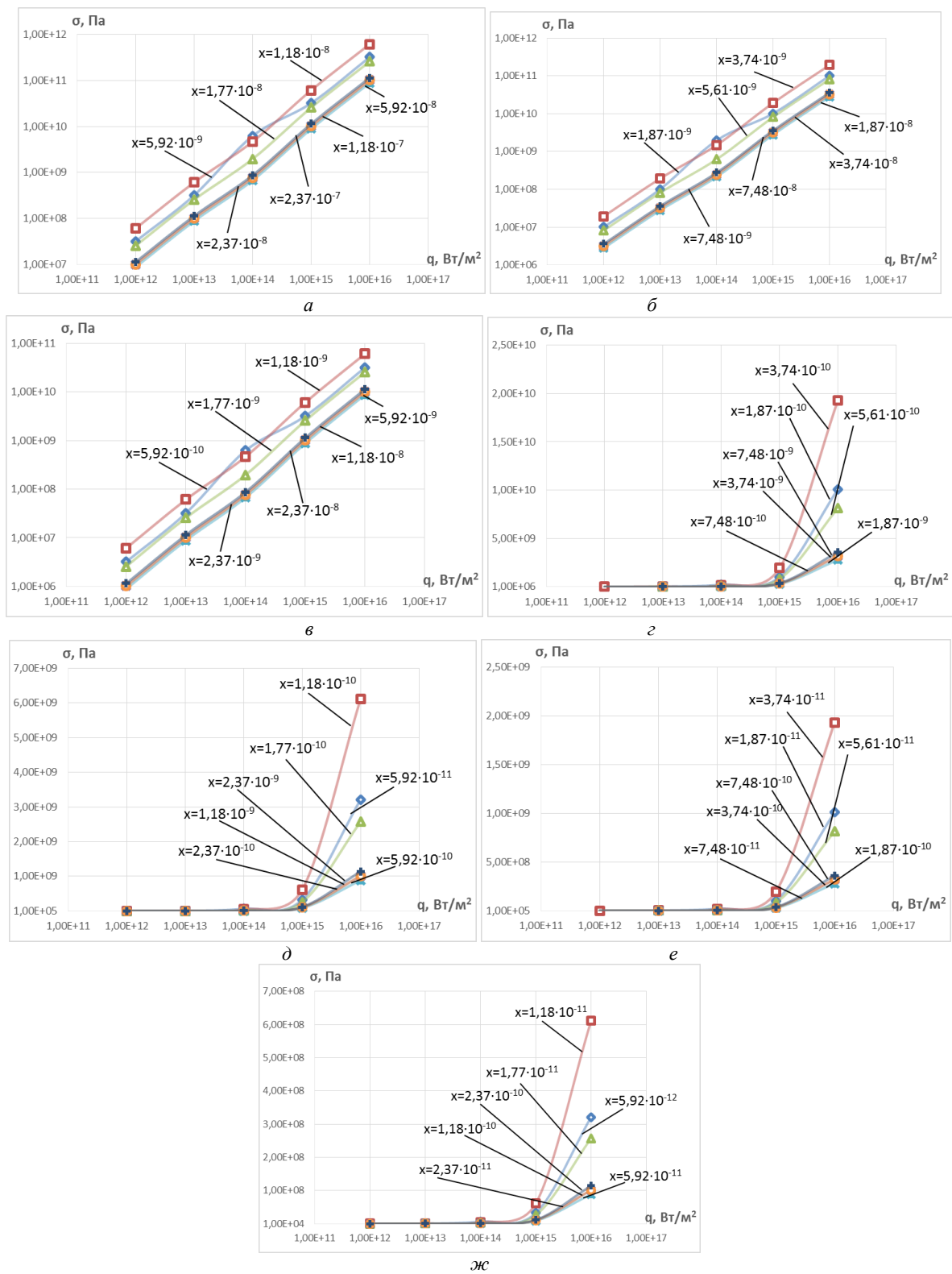


Рис. 3 – Зависимость температурных напряжений в зоне действия лазерного излучения на ВК8 от плотности теплового потока на разных глубинах при времени действия: а – $t = 10^{-10}$ с; б – $t = 10^{-11}$ с; в – $t = 10^{-12}$ с; г – $t = 10^{-13}$ с; д – $t = 10^{-14}$ с; е – $t = 10^{-15}$ с; ж – $t = 10^{-16}$ с

Для решения вопроса выбора технологических параметров необходимых для получения наноструктур построены трехмерные зависимости объема нанокластера от плотности теплового потока лазерного излучения и времени его действия для радиуса пятна $R=10^{-6}$ м (рис. 4) и $R=5 \cdot 10^{-7}$ м (рис. 5). Полученные поверхности позволяют выбрать технологические режимы в зависимости от требуемого зерна, его объема, есть также возможность выбора технологических параметров: плотности теплового потока излучения и времени его действия.

В случае, когда известны физико-механические характеристики материала в зависимости от размера зерна [1 - 4] и требуемые свойства обработанного материала (техническое задание) можно выбрать необходимый размер зерна, а определив объем его по зависимостям (рис. 4 и 5), можно получить необходимые технологические параметры для достижения требуемых физико-механических характеристик.

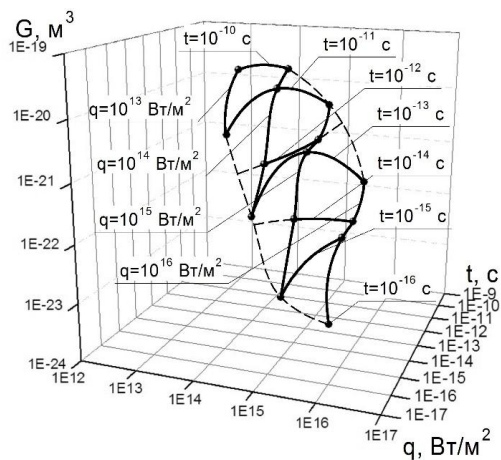


Рис. 4 – Зависимость объема нанокластера от плотности теплового потока лазерного излучения – q и времени его действия t в зоне, где образуются наноструктуры ($R=10^{-6}$ м) (BK8)

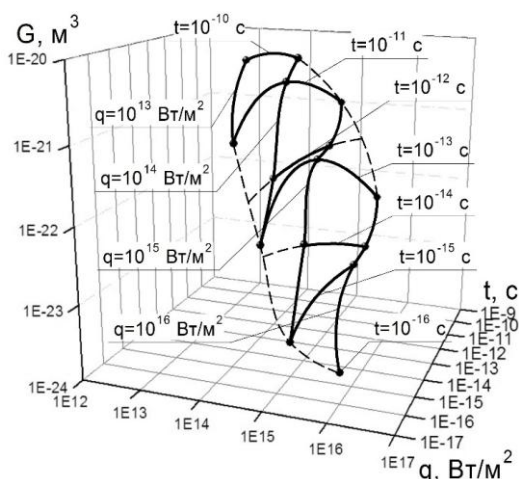


Рис. 5 – Зависимость объема нанокластера от плотности теплового потока лазерного излучения q и времени его действия t в зоне, где образуются наноструктуры ($R=5 \cdot 10^{-7}$ м) (BK8)

Всё это говорит о том, что есть возможность научных предпосылок для выбора технологических

параметров лазерной обработки как при действии обычного лазера, так и фемтосекундного.

Выводы. Получены зависимости максимальных температур и температурных напряжений, а также скорости роста максимальной температуры, что позволяет оценить технологические параметры, при которых есть вероятность получения наноструктур.

Показано, что в зоне исследованных технологических параметров лазера плотность теплового потока в диапазоне $10^{12} \dots 10^{16}$ Вт/м² и времени действия $10^{-16} \dots 10^{-10}$ с обнаружено, что есть реальная возможность получения НС только вследствие действия температурных напряжений в отдельных режимах, тогда как в остальных режимах температурные напряжения ускоряют образование НС. Скорости роста температур практически всегда обеспечивают высокую вероятность получения НС.

Проведенное исследование позволяет определить необходимые технологические параметры для получения требуемых физико-механических характеристик (ФМХ), если имеются для данного материала зависимости разных ФМХ от размера зерна.

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 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 металловедение. – 2003. – Т. 91, № 1. – С.50 – 56.

Bibliography (transliterated)

1. Kostyuk, G. I. *Effektivnyy rezhashchiy 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. tekhnologii, 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 tekhnologii: 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 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 rezhushchiy instrument s pokrytiyem 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. – T. 91, № 1. – p.p. 50 – 56.

Поступила (received) 04.08.2016

Дослідження можливості отримання наноструктур на твердих сплавах ВК8 при дії імпульсного лазерного випромінювання малої тривалості / Г. І. Костюк, Размджуй Бехзад // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Технології в машинобудуванні. – Х. : НТУ «ХПІ», 2016. – № 33 (1205). – С. 7–12. – Бібліогр.: 11 назв. – ISSN 2079-004X.

Исследование возможности получения наноструктур на твердом сплаве ВК8 при действии импульсного лазерного излучения малой длительности / Г. И. Костюк, Размджуй Бехзад // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Технології в машинобудуванні. – Харків : НТУ «ХПІ», 2016. – № 33 (1205). – С. 7–12. – Библиогр.: 11 назв. – ISSN 2079-004X.

Study opportunities nanostructures on hard alloy WCCo8 under pulsed laser radiation of short duration / G. I. Kostyuk, Razmdzhui Bekhzad // Bulletin of NTU "KhPI". Series: Techniques in a machine industry. – Kharkov : NTU "KhPI", 2016. – No. 33 (1205). – P.7–12. – 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 Геннадій Ігорович – доктор технических наук, профессор Национального аэрокосмического университета им. Н. Е. Жуковского «ХАИ», м. 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;

Размджуй Бехзад – аспірант, кафедри теоретичної механіки, машинознавства і роботомеханічних систем, Національний аерокосмічний університет ім. М. С. Жуковського «Харківський авіаційний інститут», м. Харків; тел.: (057) 788-42-06; e-mail: gennadiykostuk206@gmail.com;

Размджуй Бехзад – аспирант кафедры теоретической механики, машиноведения и роботомеханических систем, Национальный аэрокосмический университет им. Н. Е. Жуковского «Харьковский авиационный институт», г. Харьков; тел.: (057) 788-42-06; e-mail: gennadiykostuk206@gmail.com;

Razmdzhui Behzad – graduate student at the Department of Theoretical Mechanics, Mechanical Engineering and Robotic-Mechanical systems, the National Aerospace University named by N. E. Zhukovsky «Kharkov aviation institutes», Kharkov; tel.: (057) 788-42-06; gennadiykostuk206@gmail.com