

Г.И. КОСТЮК, д-р техн. наук, проф., НАУ «ХАИ», Харьков;
В.Н. ПАВЛЕНКО, канд. техн. наук, доц., НАУ «ХАИ», Харьков

ТЕМПЕРАТУРНЫЕ НАПРЯЖЕНИЯ В ЗОНЕ ДЕЙСТВИЯ ИОНОВ РАЗНЫХ СОРТОВ, ЗАРЯДОВ И ЭНЕРГИЙ И ИХ ВЛИЯНИЕ НА ОБРАЗОВАНИЕ НАНОСТРУКТУР

Рассмотрены температурные напряжения в зоне начала зарождения наноструктуры и максимальные значения температурных напряжений в нанокластере в зависимости от энергии и заряда ионов С, В, N, Al, Ti, V, Cr, Fe, Ni, Co, Y, Zr, Nb, Mo, Hf, Ta, W, Pt, показана возможность ускорения процесса образования наноструктур, а в отдельных случаях самостоятельного их образования на стали.

Ключевые слова: температурные напряжения, наноструктуры, ионы.

Введение.

Для получения нанокристаллических структур на поверхности, как известно, необходимо создание определенных температур (или скорости ее нарастания), давлений в нужном объеме и наличие атома металла, вокруг которого формируется наноструктура.

За счет действия ионов различных сортов, энергий, зарядности, плотностей токов есть возможность сохранения достаточных температур (за счет соответствующего распределения температур температурного поля по глубине обеспечивается высокая средняя температура), в то же время, выбирая расположение поля по глубине (варьируя энергии, зарядности и сорт частиц), обеспечиваем высокие градиенты температур. Следовательно, в довольно большом объеме материала будут действовать значительные по величине напряжения, т.е. будут выполняться условия для получения кристаллических структур.

Работа выполнялась в рамках программы Министерства образования и науки, молодежи и спорта 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 материала аэрокосмических конструкций" и "Разработка технологических основ интегрированных технологий плазменно-ионной обработки деталей аэрокосмической техники", а также в рамках хозяйственных работ и договоров о сотрудничестве.

Анализ основных достижений и литература.

Как показано в работах [1–10], действие заряженных частиц на конструкционные материалы приводит к появлению в материале на глубине довольно высоких температур при действии индивидуальных ионов разных сортов, и в зоне теплового воздействия есть вероятность появления температурных напряжений значительной величины, что подтверждает возможность

появления локальных зон, где достигаются условия возникновения наноструктур.

Для того чтобы такие условия реализовались в значительном объеме (действие высоких температур и напряжений), также необходимо обеспечить максимальное заполнение поля температур с повышенными температурами и в то же время сохранить зоны с максимальными градиентами температур, когда реализуются высокие значения температурных напряжений. Очевидно, простым увеличением плотностей ионного тока этого достичь будет нельзя, так как с ростом плотности тока градиенты температур в зоне действия соседних частиц снижаются, а следовательно, снижаются величины температурных напряжений и условия образования наноструктур не выполняются.

Поэтому, несколько модернизировав модель действия индивидуальных частиц на конструкционные материалы [1–10], получим модель, учитывающую необходимые факторы (в частности, в модели не учитывались зарядность иона и характер их сложного взаимодействия в довольно большом рассматриваемом объеме).

Постановка задачи и цель исследований.

Приняв в качестве критериев получения наноструктур требуемый диапазон температур, скоростей нарастания температур, давлений (температурных напряжений) и наличие катализатора [1], можем рассмотреть возможность получения наноструктур в зависимости от физических и технологических параметров потоков при обработке.

Материалы исследований.

Кроме необходимых температур и скоростей нарастания температур важным фактором является наличие давлений (температурных напряжений) в зоне образования наноструктур. По первым двум критериям определялась зона нанокластера. Проводилось рассмотрение результатов расчетов температурных напряжений на границе зоны образования наноструктур по первым двум критериям – σ_{h1} и максимального значения температурных напряжений – σ_{h2} при различных зарядах от 1 до 3, энергиях – 200, 2000 и 20000 эВ (реальных для технологий упрочнения) ионов С, В, N, Al, Ti, V, Cr, Fe, Ni, Co, Y, Zr, Nb, Mo, Hf, Ta, W, Pt.

Результаты исследований.

Результаты исследований температурных напряжений на границе зоны образования наноструктур представлены на рис. 1 для ионов: а – С, В, N; б – Al; в – Ti, V, Cr и на рис. 2 для ионов: а – Fe, Ni, Co; б – Y, Zr, Nb, Mo, в – Hf, Ta, W, Pt. Видно, что с ростом заряда иона или энергии иона величина их незначительно возрастает, исключение составляют ионы алюминия, для которого напряжения возрастают до энергии 2000 эВ, затем снижаются. Величины напряжения колеблются от 10^6 до 10^8 Н/м², максимальные значения реализуются для трехзарядных ионов Hf, Ta, W, Pt и составляют $5,85 \cdot 10^8$ Н/м². Величины температурных напряжений на границе зоны образования наноструктур хотя сами по себе недостаточны для получения наноструктур, но совместно с действием двух других факторов – температуры и

скорости нарастания температуры будут существенно ускорять появление наноструктур на границе зоны.

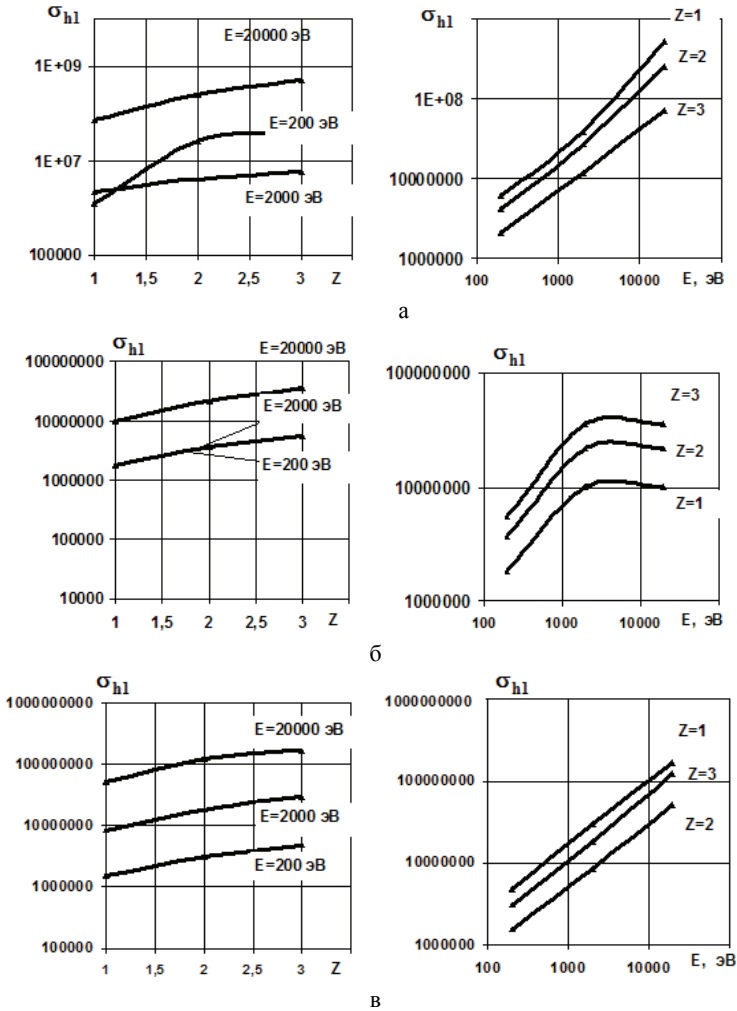


Рис. 1 – Зависимость значений температурных напряжений на границе образования наноструктур от заряда и энергии ионов:
а - C, B, N; б – Al; в - Ti, V, Cr

Результаты исследования максимальных температурных напряжений σ_{h2} в нанокластере представлены на рис. 3 для ионов: а– C, B, N; б – Al; в – Ti, V, Cr и на рис. 4 для ионов: а – Fe, Ni, Co; б – Y, Zr, Nb, Mo, в – Hf, Ta, W, Pt.

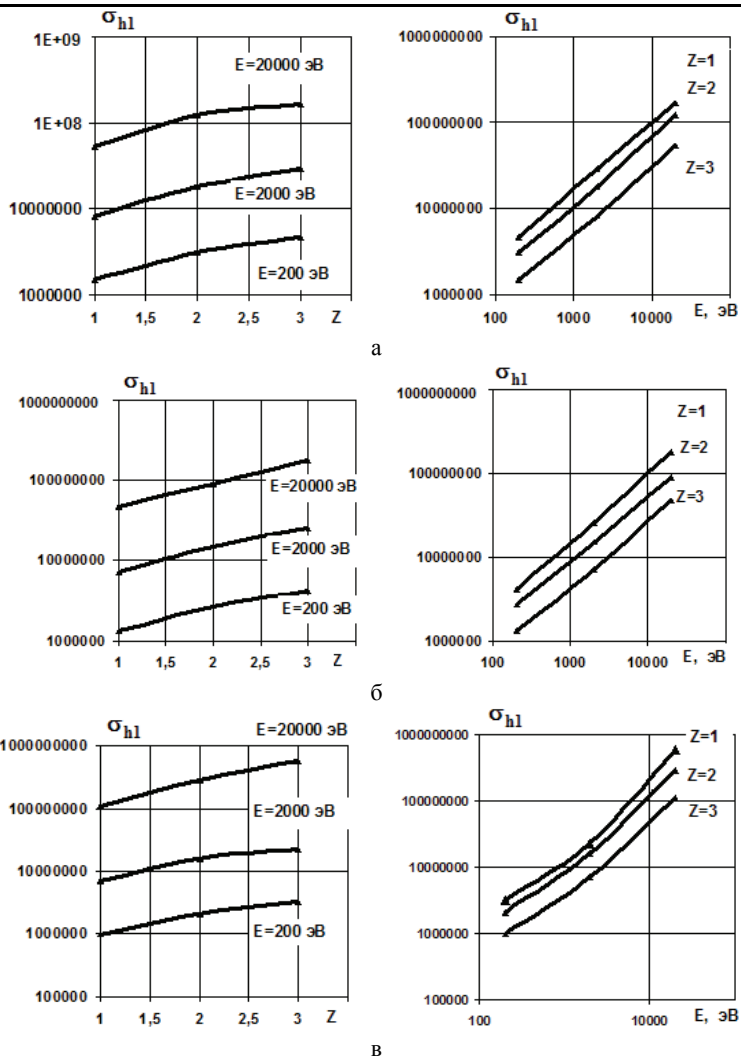


Рис. 2 – Зависимость значений температурных напряжений на границе образования наноструктур от заряда и энергии ионов:
 а - Fe, Ni, Co; б- Y, Zr, Mo; в - Hf, Ta, W, Pt

Видно, что величины напряжений существенно возросли, примерно более чем на порядок, которые в зависимости от заряда (для энергии 200 эВ) возрастают, т.е. с ростом заряда температурные напряжения повышаются, тогда как с ростом энергии от $2 \cdot 10^3$ до $2 \cdot 10^4$ эВ и с ростом заряда величины температурных напряжений снижаются. Исключение составляют ионы Hf,

T_a , W , P_t , где и для энергий 200 и 2000 эВ наблюдается рост температурных напряжений.

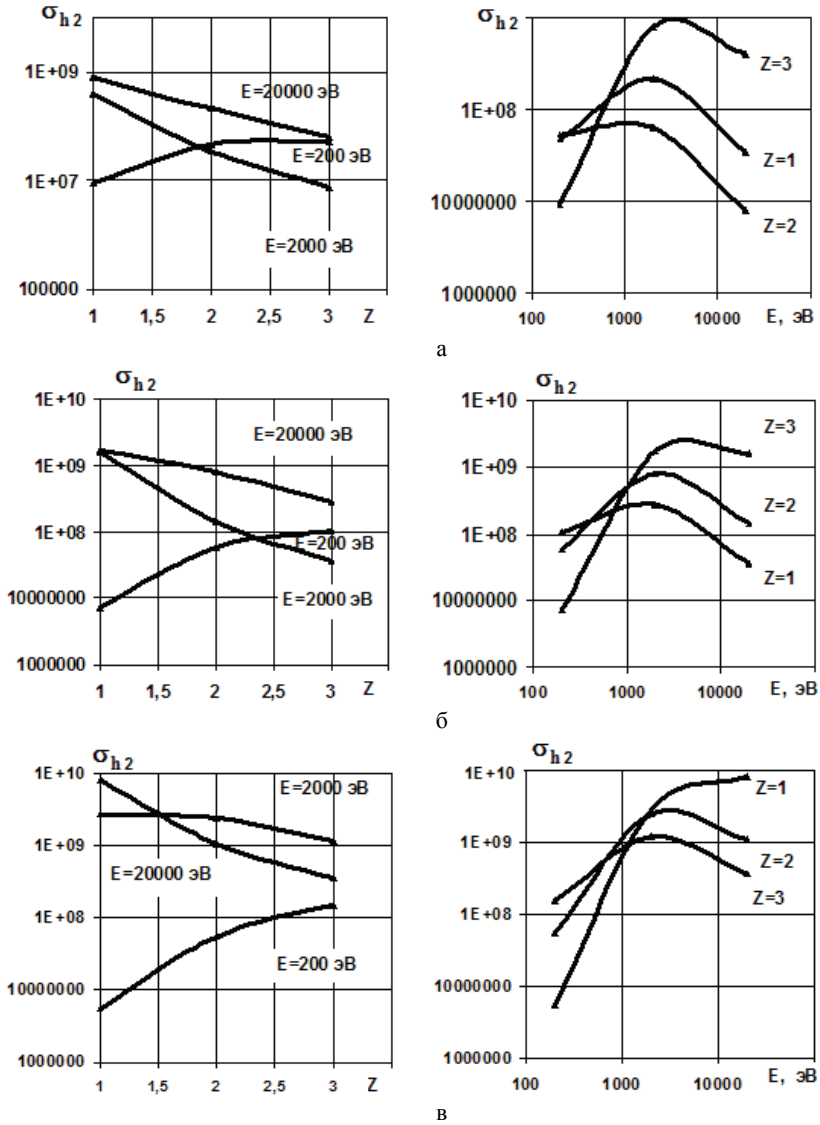


Рис. 3 – Зависимость максимальных значений температурных напряжений от заряда и энергии ионов: а - C, B, N; б – Al; в - Ti, V, Cr

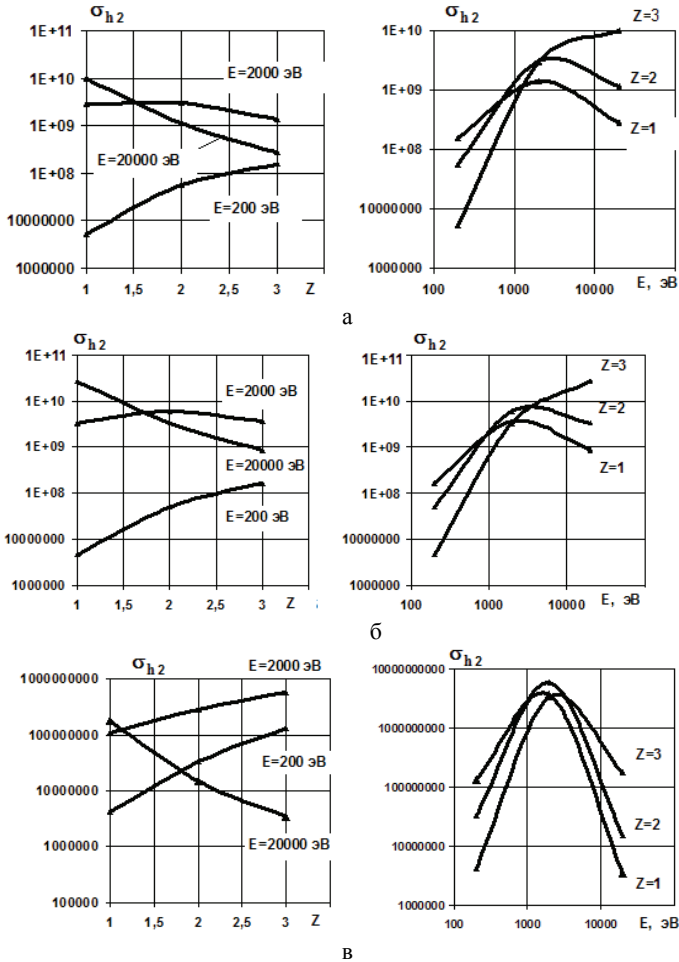


Рис. 4 – Зависимость максимальных значений температурных напряжений от заряда и энергии ионов: а - Fe, Ni, Co; б - Y, Zr, Mo; в - Hf, Ta, W, Pt

Зависимость максимальных температурных напряжений σ_{h2} от энергии практически для всех зарядов ионов имеет максимум при энергии ионов $2 \cdot 10^3$ эВ, исключение составляет зависимость $\sigma_{h2} = f(E_i)$ для однозарядных ионов Ti, V, Cr, Fe, Ni, Co, Y, Zr, Mo, где с ростом энергии величины температурных напряжений возрастают, что связано с малой зоной образования наноструктуры (нанокластера).

Значения величин максимальных температурных напряжений лежат в пределах от 10^7 до 10^{10} н/м², максимальное значение температурных напряжений составляет $2,68 \cdot 10^{10}$ н/м² для однозарядных ионов Y, Zr, Mo. Видно,

что и максимальные значения температурных напряжений в основном не достигают требуемых значений давлений для образования наноструктур, но они совместно с действием необходимых температур и скоростей нарастания температур ускорят или повысят вероятность образования наноструктур. Возможно самостоятельное появление наноструктур за счет действий однозарядных ионов Y, Zr, Mo с энергией $2 \cdot 10^4$ эВ, когда температурные напряжения достигают необходимых давлений для образования наноструктур.

Выводы: на примере обработки стали показана возможность существенного ускорения образования наноструктур за счет действия температурных напряжений на границе зоны нанокластера и во всем его объеме; показана возможность образования наноструктуры только за счет действия температурных напряжений однозарядных ионов Y, Zr, Mo при их энергии $2 \cdot 10^4$ эВ, когда температурные напряжения превышают 10^{10} н/м²; полученные зависимости температурных напряжений на границе зоны образования наноструктуры и максимальных температурных напряжений от заряда и энергии позволяют для широкого круга ионов C, B, N, Al, Ti, V, Cr, Fe, Ni, Co, Y, Zr, Nb, Mo, Hf, Ta, W, Pt при обработке стали выбирать технологические режимы и сорта ионов для получения требуемых температурных напряжений, ускоряющих процесс образования наноструктур.

Список литературы: 1. Костюк, Г.И. Нанотехнологии: теория, эксперимент, техника, перспективы [Текст]: моногр./ Г.И. Костюк. – К.: Изд. центр Междунар. академии наук и инновац. технологий, 2012. – 648 с. 2. Костюк, Г.И. Физико-технические основы нанесения покрытий, ионной имплантации и ионного легирования, лазерной обработки и упрочнения, комбинированных технологий [Текст] / Г.И. Костюк. – К.: Изд-во АИНУ, 2002. – Кн. 1: Физические процессы плазменно-ионных, ионно-лучевых, плазменных, светолучевых и комбинированных технологий. – 596 с. 3. Костюк, Г.И. Физико-технические основы нанесения покрытий, ионной имплантации и ионного легирования, лазерной обработки и упрочнения, комбинированных технологий [Текст] / Г.И. Костюк. – К.: Изд-во АИНУ, 2002. – Кн. 2: Справочник для расчета основных физических и технологических параметров, оценки возможностей, выбора типа технологий и оборудования. – 482 с.

Поступила в редколлегию 20.06.2012

УДК 539.2

Температурные напряжения в зоне действия ионов разных сортов, зарядов и энергий и их влияние на образование наноструктур / Г.И. Костюк, В.Н. Павленко // Вісник НТУ «ХП». Серія: Технології в машинобудуванні. – X. : НТУ «ХП», 2012. – № 53(959). – С.150-156. – Бібліогр.: 3 назв.

Розглянуто температурні напруження у зоні початку утворення наноструктури та максимальні значення температурних напружень у нанокластері залежно від енергії та заряду іонів C, B, N, Al, Ti, V, Cr, Fe, Ni, Co, Y, Zr, Nb, Mo, Hf, Ta, W, Pt, показано можливість прискорення процесу утворення наноструктур, а в окремих випадках самостійного їх утворення на сталі.

Ключові слова: температурні напруження, наноструктури, іони.

We consider thermal stresses in the zone of origin of the beginning of the nanostructure and the maximum values of thermal stresses in a nanocluster, depending on the energy and charge of the ions C, B, N, Al, Ti, V, Cr, Fe, Ni, Co, Y, Zr, Nb, Mo, Hf, Ta, W, Pt, shows the possibility of accelerating the process of formation of nanostructures, and in some cases, independent of their education in the steel.

Key words: thermal stresses, nanostructures, ions.