

Г.И. КОСТЮК, д-р техн. наук, проф., НАУ «ХАИ», Харьков;
С.С. ДОБРОТВОРСКИЙ, д-р техн. наук, проф., НТУ «ХПИ», Харьков;
В.А. ФАДЕЕВ, д-р техн. наук, проф., ГП ХМЗ «ФЭД», Харьков

ЭФФЕКТИВНЫЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ ПОТОКОВ ИОНОВ РАЗНЫХ СОРТОВ, ЭНЕРГИЙ, ЗАРЯДОВ И ПЛОТНОСТЕЙ ТОКОВ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ НАНОСТРУКТУР

На основе решения совместной задачи теплопроводности и термоупругости получены поля температур и температурных напряжений, в которых выделены зоны, где образуются наноструктуры для любого количества различных ионов и их зарядов от 1 до 3 можно получить зависимости размера зерна, количество атомов в зерне, диапазон глубин, на которых реализуются наноструктуры, от энергии и заряда ионов, что позволяет выбрать технологические режимы обработки.

Ключевые слова: Наноструктура, температура, температурные напряжения, размер зерна, режимы обработки.

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.

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.

Работа выполнялась в рамках программы Министерства образования, 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.

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 нанокристаллических структур.

Постановка задачи и цель исследований.

Приняв в качестве критериев получения наноструктур требуемый диапазон температур, скоростей нарастания температур, давлений (температурных напряжений) и наличие катализатора [1].

В результате расчетов температурных полей в зоне действия ионов разных сортов, зарядов и энергий вычленилась зона по модели [1], определялась так же скорость роста температуры (она была более 107 к/с для ионов выбранных энергий), а также оценивались величины температурных напряжений (давлений), по которым проводилась корректировка различных зон, где образуются НС

Результаты исследований.

Обеспечение наноструктур за счет управления движением потоков ионов различных сортов, энергий и зарядности и за счет обеспечения их одновременного попадания на поверхность детали, которое осуществляется при выполнении ряда условий.

Условие окончания теплового действия всех сортов частиц одновременно:

$$\begin{aligned} \tau_{\max, [E_{\min_r}, Z_{\min_r}]} &= \tau_2 + \tau_{\theta 3} + \tau_{H2} = \tau_3 + 2\tau_{\theta 3} + \\ &+ \tau_{H3} = \tau_4 + 3\tau_{\theta 3} + \tau_{H4} = \tau_5 + 3\tau_{\theta 3} + \tau_{H5} = \dots, \end{aligned}$$

где E_{\min_r}, Z_{\min_r} - энергия и заряд данного тяжелого иона;

* (L) – расстояние от управляемой сетки до детали;

$\tau_{\max, [E_{\min_r}, Z_{\min_r}]}$ - время пролета самого тяжелого иона с минимальной зарядностью ($z=1$) минимальной энергией;

$\tau_2, \tau_3, \tau_4, \tau_5$ - время пролета расстояния L ионами разной энергии, зарядности и сорта по мере роста энергии и заряда;

$(\tau_2 > \tau_3 > \tau_4 > \tau_5)$ - произведение $E \cdot z$;

$\tau_{\epsilon 3}$ - время взаимодействия ионов с деталью;

$(\tau_{H2}, \tau_{H3}, \tau_{H4}, \tau_{H5})$ - время старта второго, третьего, четвертого, пятого ионов ($\tau_{H1} = 0$) по отношению к первому, которые определяются так:

$$\tau_{H2} = \tau_{\max} [E_{\min}, E_{\min_r}] \tau_2 - \tau_{\epsilon 3} = \frac{L}{\sqrt{\frac{2E_{\min}}{m_{i_r}} z_{\min}}} - \frac{L}{\sqrt{\frac{2E_2}{m_{i_2}} z_2}} - \tau_{\epsilon 3};$$

$$\tau_{H3} = \frac{L}{\sqrt{\frac{2E_{\min}}{m_{i_r}} z_{\min}}} - \frac{L}{\sqrt{\frac{2E_3}{m_{i_3}} z_3}} - 2\tau_{\epsilon 3};$$

$$\tau_{H4} = \frac{L}{\sqrt{\frac{2E_{\min}}{m_{i_r}} z_{\min}}} - \frac{L}{\sqrt{\frac{2E_4}{m_{i_3}} z_4}} - 3\tau_{\epsilon 3};$$

$$\tau_{H_j} = \frac{L}{\sqrt{\frac{2E_{\min}}{m_{i_r}} z_{\min}}} - \frac{L}{\sqrt{\frac{2E_j}{m_{i_j}} z_j}} - (j-1)\tau_{\epsilon j}.$$

В этом случае попадание ионов различных сортов, энергий и зарядности одновременно можно организовать, используя один или два источника ионов. Протягивание ионов через сетку осуществляется с помощью наносекундных импульсов напряжения, причем первым подается импульсы с меньшей амплитудой, затем – с большей, т.е. увеличивающимися амплитудами по мере их возрастания.

Объем слоя наноструктур при действии ионноэнергетического потока получается:

$$C'_{nc} = V_{nc} \frac{j}{eZ}, S_{обр} l_{nc} = V_{mp},$$

где $t = \frac{S_{dem} \cdot l_{nc} \cdot eZ}{V_{nc} \cdot j_i \cdot S_{обр}}$ - время получения наноструктуры в слое l_{nc} на поверхности с площадью S_{dem} .

$$j_{i_{\text{проб}}} = \frac{S_{\text{дет}} \cdot l_{\text{нс}} \cdot ez}{t_{\text{обр}} \cdot V_{\text{нс}} \cdot S_{\text{обр}}} - \text{требуемая плотность тока, для получения за}$$

ограниченное время $t_{\text{обр}}$ требуемый $l_{\text{нс}}$ слой на поверхность детали площадью $S_{\text{дет}}$; $j_{i_{\text{проб}}} \geq j_{\text{кр}}^I$, поэтому в расчетах можно брать плотность тока, равную первой критической.

При действии немоноэнергетического потока ионов разных сортов и зарядности критическую плотность тока для таких потоков можно получить по методике [3] или оценить по частице (иону) с наибольшим пробегом (наименее тяжелый ион) и большим произведением $E \cdot z$. Определив первую критическую плотность тока и предположив, что остальные ионы заполняют объем между зонами действия этих ионов, что будет близко к реальной картине, как показали исследования распределений полей температур и температурных напряжений, приведенных в работе [3].

Тогда для случая действия ионов разных сортов, энергий, зарядности и плотности токов время получения наноструктурированного слоя требуемой толщины можно получить так:

$$t = \frac{S_{\text{дет}} \cdot l_{\text{нс}}}{\left(\sum V_{\text{нс}i} \frac{j_{\text{кр}i}^I}{ez_i} \right) \cdot S_{\text{обр}}}$$

или в случае упрощения можно пользоваться выражением

$$t = \frac{S_{\text{дет}} \cdot l_{\text{нс}} \cdot ez_{\text{мп}}}{V_{\text{нс}} \cdot \kappa_{\text{пз}} \cdot j_{\text{кр}_{\text{мп}}}^I};$$

где $z_{\text{мп}}$ и $j_{\text{кр}_{\text{мп}}}^I$ - заряд и первая критическая плотность тока ионов с максимальным пробегом;

$\kappa_{\text{пз}} = 1, 2 - 2$ - коэффициент повышения заполнения объема за счет действия частиц с меньшими пробегами, большее значение коэффициента соответствуют большему числу дополнительных потоков ионов.

Примеры вычисления коэффициента заполнения объема полями температур и температурных напряжений даны в работе [1] для различных законов распределения ионов в пространстве детали по различным законам (по спирали Архимеда, сотовому расположению и прямоугольному равномерному расположению частиц).

Окончание действия ионов различных сортов, энергий и зарядности одновременно можно организовать, используя один или два источника ионов. Где протягивание ионов через сетку осуществляется с помощью

нановременных импульсов напряжения. Причем первым подается импульс с наименьшей амплитудой, далее с большими амплитудами по мере возрастания.

Выводы:

1. Проведенный анализ результатов позволяет найти режимы обработки, при которых возможно получение наноструктур и толщину слоя НС.
2. Показана возможность реализации одновременного окончания теплового действия тепловых источников – частиц, что повысит качество обработки.

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. 4. *Костюк, Г.И.* Наноструктуры и нанопокртыя: перспективы и реальность [Текст]: 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 [Текст]: 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 [Текст]: моногр.-справ. / Г.И. Костюк. – Х.: Нац. аэрокосм. ун-т «Харьк. авиац. ин-т», 2007. – 633 с.

Поступила в редколлегию 20.06.2012

УДК 539.2

Эффективные технологические параметры потоков ионов разных сортов, энергий, зарядов и плотностей токов для получения наноструктур / Г.И. Костюк, С.С. Добротворский, В.А. Фадеев // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Технології в машинобудуванні. – Х. : НТУ «ХПІ», 2012. – № 53(959). – С.116-120. – Бібліогр.: 6 назв.

На основі вирішення сумісної задачі теплопровідності та термопружності одержано поля температур і температурних напружень, у яких вилучені зони, де утворюються наноструктури. Для широкого кола різних іонів та їх зарядів від 1 до 3 одержано залежності розміру зерна, кількості атомів таких у зерні, діапазон глибин, на яких реалізуються наноструктур, від енергії та заряду іонів, що дозволяє обирати технологічні режими обробки.

Ключові слова: наноструктура, температура, температурні напруження, розмір зерна, режими обробки.

On the basis of the joint decision problem of heat conduction and thermoelasticity obtained temperature field and thermal stresses, which highlighted areas where the nanostructures are formed for any number of different ions and their charges from 1 to 3 can be obtained depending on the grain size, the number of atoms in the grain, the range of depths at nanostructures are realized, the energy and ion charge that allows you to select the technological regimes of processing.

Keywords: Nanostructure, temperature, thermal stresses, grain size, mode of treatment.