

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНО-ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ВОЗМОЖНОСТИ ПОЛУЧЕНИЯ НАНОСТРУКТУР ПРИ ДЕЙСТВИИ ЭЛЕКТРОНОВ

* Г.И. Костюк, **О.О. Бруяка, ***Е.Г. Костюк

*Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского «ХАИ»,
(057)788-42-06, g.kostyuk@yahoo.com;

АДИ при ДонГТУ; *ХНУРЭ

Рассмотрена адекватность теоретической модели действия ряда потоков электронов на материалы [1] и реальность прогноза получения наноструктур.

1.2. Действие потоков электронов разных энергий и плотностей токов на материал.

Модель представлена в работе [1].

Рассматривалось действие пяти электронов А с $E_{eA}=5 \cdot 10^5$ эВ, четырех электронов В с энергией $E_{eB}=5 \cdot 10^4$ эВ и четырех электронов С с энергией $E_{eC}=3 \cdot 10^3$ эВ при их действии на деталь из стали. Изучалось распределение температур на глубине детали в зоне действия этих частиц за время столкновений.

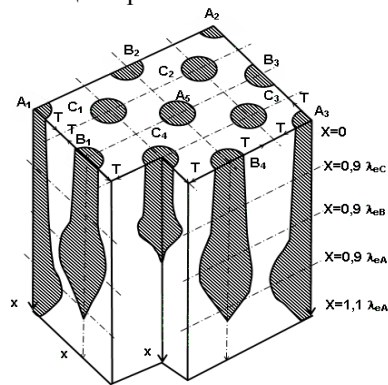


Рис. 1. Распределение температур по глубине при действии 5 электронов А ($E_{eA} = 5 \cdot 10^4$ эВ), 4 электронов В ($E_{eA} = 10^4$ эВ), 4 электронов С ($E_{eA} = 3 \cdot 10^3$ эВ), $T_{\max A} = 4,2 \cdot 10^4$ К, $T_{\max B} = 1,3 \cdot 10^4$ К, $T_{\max C} = 1,83$ К

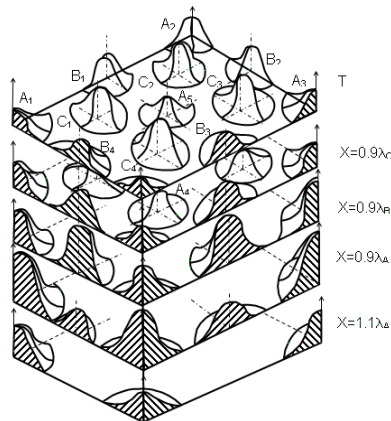


Рис. 2. Распределение температур на поверхностях $x=0$ ($T_{\max C} = 990$ К), $x=0,9 \lambda_C$ ($T_{\max C} = 1,8 \cdot 10^3$ К), $x=0,9 \lambda_B$ ($T_{\max B} = 1,3 \cdot 10^4$ К), $x=0,9 \lambda_A$ ($T_{\max A} = 4,2 \cdot 10^4$ К), $x=1,1 \lambda_A$ ($T_{\max} = 720$ К)

На рис. 1 показано распределение температур по глубине от действия частиц А, В и С. Видно, что глубина проникновения наиболее высокоэнергетичных электронов составляет порядка 10^{-6} м, что примерно равно $1,3\lambda_e$. Максимум температуры реализуется на глубине $0,9\lambda_e$ и составляет $4,2 \cdot 10^4$ К, для частицы А максимум температуры также вблизи $0,9\lambda_e$ и равен $1,3 \cdot 10^4$ К, а для частицы С максимум составляет $1,8 \cdot 10^3$ К и находится вблизи $0,9\lambda_e$. Поля температур по глубине удачно дополняют друг друга и способствуют заполнению объема полем температур.

Результаты экспериментального исследования подтверждающие возможность получения наноструктур. Исследовалось одновременное действие электронов различных энергий на сталь 50:

1 – первый поток с энергией 3,2 кэВ ($j = 9,1 \cdot 10^3$ А/м²), второй – с энергией 6,9 кэВ ($j = 10^3$ А/м²), третий – с энергией 9,9 кэВ ($j = 80$ А/м²);

2 – поток с энергией 6,9 кэВ ($j = 10^3$ А/м²).

Потоки электронов подавались с чередованием f_y действия (временем действия $\tau_a = 180$ мкс, частотой $f = \Gamma$ ц) первый, второй и третий, а далее последовательность повторяется. Плотности токов выбирались таковыми, чтобы были равны первой критической или вблизи нее, что позволяет обеспечивать максимальные по величине значения температурных напряжений ($\sigma_1 = 3,9 \cdot 10^7$ Н/м²; $\sigma_2 = 5,8 \cdot 10^7$ Н/м²; $\sigma_3 = 8 \cdot 10^7$ Н/м²) и достаточных для образования наноструктур температур ($T_{\max 1} = 970$ К; $T_{\max 2} = 1,2 \cdot 10^3$ К; $T_{\max 3} = 3,9 \cdot 10^3$ К). Результаты такого исследования представлены на рис. 2. Видно, что для первого случая (кривые 1, рис. 3) реализуется аномально высокое значение микротвердости до 50 ГПа, тогда как во втором случае микротвердость составляет всего 5,7 ГПа и практически соответствует твердости закаленной стали 50. Наличие трех потоков позволяет обеспечить практически полное заполнение объема полями температур и температурных напряжений.

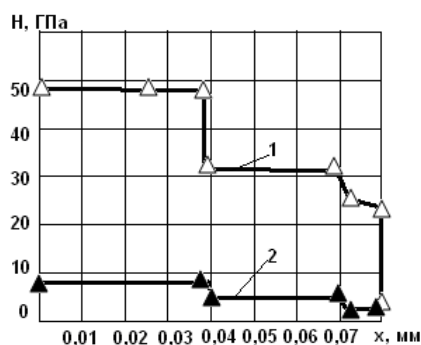


Рис. 3. Распределение микротвердости по глубине при действии поочередно потоков ионов с энергией 3,2 кэВ ($j = 9,1 \cdot 10^3 \text{ А/м}^2$), с энергией 6,9 кэВ ($j = 10^3 \text{ А/м}^2$) и с энергией 9,9 кэВ ($j = 80 \text{ А/м}^2$) – 1, ионов с энергией 6,9 кэВ ($j = 10^3 \text{ А/м}^2$) – 2 и временем действия 180 мкс и частотой срабатывания 5 Гц. Всего 501 импульс

Выводы

Экспериментально и теоретически показана возможность термоупругого разрушения материала в результате многократного действия потоков электронов.

Список литературных источников

1. Костюк Г.И., Суккариех Мустафа Еззат, Воляк Е.А. Создание наноструктур в объеме детали при электронно-лучевой обработке // Сборник научных трудов Вопросы проектирования и производства конструкций летательных аппаратов, выпуск 3 (63), 2010, с.8 - 23
2. Костюк Г.И. Монография в двух книгах. Физико-технические основы нанесения покрытий, ионной имплантации и ионного легирования, лазерной обработки и упрочнения, комбинированных технологий / Г.И. Костюк. – Х., изд-во АИНУ, 2002. – 1030 с.
3. Kostyuk G.I. The effective cutting tools having and hardened layers / Kostyuk G.I. – Monograph-reference book. – Kharkov, 2007. – 634
4. Kostyuk G.I. Effective coating and modification hardened layers at the cutting tools. Kiev. 2012, 728 p.