

ДЕЙСТВИЕ ИОНИЗИРУЮЩЕГО ИЗЛУЧЕНИЯ НА АЛЮМИНИЕВЫЙ СПЛАВ Д16Т И ОБРАЗОВАНИЕ НАНОСТРУКТУР

Костюк Г.И., Бруйка О.О., Григор О.Д.

*Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского "ХАИ"
Украина, г. Харьков, ул. Чкалова, 17, g.kostyuk206@yandex.ru*

Широкое применение алюминиевых сплавов в авиационной технике, а также в современных машинах и механизмах машиностроения выдвигает на первый план задачи о высокоэффективной, надежной и длительной их работе, но, относительно невысокие физико-механические характеристики алюминиевых сплавов зачастую не позволяют их использовать. Применение же наноструктурных слоев для упрочнения алюминиевых сплавов позволит существенно по-

высить их износостойкость, коррозионную стойкость, усталостную прочность и обеспечит их работоспособность при ударных нагрузках.

Всё это подтверждает тезис, что алюминиевые сплавы при малом удельном весе и высоких физико-механических характеристиках будут широко применяться не только в авиационно-космической технике, но и в машиностроении, где проблема веса изделий также существует, особенно, для автомобильной и судостроительной промышленности.

В настоящее время несмотря на то, что исследованию наноструктур уделяется большое внимание, вопрос о получении наноструктур в алюминиевых сплавах практически не исследовался как теоретически, так и экспериментально [1-2]. Теоретические исследования тоже ограничены, исключение составляет работа [1], но и в ней для алюминиевых сплавов исследования не проводились. Так как экспериментальные исследования требуют значительных затрат, то необходимо определить технологические режимы при которых есть возможность получения наноструктур, а затем уже проводить эксперименты с тем, чтобы проверить правильность теоретических предположений и выявить технологические параметры при которых реализуются наноструктуры и субмикроструктуры. Всё это говорит о важности и практической значимости теоретических исследований возможности получения наноструктур.

Целью работы является исследование полей температур и температурных напряжений в зоне действия ионизирующего излучения с целью прогнозирования технологических параметров для получения наноструктур и субмикроструктур и определения объема кластеров и размера зерна.

Лазерное излучение не исследовалось как инструмент для получения наноструктур, поэтому такой подход к исследованию перспектив использования ионизирующего излучения для получения наноструктур (НС) и определения технологических параметров для реализации наноструктурных и субмикроструктурных слоев имеет большое значение, так как не только наноструктуры, но и субмикроструктуры обладают повышенными физико-механическими характеристиками. Всё это говорит о достаточно высокой важности проводимых исследований.

В работе проводилось теоретическое исследование действия ионизирующего излучения на алюминиевый сплав Д16Т. Решалась совместная задача теплопроводности и термоупругости, что позволяло определить характер распределения температур и температурных напряжений в зоне действия ионизирующего излучения, по которым выявлялись зоны, где возможна реализация наноструктур по следующим критериям: температуры лежат в пределе 500-1500 К, скорости

их нарастания превышают 10^7 К/с и температурные напряжения (ускоряющие процесс образования НС) составляют величины 10^7 – 10^9 Па.

По характеру развития полей температур и температурных напряжений выбирались области в материале алюминиевого сплава в которых реализуются критерии образования наноструктур: во-первых, обеспечение требуемого диапазона температур (для этого объема также проверяется скорость нарастания температуры, которая должна превышать 10^7 К/с) и желательный диапазон температурных напряжений 10^7 – 10^9 Па.

В результате расчетов были получены поля температур на различных глубинах: $X = 0$ (рис. 1, а), $X = 0,5\sqrt{a\tau}$ (рис. 1, б), $X = \sqrt{a\tau}$ (рис. 1, в), $X = 2\sqrt{a\tau}$ (рис. 1, г).

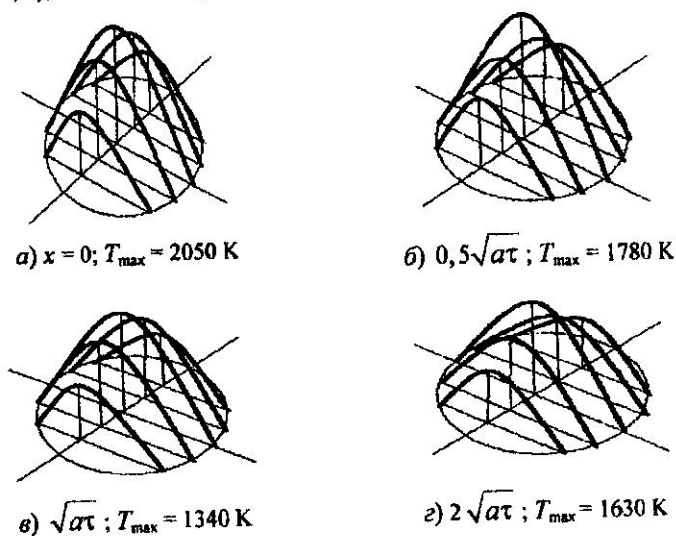


Рис. 1. Распределение температур на поверхностях: а) $x = 0$; б) $0,5\sqrt{a\tau}$; в) $\sqrt{a\tau}$; г) $2\sqrt{a\tau}$ при действии лазерного излучения плотностью теплового потока ($r = 0,1$ мм) на А1 сплав Д16Т ($q = 10^6$ Вт/м², $\tau = 10^{-7}$ с)

Для случая действия теплового потока $q = 10^5$ Вт/м² максимальная температура снизилась до значений 2050 К, а на глубине $2\sqrt{a\tau}$ она составляет 630 К. В этом случае уже с глубин $0,5\sqrt{a\tau}$ до $2\sqrt{a\tau}$ реализуются наноструктуры. Оценка скорости нарастания температуры показывает, что она в этом случае превышает 10^7 К/с (см. рис. 1, а–г).

По выбранному диапазону температур были определены зоны, где реализуются наноструктуры и определен их объем. Так, зависимость объема кластера от плотности теплового потока и времени его действия для случая действия теплового потока в исследуемом диапазоне от 10^8 до 10^{11} Вт/м² и времени его действия в диапазоне от 10^{-9} до 10^{-3} с представлены на рис. 2.

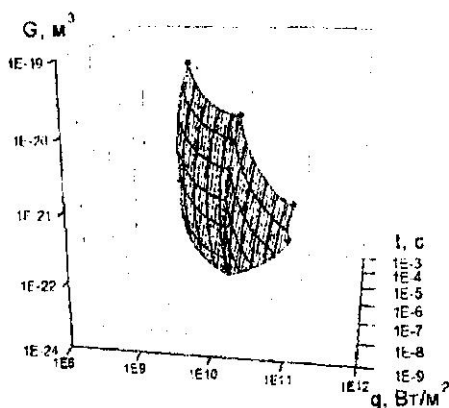


Рис. 2. Зависимость объема нанокластера от плотности теплового потока ионизирующего излучения и времени его действия в зоне, где образуются наноструктуры ($R = 10^{-4}$ м) на алюминиевых сплавах

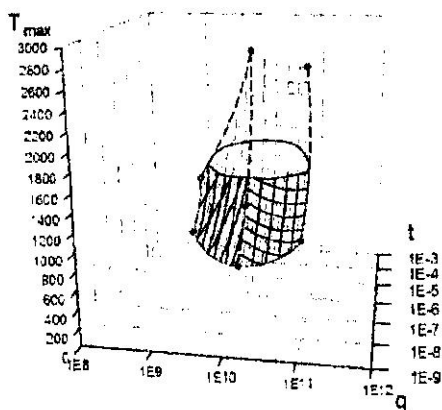


Рис. 3. Зависимость максимальной температуры от плотности теплового потока ионизирующего излучения и времени его действия в зоне, где образуются наноструктуры на алюминиевых сплавах

Показаны поверхности, на которых реализуются наноструктуры по объему нанокластера. Видно, что при плотностях теплового потока порядка 10^8 и больше чем 10^{11} наноструктуры не реализуются, а для времен действия $10^{-3} - 10^{-4}$ и $10^{-8} - 10^{-9}$ с, для всех плотностей теплового потока также реализация наноструктур маловероятна. Исследовалось также влияние размера пятна, в котором действует ионизирующее излучение на возможность образования наноструктур. Исследования для больших размеров пятна от $3 \cdot 10^3$ м до 10^{-3} м показало, что наноструктуры практически не реализуются, тогда как снижение размера пятна до 10^{-4} м приводят к возможности реализации наноструктуры.

Для экспресс-оценки возможности получения наноструктуры можно использовать зависимости максимальной температуры в зоне облучения от плотности теплового потока и времени его действия (см. рис. 3), где показаны максимальные температуры, которые могут быть реализованы в этих условиях. Тогда, проведя секущие плоскости по $T_{\max} = 500$ К и $T_{\max} = 1500$ К, можно также оценить технологические параметры при которых следует ожидать появления наноструктур. Область, ограниченная этими секущими и полученными поверхностями, дает технологические параметры, где образуются наноструктуры.

Проведенные исследования позволяют оценить объем нанокластеров, реализующихся при действии ионизирующего излучения, по которому, очевидно, можно найти размер зерна, а значит и прогнозировать физико-механические характеристики поверхностного слоя алюминиевого сплава Д16Т.

Выводы:

1. Получены распределения температур на различных глубинах в зоне облучения, которые позволяют найти области, где выполняются критерии образования наноструктур по диапазону температур, скорости роста температуры и температурным напряжениям.

2. Исследование объема кластера позволяет найти его размеры и зависимости от технологических параметров обработки: плотности теплового потока излучения и времени его действия, что в дальнейшем позволит оценить размер кластера и решить какое зерно реализуется: нано- или субмикроструктурное.

3. Полученные зависимости максимальной температуры от плотности теплового потока и времени его действия дают возможность оценить область технологических параметров, в которых следует ожидать появления наноструктур, что позволяет упростить выбор технологических параметров для реализации наноструктурных слоев.

4. Получив размеры кластеров можно определить размер зерна, а значит и прогнозировать физико-механические характеристики поверхностного слоя на алюминиевом сплаве.

Литература

1. Костюк Г. И. Нанотехнологии: выбор технологических параметров и установок, производительность обработки, физико-механические характеристики наноструктур : монография / Г. И. Костюк. – К. : Изд. центр Международ. академии наук и инновац. технологий, 2014. – 472 с.
2. Костюк Г. И. Нанотехнологии: теория, эксперимент, техники, перспективы : монография / Г. И. Костюк. – К. : Изд. центр Международ. академии наук и инновац. технологий, 2012. – 648 с.