

Моделирование нагрева пластины, помещенной в электронно-пучковую плазму кислорода

М.Х.Аунг, Н.А.Зар, М.Х.Кхин

Московский физико-технический институт (государственный университет)

1. Введение

Работа посвящена компьютерному моделированию плазмотехнических систем, предназначенных для пучково-плазменной обработки изделий, изготовленных из различных материалов, с целью придания им особых функциональных свойств, например повышенной износостойкости металлических изделий или улучшенной гидрофильности полимерных материалов [1]. Известно, что требуемый результат обработки материалов в электронно-пучковой плазме (ЭПП) во многом определяется тепловым режимом обработки; при этом в равной степени важными являются как температура поверхности изделия T_s , так и температура газа T_g . Рассматривалась задача расчёта пространственных полей температур плоской пластины, помещенной в неподвижное облако ЭПП.

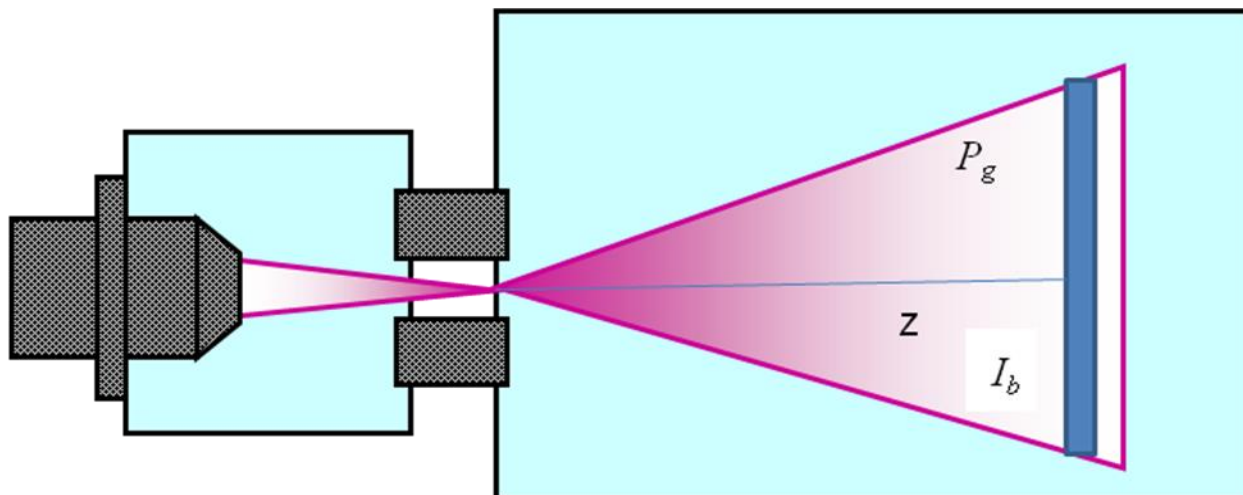


Рис. 1. Схема установки для компьютерного моделирования

2. Постановка вычислительных экспериментов

Плоская пластина в форме диска размещена в плазменном облаке, генерируемом инжекцией непрерывного концентрированного электронного пучка (ЭП) в какой-либо газ (рис. 1). Центр диска находится на оси ЭП z , плоскость диска перпендикулярна оси z . В результате воздействия ЭПП на изделие на его поверхности возникает некоторое распределение температуры $T_s(r,t)$ (ось r направлена перпендикулярно z , t – время). Вычислительные эксперименты проводились с целью установить, как параметры ЭП (ток пучка I_b), давление плазмообразующего газа P_g (кислорода), а также теплофизические свойства материала пластины и расстояние z_0 , на котором она находится от точки инжекции ЭП, влияют на профиль температуры $T_s(r,t)$. Моделирование проводилось для материалов с сильно различающейся теплопроводностью: алюминиевый сплав Д16 и нержавеющая сталь 12Х18Н10Т. При этом самосогласованным образом рассматривались следующие процессы:

- рассеяние (упругое и неупругое), торможение и поглощение быстрых электронов в газе и твёрдом теле;
- отражение электронов от пластины (упругое, неупругое);
- плазмохимические реакции в ЭПП;
- нагрев плазмообразующего газа за счёт частичной диссипации энергии первичных электронов при их торможении в газе;
- нагрев образца бомбардировкой быстрыми электронами пучка и электронами промежуточных энергий, образующихся при генерации ЭПП;
- теплообмен теплопроводностью между пластиной и плазмой (на передней поверхности) и между пластиной и нейтральным газом (на задней поверхности);
- перенос тепла в материале пластины за счет теплопроводности.

Распространение электронного пучка в плотных средах, как в газе, так и в материале образца, численно моделировалось методом Монте-Карло. Область моделирования была снаружи ограничена цилиндром радиуса 12,5 см и длиной 30 см, внутри которого могли располагаться подобласти с существенно большей плотностью среды.

3. Результаты вычислительных экспериментов

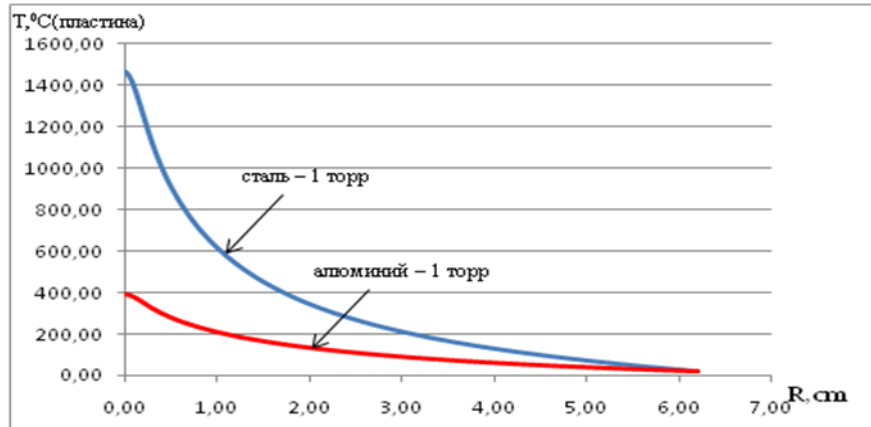


Рис. 2. Радиальные профили температуры пластин из стали и алюминия.

Расчеты проводились для давлений $P_g = 1, 10$ и 30 Торр при $z_0 = 5$ и 10 см. Начальная энергия электронов принималась равной 30 кэВ, а ток пучка варьировался в диапазоне $1-10$ мА. Моделирование нагрева пластин позволило выявить некоторые важные закономерности, а именно:

1. При достаточно длительной обработки ($\tau \rightarrow \infty$, τ - продолжительность инъекции ЭП) на поверхности пластин устанавливается стационарное распределение температуры $T_s(r)$; максимум распределения находится в центре диска.
2. Значение температуры в максимуме $(T_s)_{max}$ зависит от давления газа: чем выше P_g , тем меньше $(T_s)_{max}$.
3. Чем ближе к точке инъекции расположена пластина (чем меньше z_0), тем выше $(T_s)_{max}$.
4. Чем выше теплопроводность материала пластины, тем ниже $(T_s)_{max}$.
5. Профиль температуры $T_s(r)$ также зависит от теплопроводности материала пластины: чем она ниже, тем острее распределение $T_s(r)$. Для исследованных материалов радиальный профиль температуры на поверхности пластины, изготовленной из сплава Д16 намного более пологий, чем на пластине из стали 12Х18Н10Т, имеющей на порядок меньшую теплопроводность.

Литература

1. M. Vasiliev, Aung Tun Win, I. Pobol. “New applications of the Beam-Plasma Systems for the materials production” *Int. J. Nanotechnology*. 2014, Vol. 11, Nos 5/6/7/8, P. 660-668