

тов. В общем случае данную модель можно представить в виде формулы 1:

$$A \times P \rightarrow G \quad (1)$$

где  $A = \{x \in R; F(x)\}$  – множество положений инструментальной головки на направляющих;  $P = \{k \in N; F(k)\}$  – множество значений прикладываемой к инструментальной головке нагрузки;  $G$  – множество значений отклонения пространственного положения направляющих.

Предложенная математическая модель диагностики состояния технологической системы «станок-приспособление-инструмент-заготовка» позволяет подойти к решению задачи повышения точности обработки на станках с ЧПУ. Её решение обеспечит резкое сокращение затрат на производство изделий машиностроительной продукции. Вместе с тем решение этой задачи неразрывно связано с большими трудностями.

Литература.

1. Ломова О.С. Математическое моделирование структурных изменений в поверхностях заготовок при тепловых возмущениях в процессе шлифования // Омский научный вестник, №2-120, г. Омск: Изд-во ФГБОУ ВПО ОмГТУ, 2013. – С. 95-98.
2. Тахман, С.И. Закономерности процесса изнашивания и основы прогноза износостойкости инструментов из стандартных твердых сплавов. Механика и физика процессов на поверхности и в контакте твердых тел, деталей технологического и энергетического оборудования. Тахман С.И. 2010. № 3. С. 64-72.
3. Шаламов В.Г. Математическое моделирование при резании металлов: учебное пособие. – Челябинск: Изд-во ЮжУрГУ, 2007.
4. A. I. Afonarov, A. A. Lasukov, Elementary Chip Formation in Metal Cutting, Russian Engineering Research. 3 (2014), pp. 152–155.

## ОПИСАНИЕ ГИДРОДИНАМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ В СВАРОЧНОЙ ВАННЕ

*С.В. Дементьев, студент, А.В. Крюков, к.т.н., доцент*

*Юргинский технологический институт (филиал) Национального исследовательского*

*Томского политехнического университета*

*652055, Кемеровская обл., г. Юрга, ул. Ленинградская, 26*

*E-mail: earendill@mail.ru*

В настоящее время достигнутый уровень компьютерной техники и технологий позволяет во многих случаях заменить изучаемый объект его цифровой моделью, на которой с помощью реализуемых на компьютерах расчетно-логических алгоритмов возможно изучение исходных объектов [1].

Сварка является сложным «мультифизическим» процессом, сочетающим в себе явления различные по своей физической природе, такие как перенос тепла в жидкости и в твердом теле, течение жидкости в сварочной ванне, электрические и магнитные поля.

Одним из важных процессов определяющим форму и качество получаемого соединения является гидродинамическое движение металла в жидкой ванне.

Магнитная гидродинамика – наука о движении электропроводящих газов и жидкостей во взаимодействии с магнитным полем. При движении электропроводящей среды, находящейся в магнитном поле, в ней индуцируются магнитные поля и точки, на которые действует магнитное поле и которые сами могут повлиять на магнитное поле.

Таким образом, для расчета необходимо рассмотреть уравнения гидродинамики и электродинамики [2].

Движение расплавленного металла в жидкой ванне описывается уравнением:

$$\rho \nabla (\vec{V}' \vec{V}) = -\nabla p + \nabla (\mu \nabla \vec{V}) + S_m + S_b + S_e - \rho \nabla (\vec{U}_s \vec{V}), \quad (1)$$

где  $\vec{V}'$ ,  $\vec{V}$ ,  $\vec{U}_s$  - полная скорость, конвективная составляющая, скорость сварки;

$\rho$  – плотность;

$p$  – давление;

$S_m$  – составляющая описывающая зону сплавления;

$S_b$  - составляющая объемной силы;

$S_e$  – составляющая электромагнитной силы;  
 $\rho \nabla(\vec{U}_s \vec{V})$  - термодинамическая составляющая.

Перенос энергии в сварочной ванне представлено следующим уравнением:

$$\rho \nabla(\vec{V}h) = \nabla \left( \frac{k}{C_p} \nabla h \right) + S_l + S_v - \rho \nabla(\vec{U}_s h) \quad (2)$$

где  $S_l$  – составляющая скрытой теплоты плавления;  
 $S_v$  – составляющая описывающая действие капель расплавленного металла.

Граничные условия, используемые в модели, заключаются в гауссовом распределении плотности тока и теплового потока и описываются зависимостями [2]:

$$j(x, y) = \frac{3I}{\pi a^2} \exp\left(\frac{-3(x^2 + y^2)}{a^2}\right), \quad (3)$$
$$q(x, y) = \frac{3Q}{\pi b^2} \exp\left(\frac{-3(x^2 + y^2)}{b^2}\right);$$

где  $I$  – ток дуги;

$Q = \eta VI$  - теплота, выделяемая дугой;

$a, b$  – эффективные радиусы источников тока и теплоты,

$\eta$  – к.п.д. источника тепла;

$V$  – напряжение дуги.

Эффект Марангони представлен также в виде ограничения на поверхности зоны плавления, этот эффект выражается следующими зависимостями [2]:

$$\mu \frac{\partial u}{\partial z} = \frac{\partial \gamma}{\partial T} \frac{\partial T}{\partial x}, \quad (4)$$
$$\mu \frac{\partial v}{\partial z} = \frac{\partial \gamma}{\partial T} \frac{\partial T}{\partial y},$$

где  $\frac{\partial \gamma}{\partial T}$  зависимость поверхностного натяжения от температуры.

Таким образом решение вышеописанных уравнений позволяет получить модель гидродинамических течений в сварочной ванне.

Литература.

1. Прикладная магнитная гидродинамика: Учебное пособие по теоретическому курсу / Под ред. В.Н. Тимофеева, Е.А. Головенко. – Красноярск: Сибирский федеральный университет, 2007.
2. N. El-Kaddah, M. Arenas and V.L. Acoff Heat transfer and fluid flow in stationary gas welding of  $\gamma$ -TiAl based alloys: effect of thermocapillary flow / Second International conference on CFD in the Minerals and Process Industries . – 1999. –pp.417-422.