

ЧИСЛЕННОЕ РЕШЕНИЕ УРАВНЕНИЙ ГИНЗБУРГА-ЛАНДАУ ДЛЯ СВЕРХПРОВОДЯЩЕГО КУБА

И.А. УШАКОВ¹

¹ Томский политехнический университет

E-mail: mamay2008@bk.ru

В работе была рассчитана индукция магнитного поля сверхпроводящего куба путем численного решения системы уравнений Гинзбурга-Ландау [1] методом конечных элементов

$$\frac{\partial \Psi}{\partial t} = - \left(\frac{i}{k} \nabla + \vec{A} \right)^2 \cdot \Psi + \Psi - |\Psi|^2 \cdot \Psi,$$

$$\sigma \cdot \frac{\partial \vec{A}}{\partial t} = \frac{1}{2 \cdot i \cdot k} \cdot (\Psi^* \cdot \nabla \Psi - \Psi \cdot \nabla \Psi^*) - |\Psi|^2 \cdot \vec{A} - \nabla \times \nabla \times \vec{A},$$

с граничными условиями

$$\begin{aligned} (\nabla \Psi, \vec{n}) &= 0, \\ \nabla \times \vec{A} &= \vec{B}_a, \\ \vec{B}_a &= (0, 0, B_{az}), \\ (\vec{A}, \vec{n}) &= 0, \end{aligned}$$

где, Ψ – комплексное поле пар Купера, k – параметр Гинзбурга – Ландау, \vec{A} – векторный потенциал электромагнитного поля.

Моделирование проведено в COMSOL Multiphysics. Граничные условия были введены в систему с помощью вспомогательной переменной [2].

Уравнение решалось при следующих параметрах: шаг по времени от 0 до 200 равен 0.01, $\sigma = 1$, $k = 4$, магнитное поле направлено по оси Z и его величина составляла в безразмерных единицах $B_{az} = 0.85$.

На рисунке 1 очертаниями показан сверхпроводящий куб размерами 5x5x5 при $t=200$. В трех сечениях данного куба построены вектора индукции магнитного поля. Цветовой гаммой изображен квадрат модуля комплексного поля пар Купера.

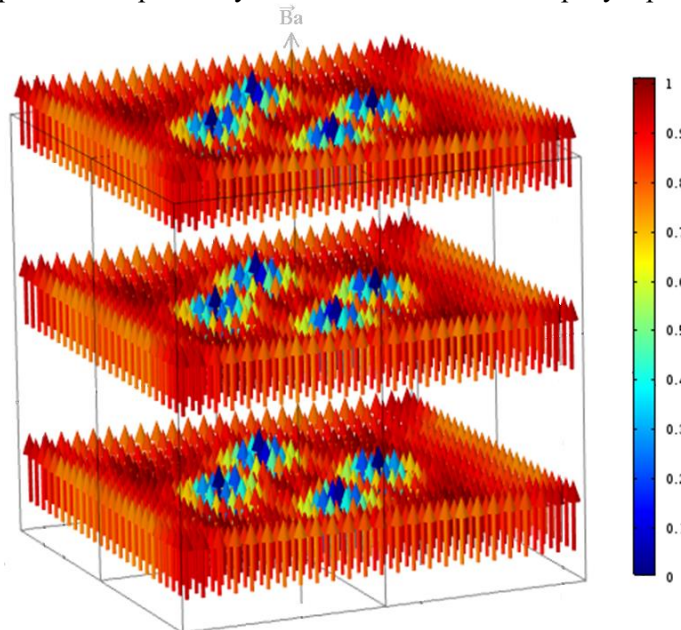


Рисунок 1 – Вектор индукции магнитного поля при $B_{az}=0.85$

Также найдены значения критического магнитного поля, для значений внешнего магнитного поля получено распределение вихрей Абрикосова.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 18-32-00228.

Список литературы

1. Fomin Vladimir, Rezaev Roman, Schmidt Oliver. Tunable Generation of Correlated Vortices in Open Superconductor Tubes // Nano letters. 2012. – Volume 12, Number 3. – 1282-1287.
2. Alstrøm, T. S., Sørensen, M. P., Pedersen, N. F., & Madsen, S. Magnetic Flux Lines in Complex Geometry Type-II Superconductors Studied by the Time Dependent Ginzburg-Landau Equation // Acta Applicandae Mathematicae. 2010. – 115(1). – pp. 63-74.

ИССЛЕДОВАНИЕ МИКРОСТРУКТУРЫ НЕРЖАВЕЮЩЕЙ СТАЛИ, СФОРМИРОВАННОЙ МЕТОДОМ ПРОВОЛОЧНОЙ ЭЛЕКТРОННО-ЛУЧЕВОЙ НАПЛАВКИ

А.С. ФОРТУНА¹, Е.Г. АСТАФУРОВА²

¹ Томский политехнический университет

² Институт физики прочности и материаловедения СО РАН

E-mail: anastasya_fortuna@mail.ru

В процессе производства изделий аддитивными методами формируется сложная иерархическая микроструктура. Из-за большого количества факторов, воздействующих в процессе печати на изделие, предсказать вид микроструктуры и механические свойства конечного изделия достаточно сложно. Получаемая при аддитивном росте микроструктура требует изучения самыми различными методами. Целью данной работы являлось выявление особенностей микроструктуры аустенитной нержавеющей стали, формируемой в процессе проволочной электронно-лучевой наплавки, методом просвечивающей электронной микроскопии (ПЭМ).

Процесс наплавки осуществлялся на лабораторной установке для проволочной электронно-лучевой печати в вакууме. Наплавку проводили в одном направлении (каждый новый слой начинался и заканчивался там же, где предыдущий). В качестве наплавляемого материала использовали стальную сварочную проволоку марки AISI 304 (<0,03% C, 19-20% Cr, 9-11% Ni, 0,65-1% Si, 1-2,5% Mn, Fe ост.) диаметром 1 мм. Подложка, на которую производили наплавку, была изготовлена из низкоуглеродистой стали. Полученная заготовка имела вид стенки с размерами 100x5x30 мм. Для исследования микроструктуры перпендикулярно направлению печати были вырезаны плоские образцы в верхней и нижней частях заготовки. Фольги для ПЭМ исследований готовили стандартными методами путем электролитического травления в растворе хлорной кислоты в спирте. Исследование микроструктуры проводили стандартными методами ПЭМ (микроскоп JEOL 2100) и энергодисперсионной рентгеновской спектроскопии (энергодисперсионный детектор Inca X-act, Oxford Instruments).

На рисунке 1 представлены характерные ПЭМ-изображения микроструктуры наплавленного образца в разных частях заготовки. Изображения получены в режиме сканирующей просвечивающей электронной микроскопии. Вне зависимости от положения относительно подложки и начала печати слоя, микроструктура стали является двухфазной: по границам основной фазы располагаются ламели (ветви) дендритов другой фазы. Зёрна основного материала представляют собой аустенит (γ -фаза), а лежащие на границах с ними ламели – высокотемпературный феррит (δ -фаза). Толщина ламелей феррита достигает 1-2 мкм, длина – несколько микрометров. При помощи энергодисперсионного анализа было установлено, что ламели феррита обогащены по хрому и обеднены по никелю, а области аустенита, напротив, обогащены никелем и содержат мало хрома. По границам феррита и