

НЕЙТРОННЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ОСТАТОЧНЫХ НАПРЯЖЕНИЙ НА ДИФРАКТОМЕТРЕ «СТРЕСС»

© 2023 г. Иван Дмитриевич Карпов*, В. Т. Эм**

НИЦ «Курчатовский институт», 123182 Москва, пл. Академика Курчатова, д. 1

* - idkarpov@yandex.ru; ** - vtem9@mail.ru;

Нейтронный метод является мощным инструментом для исследования внутренних механических напряжений в объёмных металлических изделиях. Сочетание высокой проникающей способности нейтронов и чувствительности метода к деформациям кристаллической структуры материала позволяет определить 3 главные компоненты тензора напряжений непосредственно в толще образца.

Дифрактометр «СТРЕСС» на исследовательском реакторе ИР-8, НИЦ «Курчатовский институт» – специализированная установка, предназначенная для неразрушающих исследований напряжённо-деформированного состояния в поликристаллических образцах. Применяемая нейтронно-дифракционная методика измерений позволяет получать информацию о трёхмерном распределении остаточных напряжений в исследуемом объекте. В зависимости от материала образца, его размеров и целей эксперимента остаточные напряжения могут быть определены с точностью до ± 30 -50 МПа и с пространственным разрешением от 0,2 до 4 мм. Максимальная толщина образца может достигать 50 мм для сталей и 150 мм для алюминиевых сплавов.

На дифрактометре «СТРЕСС» впервые нейтронным методом был исследован X-образный сварной шов толщиной до 45 мм в пластине из высокопрочной стали. Было установлено, что максимальные растягивающие продольные напряжения сконцентрированы в двух разнесённых областях, расположенных вблизи поверхности шва по обеим сторонам пластины [1, 2].

По результатам исследования остаточных напряжений в сварном шве с низкотемпературным фазовым переходом (аустенит \rightarrow мартенсит) было показано, что вблизи поверхности такого сварного шва действительно сформировались сжимающие остаточные напряжения за счёт увеличения элементарной ячейки уже после кристаллизации расплава [3].

На дифрактометре «СТРЕСС» были проведены исследования остаточных напряжений в тонких пластинках, выращенных на жёсткой подложке методом прямого лазерного выращивания [4, 5]. Исследованные образцы имитировали производство реальных тонкостенных деталей больших линейных размеров. На основе экспериментальных данных была скорректирована математическая модель, применяемая

для описания закономерностей формирования распределения остаточных напряжений в образцах такого типа.

По результатам исследования тонких (100 мкм) стальных лент, применяющихся в качестве подложки при изготовлении высокотемпературных сверхпроводников 2-го поколения [6], были обнаружены растягивающие остаточные напряжения в поперечном направлении и сжимающие – в продольном. Выявленные остаточные напряжения были признаны одной из основных причин периодического разрушения многослойной структуры сверхпроводника в процессе производства.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Karpov I.D. et al.* Study of Through-Thickness Stress Distribution in Steel Double-V Butt Weld // *Journal of Surface Investigation: X-ray, Synchrotron and Neutron Techniques*. 2020. V. 14, № 1. P. S35—S41.
2. *Карпов И.Д., Эм В.Т., Карпов И.Г., Ильин А.В.*, Нейтрон-дифракционное исследование влияния закреплений и термообработки на остаточные напряжения в стальном сварном шве // *Физика металлов и металловедение*. 2022. Т. 123, № 9. С. 986—995.
3. *Wang H. et al.* Effect of tailored martensitic transformation in a thick weld: Residual stresses mitigation, heterogeneous microstructure, and mechanical properties // *Materials Characterization*. 2018. V. 144. P. 345—355.
4. *Karpov I.D. et al.* Neutron Diffraction Research of Residual Stress in Metal Plates Deposited on Rigid Substrate by DLMD Method // *Journal of Surface Investigation: X-ray, Synchrotron and Neutron Techniques*. 2020. V. 14, № 1. P. S79—S81.
5. *Карпов И.Д., Эм В.Т., Рылов С.А., Иванов С.Ю., Земляков Е.В., Бабкин К.Д.*, Исследование остаточных напряжений в стальных пластинах, полученных методом прямого лазерного выращивания на жесткой подложке // *Физика металлов и металловедение*. 2023. Т. 124, № 5. С. 443—450.
6. *Карпов И.Д. и др.* Исследование внутренних напряжений в несущей ленте-подложке из нержавеющей стали AISI 310S для ВТСП проводов второго поколения методом нейтронной стресс-дифрактометрии // *Журнал технической физики*. 2020. Т. 90. №. 7.