

УДК 669.018.2:539.4.016.3:539.25:539.4:539.52

DOI: 10.17223/00213411/62/4/125

С.А. АККУЗИН^{1,2}, И.Ю. ЛИТОВЧЕНКО^{1,2}, А.Н. ТЮМЕНЦЕВ^{1,2}, В.М. ЧЕРНОВ³

МИКРОСТРУКТУРА И МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА АУСТЕНИТНОЙ СТАЛИ ЭК-164 ПОСЛЕ ТЕРМОМЕХАНИЧЕСКИХ ОБРАБОТОК*

Исследовано влияние термомеханических обработок, включающих низкотемпературную и последующую теплую деформацию, на микроструктуру и механические свойства реакторной аустенитной стали ЭК-164. Показано, что низкотемпературная (после охлаждения в жидком азоте) пластическая деформация приводит к формированию высокой плотности микродвойников. В процессе последующей теплой (при $T = 600$ или 700 °С) деформации в микродвойниковой структуре распространяются полосы локализации деформации, имеющие внутреннюю фрагментированную наноразмерную структуру. Указанные особенности микроструктуры обеспечивают кратное (в 3–5 раз) увеличение предела текучести при 20 и 650 °С.

Ключевые слова: реакторная аустенитная сталь ЭК-164, термомеханическая обработка, механические свойства, просвечивающая электронная микроскопия, двойникование, локализация деформации.

Введение

В качестве материала оболочек тепловыделяющих элементов (ТВЭЛов) в энергетических ядерных реакторах на быстрых нейтронах используются стали аустенитного класса. К этим материалам предъявляются высокие требования по жаропрочности, сопротивляемости к радиационному распуханию и охрупчиванию при интенсивном и длительном радиационном повреждении [1–5]. Аустенитная сталь ЭК-164 имеет высокую коррозионную стойкость, пластичность и хорошую деформируемость, что позволяет применять ее в различных отраслях промышленности, в том числе для изготовления оболочек ТВЭЛов [5]. В работах [1–5] показано, что эта сталь обладает более высоким, по сравнению с другими реакторными аустенитными сталями (ЭП-172, ЧС-68 и др.), сопротивлением к радиационному распуханию при высоких (свыше 90 сна) повреждающих дозах.

Одним из способов повышения прочностных свойств аустенитных сталей является формирование в них субмикро- и нанокристаллических структурных состояний. В работах [6, 7] такие состояния были получены в аустенитных сталях 08X18H10T и 02X17H14M3 с использованием термомеханических обработок, включающих низкотемпературную и последующую теплую пластическую деформацию. В результате было достигнуто значительное (предел текучести ≈ 1150 – 1250 МПа) повышение прочности при $T = 20$ °С.

В настоящей работе исследовано влияние аналогичных термомеханических обработок на особенности микроструктуры и механические свойства реакторной аустенитной стали ЭК-164.

Материал и методика эксперимента

Элементный состав стали представлен в табл. 1. Исходное состояние (состояние поставки) получено закалкой после отжига $T = 1080$ °С, 1 ч. Начальный размер образцов до деформации $\approx 50 \times 10 \times 3.3$ мм. Низкотемпературную деформацию (с предварительным охлаждением в жидком азоте до -196 °С) осуществляли прокаткой за несколько проходов с общей степенью деформации $\varepsilon \approx 18$ – 20 %. Между проходами образцы выдерживали в жидком азоте. Последующую теплую деформацию со степенью деформации $\varepsilon \approx 35$ – 40 % проводили при $T = 600$ или 700 °С за один проход. Нагрев образцов осуществляли в трубчатой печи с выдержкой при заданной температуре ≈ 10 мин. После выхода из прокатного стана образцы охлаждали в воде.

Определение химического состава стали проводили с помощью рентгенофлуоресцентного спектрометра XRF-1800. Структурные исследования – с использованием просвечивающего электронного микроскопа Philips CM12 при ускоряющем напряжении 120 кВ. Тонкие фольги готовили из сечений, перпендикулярных плоскости прокатки, методом электролитической

* Исследование микроструктуры и механических свойств выполнено при финансовой поддержке РФФИ, проект № 18-38-00709 мол а, анализ механизмов деформации проведен в рамках Программы фундаментальных научных исследований государственных академий наук на 2013–2020 гг., направление III.23.

Уважаемые читатели!

Доступ к полнотекстовой версии журнала
«Известия высших учебных заведений. Физика»
осуществляется на платформе
Научной электронной библиотеки eLIBRARY.RU
на платной основе:

<https://elibrary.ru/contents.asp?titleid=7725>