

**ВЛИЯНИЕ ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНОЙ ТЕРМОМЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ
НА СКЛОННОСТЬ К НИЗКОТЕМПЕРАТУРНОМУ ОХРУПЧИВАНИЮ
МАЛОАКТИВИРУЕМОЙ 12%-Й ХРОМИСТОЙ ФЕРРИТНО-МАРТЕНСИТНОЙ
СТАЛИ ЭК-181***

Н.А. Полехина¹, В.В. Линник^{1,2}, К.В. Алмаева¹, И.Ю. Литовченко^{1,2},
А.Н. Тюменцев^{1,2}, Е.Н. Москвичев^{1,2}, В.М. Чернов³,
М.В. Леонтьева-Смирнова³, Н.А. Дегтярев³, К.А. Мороз³

¹ Институт физики прочности и материаловедения СО РАН, г. Томск, Россия

² Национальный исследовательский Томский государственный университет, г. Томск, Россия

³ АО «Высокотехнологический научно-исследовательский институт неорганических материалов
им. акад. А.А. Бочвара», г. Москва, Россия

Исследовано влияние высокотемпературной термомеханической обработки (ВТМО) с деформацией в аустенитной области в сравнении с традиционной термической обработкой (ТТО) на закономерности низкотемпературного охрупчивания малоактивируемой 12%-й хромистой ферритно-мартенситной стали ЭК-181 при динамических испытаниях на ударную вязкость и статических испытаниях на одноосное растяжение в интервале от –196 до 20 °С. Установлено, что ВТМО приводит как к повышению прочностных свойств стали на растяжение, так и к увеличению ударной вязкости. При этом температура ее вязко-хрупкого перехода практически не изменяется относительно ТТО. Особенности микроструктуры стали после ВТМО, формирование расщеплений при разрушении образцов типа Шарпи (в плоскостях, параллельных плоскости горячей прокатки) оказывают благоприятное влияние на ее ударную вязкость.

Ключевые слова: ферритно-мартенситная сталь, малоактивируемая сталь, ударная вязкость, температура вязко-хрупкого перехода, прочность, пластичность, высокотемпературная термомеханическая обработка, фрактография.

Введение

Малоактивируемые 9–12%-е хромистые ферритно-мартенситные стали в настоящее время рассматриваются как перспективные конструкционные материалы для активных зон и внутрикорпусных устройств реакторов деления и синтеза [1–4]. Концепция малой активируемости сталей разработана для уменьшения количества радиоактивных отходов после их использования в ядерных реакторах. Стали такого класса обладают рядом привлекательных свойств, в том числе высокой теплопроводностью, низким коэффициентом теплового расширения, высокой стойкостью к радиационному набуханию, к гелиевому охрупчиванию и к коррозии в среде жидкометаллических теплоносителей, по сравнению с аустенитными сталями [1, 2]. Одной из основных проблем ферритно-мартенситных сталей является склонность к низкотемпературному охрупчиванию – переход в хрупкое состояние при понижении температуры [3, 4]. Кроме того, радиационное облучение может приводить к существенному повышению температуры их вязко-хрупкого перехода [5].

Российским представителем малоактивируемых реакторных ферритно-мартенситных сталей является комплексно-легированная 12%-я хромистая сталь ЭК-181 (RUSFER-EK-181) [1, 6, 7]. Традиционная термическая обработка (ТТО) этой стали включает в себя нормализацию и высокий отпуск, в результате которой формируется ферритно-мартенситная микроструктура с частицами вторых фаз: относительно грубодисперсных (80–200 нм) карбидов $M_{23}C_6$ (M – Cr, Mn, Fe, W) и наноразмерных (5–10 нм) карбонитридов типа MX (M – V, Ti, Ta и др., X – C, N) [1, 6].

В [6, 7] предложены режимы высокотемпературной термомеханической обработки (ВТМО) с деформацией в аустенитной области стали ЭК-181. Эти режимы обеспечивают существенное (примерно на 20%) увеличение, относительно ТТО, ее предела текучести в широком (от –196 до 700 °С) интервале температур [6]. Пластическая деформация в процессе ВТМО приводит к повышению плотности дислокаций, увеличению числа мест зарождения частиц типа MX, дисперсности и объемной доли этих частиц, что способствует повышению эффективности совместного дисперсного и субструктурного упрочнения [6, 7].

* Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 21-79-00231, <https://rscf.ru/project/21-79-00231/>. Работа выполнена с использованием оборудования Томского регионального центра коллективного пользования ТГУ.

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>