

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РФ
ИНСТИТУТ ФИЗИКИ ПРОЧНОСТИ И МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЯ СО РАН

ФИЗИЧЕСКАЯ МЕЗОМЕХАНИКА МАТЕРИАЛОВ.
ФИЗИЧЕСКИЕ ПРИНЦИПЫ ФОРМИРОВАНИЯ МНОГОУРОВНЕВОЙ
СТРУКТУРЫ И МЕХАНИЗМЫ НЕЛИНЕЙНОГО ПОВЕДЕНИЯ

Международная конференция

5–8 сентября 2022 г.
Томск, Россия

Тезисы докладов

Новосибирск
2022

**НОВАЯ МАЛОАКТИВИРУЕМАЯ ХРОМОМАНГАНЦЕВАЯ АУСТЕНИТНАЯ СТАЛЬ
ДЛЯ ЯДЕРНОЙ ЭНЕРГЕТИКИ**

^{1,2}Литовченко И.Ю., ³Чернов В.М., ¹Аккузин С.А., ¹Полехина Н.А., ¹Алмаева К.В.,
^{1,2}Ким А.В., ^{1,2}Линник В.В., ^{1,2}Москвичев Е.Н.

¹Институт физики прочности и материаловедения СО РАН, Томск

²Томский государственный университет, Томск

³АО «ВНИИНМ им. академика А.А. Бочвара», Москва

В настоящее время в качестве конструкционных материалов реакторов на быстрых нейтронах используются сложнoleгированные хромоникелевые стали аустенитного класса. В РФ в реакторах III-го поколения (БН-600, БН-800) это стали типа ЧС-68 (Fe-16Cr-15Ni-2Mo-Mn-Ti-V-B) и ЭК-164 (Fe-16Cr-19Ni-2Mo-2Mn-Nb-Ti-B). Эти стали обладают рядом привлекательных качеств, по сравнению с другими конструкционными материалами (повышенная жаропрочность, отсутствие склонности к низкотемпературному охрупчиванию), но не отвечают возрастающим требованиям ядерной энергетики, в том числе малой активированности (быстрого спада наведенной радиоактивности) за счет наличия в составе Ni и других высокоактивируемых элементов (Co, Mo, Nb). Для проектируемых реакторов деления нового IV-го поколения существует необходимость расширения интервала рабочих температур (до 700 °С для сплавов на основе Fe). В связи с этим ведется поиск новых составов сплавов и оптимизация их термомеханических обработок, обеспечивающих требуемые значения жаропрочности, радиационной стойкости, низкие значения радиационного распухания и склонности к радиационному охрупчиванию.

В настоящей работе предложен новый композиционный состав малоактивируемой аустенитной стали на хромоманганцевой основе с повышенным содержанием марганца и дополнительным легированием карбидообразующими элементами (Ta, Ti, V, Zr, W). Проведена опытная плавка нового состава весом 2,5 кг в вакуумной индукционной печи. После гомогенизации 1250 °С, 2,5 часа осуществлен высокотемпературный передел при 1200 °С с последующей горячей прокаткой на лист 1,5 и 3 мм. Проведен отжиг 1100 °С 1ч. с последующей закалкой в воду.

С помощью рентгенофлуоресцентного и атомно-эмиссионного спектрометров определен химический состав новой стали: Fe-29.6Mn-15Cr-1.6W-0.77Si-0.31Ta-0.26Ti-0.21V-0.07Zr-0.3C, вес. %. Высокоактивируемые элементы (Ni, Co, Mo, Al и др.) обнаружены в незначительном количестве.

Методами просвечивающей и растровой электронной микроскопии, а также рентгеноструктурного фазового анализа изучены особенности микроструктуры, элементного и фазового состава новой аустенитной стали в горячекатанном и закаленном состоянии. Показано, что после закалки структура стали представлена преимущественно аустенитом с размером зерна десятки микрон. Дислокационная структура стали типична для материалов с низкой энергией дефекта упаковки. По границам и внутри зерен обнаружены грубодисперсные (1–5 мкм) частицы различной формы типа MC (M = Ti, Ta, Zr, W). Наноразмерные частицы (менее 10 нм) карбидов такого типа закрепляют дислокационную субструктуру стали.

Методом энергодисперсионного анализа показано наличие областей, обогащенных (до 24 вес. %) хромом. Согласно данным просвечивающей электронной микроскопии в этих областях обнаруживаются отдельные зерна α -Fe, карбиды типа M₃C и σ -фаза. Наличие последней обнаружено в горячекатаных образцах методом рентгеноструктурного анализа. После закалки указанным методом показано наличие только аустенитной фазы. Обсуждаются корректировки содержания элементов с целью оптимизации фазового состава малоактивируемой аустенитной стали.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 22-19-00802, <https://rscf.ru/project/22-19-00802/>.