

УДК 669.15-194.56

Исследование процесса кристаллизации металла сварного шва жаропрочной аустенитной хромоникелькремниевой стали, легированной ниобием

Соловьева Маргарита Сергеевна^(*)

mssoloveva24@yandex.ru

SPIN-код: 4651-0381

Палаткина Любовь Владимировна

lv.palatkina@yandex.ru

SPIN-код: 1357-2983

Алексеев Павел Александрович

SPIN-код: 7018-1418

АО «НПО «ЦНИИТМАШ», Москва, Россия

Аннотация. Для композиции Fe-15Cr-9Ni-3Si-Nb построена псевдобинарная диаграмма и уточнены фазово-структурные механизмы ее кристаллизации. На основе концепции прерывистой кристаллизации твердого раствора на диаграмму нанесена граница дендритного роста, что позволило интерпретировать наблюдаемую морфологию первичной структуры. Показано, что при содержании углерода до 0,08 % масс. дендритные кристаллы высокотемпературного δ -феррита состоят из двух микроликвационных зон: скелетообразного первичного дендритного кристалла и послойно затвердевшего на нем избыточного. В макромасштабе для каждого такого комплексного дендрита обеспечивается принцип «один дендрит – одно зерно», что для рассматриваемой в работе композиции определяет понятие первичного (литого) зерна.

Ключевые слова: кристаллизация, граница дендритного роста, аустенитная сталь

Введение. Долгосрочные горизонты планирования атомной промышленности и особенности жизненного цикла атомных электростанций нового поколения обуславливают необходимость поисковых исследований по разработке направлений совершенствования основного конструкционного и сварочного материалов оборудования реакторных установок на быстрых нейтронах со свинцовым теплоносителем. Качество металла шва сварного соединения формируется в процессе затвердевания сварочной ванны, при этом современные достижения теории кристаллизации [1, 2] позволяют разрабатывать новые принципы управления процессами структурообразования с учетом последовательной смены механизмов роста твердой фазы с дендритного на послойный. Однако теория кристаллизации для сложнолегированных композиций все еще не является системой общепризнанных постулатов, фактически отсутствуют данные о микроликвации элементов, при затвердевании жаропрочной хромоникелькремниевой стали с карбидным упрочнением, именно эти взаимосвязанные части комплексной научной проблемы определяют актуальность и цель данной работы.

Методы и материалы; результаты. Электронно-микроскопические (Tescan Vega SBH3) и металлографические (ZEISS Axiovert 40 MAT) иссле-

дования выполняли на металле сварного соединения, полученном при многопроходной ручной дуговой сварке композиции Fe-15Cr-9Ni-3Si-Nb электродами типа ЦТ24У [3] и на металле ковшовой пробы, отобранной при выплавке в производственных условиях. По результатам оценки химического состава исследуемых образцов в Thermo-Calc построена диаграмма состояния. Зафиксированные при проведении металлографического исследования металла сварного шва микронного размера карбидные фазы, богатые ниобием, могут только наследоваться из металла электродного стержня, при этом не исключается возможность их укрупнения за счет ниобия, находящегося в расплаве сварочной ванны, что для затвердевающей системы термодинамически выгодно. При содержании углерода до 0,08 % масс. первичная структура кристаллизации, наблюдаемая в литом металле ковшовой пробы морфологически идентична структурам в металле сварного соединения. Показано, что сильно разветвленный каркас скелетных дендритов высокотемпературного δ -феррита «достраивается» до классической дендритной формы за счет послойной кристаллизации избыточного высокотемпературного δ -феррита с образованием высокоугловой границы раздела. Это позволяет минимизировать поверхность, сформировав такую морфологию дендритов, которая обеспечивает практически мгновенный рост сплошной пленки аустенита и изоляцию их от расплава при перитектической реакции. Междендритная жидкость, за счет послойной кристаллизации, достраивает каждый дендрит до литого зерна, при этом высокоугловой границы между комплексным дендритом и аустенитом, затвердевающим в междендритном пространстве нет.

Заключение. Полученные в работе данные позволяют приступить к разработке научного направления теории кристаллизации для группы аустенитных жаропрочных сталей с карбидным упрочнением. При условии разработки нового способа металлографического травления, т. к. на данном этапе исследований в области скелетообразных первичных дендритов высокотемпературного δ -феррита было обнаружено сильное «вытравливание» объемов твердого раствора, что не позволило корректно выполнить оценку состава данных микроливкационных зон.

Список источников

- [1] Липпольд Д., Котеки Д. *Металлургия сварки и свариваемость нержавеющей сталей*. Санкт-Петербург, Изд-во Политех. ун-та, 2011, 467 с.
- [2] Костылева Л.В. *Создание новых научных принципов упрочнения железуглеродистых сплавов на основе развития теории кристаллизации и микроликвации*. Дис. ... д-ра техн. наук. Волгоград, 2002, 340 с.
- [3] Алексеёнок П.А. *Разработка аустенитных сварочных материалов для технологии сварки оборудования АЭУ с тяжелым жидкометаллическим теплоносителем*. Автореф. дис. ... канд. техн. наук. Москва, 2023, 25 с.