



## ПО СТРАНИЦАМ ЖУРНАЛА «WELDING JOURNAL» 2009, № 1

*M. I. Onsoien, M. M'Hamdi and A. Mo.*  
ДИАГРАММА ССТ ДЛЯ МОРСКИХ ТРУБОПРОВОДОВ ИЗ СТАЛИ X70

С помощью дилатометрии и металлографических анализов представлена схема превращений при непрерывном охлаждении (ССТ) типичная для металла 3ТВ при сварочных работах с относительно быстрым нагревом до 1200 °С применительно к морским трубопроводам из стали марки X70 с учетом коэффициентов линейного теплового расширения для фаз аустенита и бейнита. Для выполнения этих работ был построен дилатометр. Для сравнения сталь также была испытана на промышленном дилатометре, который исполь-

зует более крупные образцы, чем лабораторный дилатометр. Необходимость использования относительно небольших дилатометрических образцов с целью уменьшения неточности, связанной с температурными градиентами, была обоснована с помощью математического моделирования, показывающего, что цилиндрические образцы длиной 20 мм и диаметром 3 мм являются достаточно маленькими и вполне приемлемыми.

*F. F. Noecker II and J. N. DuPont. МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ РАСТРЕСКИВАНИЯ  
(ПРОВАЛА ПЛАСТИЧНОСТИ) В СПЛАВАХ НА Ni-ОСНОВЕ: Ч. I*

Сплав 690 (A690) является сплавом системы Ni-Cr-Fe с хорошим сопротивлением общей и локальной коррозии и растрескиванию относительно коррозии под напряжением. Однако сопутствующий сплаву присадочный материал FM52 для сплава A690, как утверждают некоторые исследователи, проявляет склонность к растрескиванию (провалу пластичности), которая ограничивает его широкое использование для соединения. Испытание горячей пластичности на установке Gleeble® использовали для оценки склонности к растрескиванию деформируемого сплава 600 (A600) и A690 вместе с их сопутствующими присадочными материалами 82H (FM82H) и FM52 по всей ветви нагрева и охлаждения, моделирующего тепловой цикл сварки. Выполнено сравнение как макроскопического механического измерения (пластичность и предел прочности при растяжении), так и микроскопического измерения (нормированная длина трещины). Наибольшее сопротивление растрескиванию наблюдалось в образцах сплавов A600 и A690 во время нагрева, трещины в них не образовывались, даже если образцы разрушались. Обнаружено, что A690 и FM52 формируют промежуточный провал пластичности и растрескивание при охлаждении, что соответствовало увеличению длины трещины растрескивания по отношению к длине границы зерна. Трещины в области провала в основном были ориентированы под углом 45° к оси растяжения и имели вид клина, что указывает на сдвиг границы зерна. Горячая пластичность и сопротивление растрескиванию FM82H оставались высокими на протяжении всего теплового цикла. Склонность к растрескиванию в FM52 и FM82H снизилась, когда тепловой цикл был трансформирован на активирование выделения межзеренных карбидов. Эти межзеренные карбиды выступают в качестве средства для снижения склонности к растрескиванию путем ограничения сдвига границы зерна. Более детально микроструктур-

ная обработка и микрохимическая оценка во время теплового цикла и их влияние на механизм (ы) растрескивания будут описаны во второй части статьи.

Проведенные исследования указывают на то, что области металла сварного соединения, подвергнутые промежуточным перегревам, когда пиковая температура превышает температуру растворения промежуточных карбидов, будут подвержены растрескиванию. Предполагается, что области, нагретые выше температуры растворения карбидов, но ниже температуры ликвидуса, станут более уязвимы для растрескивания. Размер этой уязвимой области металла соединений можно уменьшить при помощи формирования межзеренных выделений, которые являются стабильными при более высокой температуре, как, например, в случае с NbC, который формируется при применении присадочного материала FM82H.

Растрескивание (провал пластичности) образуется в основном вдоль границ зерна, ориентированного под углом 45° по отношению к оси растяжения. Это указывает на то, что сдвиг границы зерна играет роль в растрескивании. Более того, трещины наблюдаются при температурах выше температуры растворения карбида  $M_{23}C_6$  для FM52 (1149 °С) в обоих случаях как при нагреве, так и при охлаждении. Это можно объяснить сдвигом границы зерна, а не существующей гипотезой о растрескивании, вызванном пограничными выделениями, так как при 1148 °С карбиды  $M_{23}C_6$  в FM52, во-первых, не присутствуют, а во-вторых, не предполагается, что они образуются во время испытания на горячую пластичность, поскольку температура испытания выше температуры растворения  $M_{23}C_6$  (1136 °С). Дальнейшие исследования механизма растрескивания (провала пластичности) и влияния микроструктурных условий на склонность к растрескиванию будут обсуждаться во второй части статьи.



*Jose E. Ramirez. ОЦЕНКА МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ МЕТАЛЛА ШВА  
ИЗ ВЫСОКОПРОЧНОЙ СТАЛИ*

Основной импульс в развитии высокопрочных сталей (ВПС) был обусловлен необходимостью повышения их прочности, увеличения вязкости и улучшения свариваемости. Высокопрочные стали с пределом текучести 450 МПа (X70) и 550 МПа (X80) все больше и больше используются в различных конструкциях, что сопровождается возможностью применения более тонкостенных секций и соответственно к снижению массы конструкции и экономии средств на их изготовление. Дополнительное совершенствование химического состава и методик обработки привело к разработке и испытанию более высокопрочных сталей типа X100 и X120. В результате для получения металла шва с механическими свойствами в значительной степени эквивалентными механическим свойствам основного металла все время необходимы новые усилия по совершенствованию сварочных процессов и сварочных материалов. Для достижения положительного результата необходимо правильное понимание взаимосвязи химических и микроструктурных свойств в металле шва ВПС.

Рассмотрены характеристики растяжения, ударной вязкости по Шарпи и вязкости раскрытия в вершине трещины металла швов ВПС, позволившие сделать следующие выводы:

углеродный эквивалент  $SE_{IIW}$  обеспечивает хорошую взаимосвязь между химическим составом, микроструктурой, и механическими свойствами металла шва при растяжении;

предел текучести находится в диапазоне между 670 и 1030 МПа. Металл шва с пределом текучести 1030 МПа был получен при помощи сварочных материалов E120X;

пластичность и относительное удлинение снижаются с повышением прочности. Относительные удлинения 13 и 3 % наблюдались в металле шва, наплавленном при помощи соответственно сварочных материалов E100X и E120X;

металл швов демонстрирует различное поведение удара по Шарпи. Температура перехода из вязкого состояния в хрупкое наплавленного металла шва находится в диапазоне от -35 до 170 °С;

вязкость раскрытия в вершине трещины металлов шва при -10 °С демонстрирует большое количество рассеивания и колеблется от 0,01 до 0,62 мм. Предел текучести не имеет четкого влияния на вязкость раскрытия в вершине трещины. Уровень кислорода, углерода и азота в металле шва значительно влияет на вязкость раскрытия в вершине трещины металла шва;

наилучшая вязкость раскрытия трещины наблюдалась в металле шва с уровнями кислорода, углерода и азота, которые колеблются в диапазоне от 260 до 360, 0,0055...0,068 и 40...140 промилей соответственно. В основном наилучшая вязкость раскрытия трещины шва была получена при использовании дуговых процессов сварка с использованием защитных газов;

изменчивость удара по Шарпи и вязкости ВРТ металла швов, которые наплавлены при помощи определенных сварочных материалов и сварочного процесса, были связаны с квалификацией сварщика, расположением образцов для испытания по отношению к общему размещению шва, и к расположению зазора в образце для испытания по отношению к центральной линии шва.

*УЛУЧШЕНИЕ ШВОВ, ПОЛУЧЕННЫХ ДУГОВОЙ СВАРКОЙ  
ПЛАВЯЩИМСЯ ЭЛЕКТРОДОМ В СРЕДЕ ЗАЩИТНОГО ГАЗА*

Хотя иногда кажется, что это относится к области алхимии, на самом деле, нет ничего мистического или волшебного в создании хорошего шва, полученного дуговой сваркой плавящимся электродом в среде защитного газа. Хороший шов является результатом надлежащим образом работающего оборудования, хорошей методики и хорошей настройки оборудования для конкретных применений.

Если один из этих трех элементов не на должном уровне, результатом, почти всегда, будет являться плохой шов. С позиции оборудования, пистолет для газозащитной сварки плавящимся электродом в среде защитного газа и расходные материалы часто не рассматриваются как критические элементы в процессе создания высококачественных швов. Тем не менее, являясь наиболее манипулируемыми частями оборудования и ближе всего расположенными к дуге, пистолет и расходные материалы подвергаются продолжительным механическим и тепловым деформациям.

Двумя основными элементами, которые гарантируют, что пистолет и расходные материалы не препятствуют возможности создания высококачественных швов, полученных при помощи дуговой сварки плавящимся электродом в среде защитного газа, являются надлежащее техническое обслужи-

вание пистолета и правильное определение и устранение неисправностей при их появлении.

Конечно же, никакие профилактические меры не способны остановить проблему появления неисправностей. Таким образом, если возникает проблема, необходимо идентифицировать и исправить ее причину. Часто, одна и та же проблема, такая как неустойчивая подача проволоки, может иметь несколько причин ее появления. В таких случаях, правильным является выполнение действий по поиску неисправностей начиная с самых простых элементов для последующей проверки наиболее сложных.

Например, направляющая и контактный наконечник могут являться источниками нестабильной подачи проволоки. Проверка направляющей занимает приблизительно в 20 раз больше времени, чем контактного наконечника, то есть целесообразно начать с контактного наконечника и только потом проверить направляющую, если необходимо. Вот несколько наиболее распространенных неисправностей, которые возникают в результате ненадлежащей работы пистолета или сварочных материалов: *проволока не подается* — оплавление контактного наконечника, нестабильная подача проволоки; следствие — нестабильное горение дуги, появление пористости.