

РАЗВИТИЕ ТЕХНОЛОГИИ ПРОИЗВОДСТВА СВАРНЫХ ТРУБ ИЗ НЕРЖАВЕЮЩИХ СТАЛЕЙ ДЛЯ ПРИМЕНЕНИЯ В НЕФТЕГАЗОВОЙ И АТОМНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

М.М. Шевелев, к.т.н., доцент, ФГАОУ ВО «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина» (Екатеринбург, Россия), m.m.shevelev@urfu.ru

И.О. Мочалова, ОАО «Уральский трубный завод», (Первоуральск, Россия), i.mochalova@trubprom.com

А.В. Михалев, к.т.н., доцент, ФГАОУ ВО «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина», a.v.mikhalev@urfu.ru

М.Ю. Булганина, ФГАОУ ВО «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина», marina.bulganina@urfu.ru

Специфика условий эксплуатации труб для нефтяного и химического оборудования из хромистых сталей характеризуется наличием сравнительно высоких давлений в замкнутых объемах, взрывоопасных и коррозионно-активных рабочих сред, хрупких участков металла с неравновесной структурой. Данные факторы обуславливают ужесточение требований к качеству сварных соединений. Одним из важнейших критериев выбора рациональной технологии изготовления сварных труб в целях создания оборудования высокого качества из рассматриваемых сталей наряду с эксплуатационными свойствами является свариваемость.

АКТУАЛЬНОСТЬ

В настоящее время на отечественных предприятиях при производстве сварных изделий из сталей семейства 8-12X18H10 (аналог AISI 304) внедряются сложные наукоемкие технологии сварки, чаще всего используется оборудование зарубежных фирм-производителей (ESAB, Fronius, Kemppi, Polisoude и др.), которые при освоении и отработке технологии могут потребовать значительных материальных затрат: вместе со сварочным оборудованием поставляются отработанные технологии сварки, однако в ряде случаев они неприменимы в поле действия нормативных актов РФ, регламентирующих требования к качеству трубных соединений. Таким образом, возникает ситуация, когда необходимо применение существующих достижений в области математического моделирования сварочных процессов в инженерной практике для проектирования технологии

сварки труб. В настоящий момент достаточно проработаны основные положения распространения тепла при сварке, механизм формирования сварочной ванны и шва. Однако моделей и программного обеспечения для моделирования производства сварных труб не существует.

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Сталь марки 08X18H10 (AISI 304) относится к хромоникелевому классу низкоуглеродистых высоколегированных сталей. Высокое содержание хрома и никеля определяет превосходные прочностные и антикоррозионные свойства, востребованные повсеместно – их характеризуют как универсальные. Именно поэтому данный сплав входит число наиболее применяемых.

Целью настоящей работы является исследование обеспечения качества сварных труб за счет оптимизации параметров процесса индукционной сварки методом

компьютерного моделирования, изучения и учета механических свойств сталей отечественных металлургов. Оптимизация параметров технологического процесса – это многовариантный процесс, требующий многомерного моделирования, решения электрических, тепловых задач, а также рационального выбора основных и сопутствующих процессов.

Как показано ранее [1, 2], добиться требуемой структуры, обеспечивающей необходимые технологические свойства, можно, используя разные способы термической обработки, такие как сочетание типов термообработки (отжиг, нормализация, отпуск и т.д.), скоростной нагрев и охлаждение, термоциклирование в сочетании с непрерывной последовательностью технологических процессов. В этом случае задача во многом определяется наличием технологического оборудования, его составом, вариативностью использования.

ИССЛЕДОВАНИЕ МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ

На механические и технологические характеристики сварных соединений сильное влияние оказывают процессы фазовых и структурных превращений в применяемых сталях. При сварке в результате градиентного распределения температурных полей по сечению в сварных соединениях возникают деформации, приводящие к образованию остаточных напряжений.

После холодной деформации, связанной с формообразованием, прочностные и пластические характеристики стали претерпевают существенные изменения. Поэтому для их восстановления до соответствующего уровня требуется проведение термической обработки.

Исследование структуры стали 08X18H10 в местах обработки давлением показало, что в исходном деформированном состоянии структура металла представляет собой зерна аустенита, вытянутые в направлении прокатки. В случаях, когда металл поставляется в горячекатаном состоянии, в результате распада аустенита в процессе охлаждения листов на воздухе по границам аустенита происходит выделение ферритных и карбидных мелкодисперсных частиц, что вызывает дополнительное упрочнение. В дальнейшем в целях снижения прочностных свойств стали, претерпевшей холодную деформацию, образцы нагревали в камерной печи со следующим режимом: нагрев до температур 300–1050 °С, выдержка при заданной температуре 30 мин с последующим охлаждением в воде, на воздухе или в печи до 350 °С, а затем на воздухе. После термической обработки образцы испытывали на разрыв и ударную вязкость.

Пребывание металла в напряженно-деформированном состоянии увеличивает риск хрупкого разрушения сварных конструкций, поэтому немаловажной проблемой остается разработка технологий отжига сварных швов. Для изучения фазовых, структурных превращений и изменения свойств стали 08X18H10 в процессе сварки были проведены исследования по определению оптимальных режимов термической обработки сварных заготовок. Образцы для исследований вырезали в месте сварного шва в направлении поперек прокатки. Механические свойства образцов со сварными соединениями в исходном состоянии находились на уровне нижних значений соответствующих свойств основного металла по стандарту для данной марки стали: $\sigma_b = 763$ МПа; $\sigma_{02} = 622$ МПа; $\delta = 20,3$ %; $KCU^{20} = 85$ Дж/см²; $KCU^{-40} = 76$ Дж/см².

Изучение макроструктуры сварного шва показало, что он не имеет дефектов в виде раковин, непроваров. Нагрев образцов со сварным швом до температуры 800 °С и охлаждение с печью показали, что механические свойства стали достигают следующих значений: $s_b = 652$ МПа; $s_{02} = 440$ МПа; $d = 27$ %.

Повышение температуры нагрева до 900 °С приводит к дальнейшему снижению прочностных свойств до $s_b = 650$ –630 МПа; $s_{02} = 380$ –350 МПа, а относительное удлинение возрастает до 37 % при охлаждении на воздухе или в воде и до 41 % при охлаждении с печью. В процессе нагрева в интервале температур 800–900 °С в структуре сварного шва происходит распад аустенита с выделением карбидной фазы по границам зерен. Дальнейшее повышение температуры до 1050 °С позволяет получить наиболее благоприятные механические

свойства образцов со сварными швами ($s_b = 615$ –620 МПа; $s_{02} = 320$ –330 МПа; $d = 44$ –45 %), причем режим охлаждения (вода или воздух) не оказывает влияния на механические свойства стали. В структуре сварного шва формируется требуемая аустенитная структура с выделениями карбидов.

ВЫВОДЫ

Таким образом, отжиг из стали 08X18H10 изделий, имеющих сварные швы, рекомендуется производить в печи по следующему режиму: нагрев до температуры 1000–1050 °С и охлаждение с печью или на воздухе. Кроме того, весьма перспективным методом отжига может быть местный нагрев сварного соединения и околошовной зоны с применением индукционного нагрева или нагрева токами высокой частоты до температуры 1000–1050 °С с последующим охлаждением на воздухе. При этом металл в зоне сварного соединения приобретет необходимые свойства. Точное прогнозирование механических свойств готовой трубы дает возможность использования электросварных труб производства ОАО «Уралтрубпром» в тех сферах, где ранее использовались только горячекатаные трубы по ГОСТ 8732–78. ■



ОАО «Уралтрубпром»

623107, Россия,
Свердловская обл.,
г. Первоуральск,
ул. Сакко и Ванцетти, д. 28
Тел.: +7 (3439) 29–75–02
E-mail: market@trubprom.com
www.uraltrubprom.ru

ЛИТЕРАТУРА

1. Михалев А.В., Шевелев М.М., Мочалова И.О. и др. Современный расчет геометрии инструмента для точной формовки электросварных прямошовных труб // Газовая промышленность. 2020. № 11. С. 26–27.
2. Михалев А.В., Шевелев М.М., Мочалова И.О. и др. Современное моделирование сварки токами высокой частоты для повышения качества электросварных прямошовных труб // Территория «НЕФТЕГАЗ». 2020. № 11–12. С. 20–22.