

СТРУКТУРНОЕ СОСТОЯНИЕ НИЗКОЛЕГИРОВАННЫХ СТАЛЕЙ И СКЛОННОСТЬ К ЗАМЕДЛЕННОМУ РАЗРУШЕНИЮ В УСЛОВИЯХ НАСЫЩЕНИЯ ВОДОРОДОМ

Ливанова О.В., Соловьев Д.М., Филиппов Г.А., Шабалов И.П.

ФГУП «ЦНИИчермет им. И.П. Бардина», г. Москва, Россия,
ias12@vandex.ru

Эксплуатационная надежность трубной стали зависит от склонности трубной стали к развитию коррозионного растрескивания под напряжением, одной из причин которой является насыщение стали водородом.

Известно, что остаточные напряжения вносят значительные изменения в распределение напряжений в теле трубы, вызванных внутренним давлением и как следствие оказывают влияние на склонность к замедленному разрушению[1].

Напряжения от проектного рабочего давления, суммируясь с остаточными напряжениями, могут привести к началу пластического течения материала в локальных зонах. Это обстоятельство может оказаться достаточным для преодоления порогового уровня напряжения разрушения и начала развития трещин от внешне незначительных по размеру поверхностных дефектов [2–3].

Материал листового проката уже содержит некоторые остаточные напряжения, связанные с неравномерностью пластического деформирования и температурного режима при прокатке и последующем «отпуске» металла листов

На рис. 1 показаны этапы пошаговой формовки трубной заготовки для производства прямошовных сварных труб большого диаметра из листов с последующей дуговой сваркой кромок заготовки.

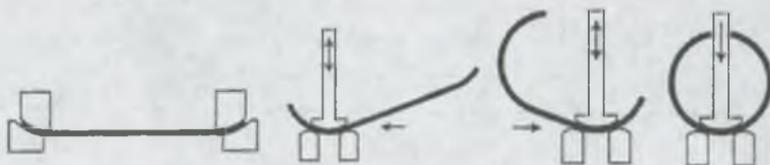


Рис. 1. Схема пошаговой формовки трубной заготовки для прямошовных труб.

После окончания процесса формовки трубы в ее теле имеются остаточные напряжения, связанные с операцией упруго-пластического изгиба и пластического деформирования листа. Состояние металла трубной заготовки после прессы шаговой формовки существенно различается по сечению, поскольку имеются участки первичной контактной кривизны (разовая подгибка относительно пуансона), участки неконтактные (изгибаются, не входя непосредственно в контакт с пуансоном), участки переформовки (первоначально формируются относительно бойка, а затем относительно пуансона), участки с нулевой кривизной (плоские участки).

Наибольшие упруго-пластические нагрузки испытывает зона подгибки кромок трубной заготовки. На образование остаточных напряжений в этой зоне наибольшее влияние оказывают следующие операции: подгибка кромок; формовка основной части профиля пошаговым прессом и заключительная операция – экспандирование трубы.

При экспандировании происходит правка трубы, и она приобретает правильную геометрическую форму. Радиус в зоне подгибки кромок увеличивается, на наружной и внутренней поверхности возникают деформации разного знака: на наружной поверхности трубы – напряжения сжатия, на внутренней поверхности – напряжения растяжения. После-

дующая раздача трубы (0,8–1,5%) приводит к ее пластическому деформированию по всему периметру и перераспределению остаточных напряжений [4].

Для исследования влияния остаточных напряжений на склонность к замедленному разрушению в присутствии водорода были отобраны образцы стали класса прочности *K* 65 из металла листа, трубной заготовки и готовой трубы от областей подгиба кромки, непосредственного контакта пуансона и перекрытия.

Испытания на склонность к замедленному разрушению проводили в среде имитирующей состав грунтовых вод с РН 5,1 с одновременным насыщением водородом методом катодной поляризации при статическом изгибе образцов с надрезом (тип 11 по ГОСТ 9454). Нагружение трехточечным изгибом проводили на универсальной испытательной машине «ИНСТРОН» с низкой скоростью нагружения – 0,005 см/мин.

Определяли разрушающее напряжение σ_r и работу зарождения трещины зарождения *Az*. Результаты испытаний представлены на рисунках 2, 3.

Процесс производства трубной заготовки вне зависимости от места отбора образцов оказывает минимальное влияние на величину напряжения общей текучести которая изменяется в пределах 891–901 Н/мм². После экспандирования и раздачи в готовой трубе наряду с деформационным воздействием происходит определенное выравнивание остаточных напряжений по диаметру. При этом отмечается снижение напряжения общей текучести относительно уровня исходного листа и трубной заготовки в области воздействия пуансона и перекрытия. В области подгиба кромки готовой трубы получено максимальное значение предела общей текучести 1007 Н/мм².

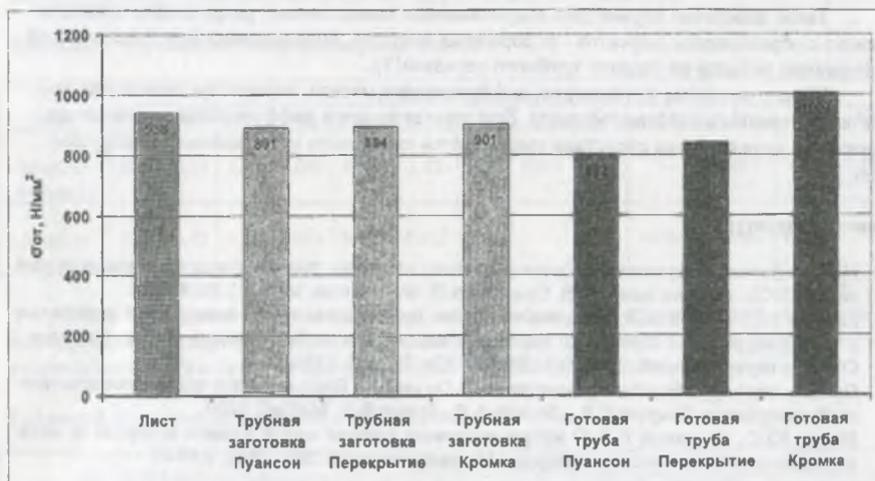


Рис. 2. Влияние трубного передела на напряжение общей текучести при испытании на замедленное разрушение

Работа зарождения трещины на стадии производства трубной заготовки в областях подгиба кромки и воздействия пуансона остается на уровне исходного листа – 28–29 Дж/см². При этом в области перекрытия, где на стадии производства трубной заготовки был минимальный уровень деформации работа зарождения трещины максимальна – 39 Дж/см². В готовой трубе работа зарождения трещины возрастает в области воздействия пуансона и перекрытия относительно соответствующих областей вырезки в листе и трубной заготовке. В области перекрытия рост работы зарождения трещины не наблюдается.



Рис. 3. Влияние трубного передела на работу зарождения трещины при испытании на замедленное разрушение

Такое поведение параметров сопротивления замедленному разрушению очевидно связано с образованием дефектов - водородных ловушек, возникающих при пластической деформации металла на стадиях трубного передела[5].

Можно полагать, что водород, диффундируя в металл, перераспределяется на дефектах внутреннего строения металла. При этом снижается диффузионная подвижность водорода в металле и как следствие уменьшается склонность к замедленному разрушению.

Список литературы

1. Методы расчета напряженно-деформированного состояния при производстве сварных труб в линии ТЭСА: сборник задач / С.В. Самусев, А.Н. Фортунатов. МИСиС. 2008. 135с.
2. Елиссев Т.С., Арабей А.Б. Актуальные вопросы производства труб с повышенной стойкостью к стресс-коррозии // Проблемы системной надежности и безопасности транспорта газа / Сборник научных трудов. М.: ООО «ВНИИГАЗ». 2008. С. 150-157.
3. Производство труб большого диаметра по «J-O» схеме. / Прогрессивные технологии пластической деформации, Самусев С.В., Люскин А.В., Болдыт В.В. МИСиС. 2009.
4. Нечаев Ю.С., Филиппов Г.А. О микромеханизмах влияния малых добавок водорода на механические свойства металлов и сплавов // Материаловедение. 2001, №11, с.40-45