Федеральное государственное автономное учреждение «Научно-учебный центр «Сварка и контроль» при МГТУ им. Н.Э. Баумана»

Общество с ограниченной ответственностью «Газпром ВНИИГАЗ»

ОЦЕНКА ОСТАТОЧНЫХ НАПРЯЖЕНИЯ В СВАРНЫХ ШВАХ С ТОЧКИ ЗРЕНИЯ ИХ ВЛИЯНИЯ НА КОРРОЗИОННОЕ РАСТРЕСКИВАНИЯ ПОД НАПРЯЖЕНИЕМ ГАЗОПРОВОДОВ

В.В. Бровко (ФГАУ «НУЦСК при МГТУ им. Н.Э. Баумана»);

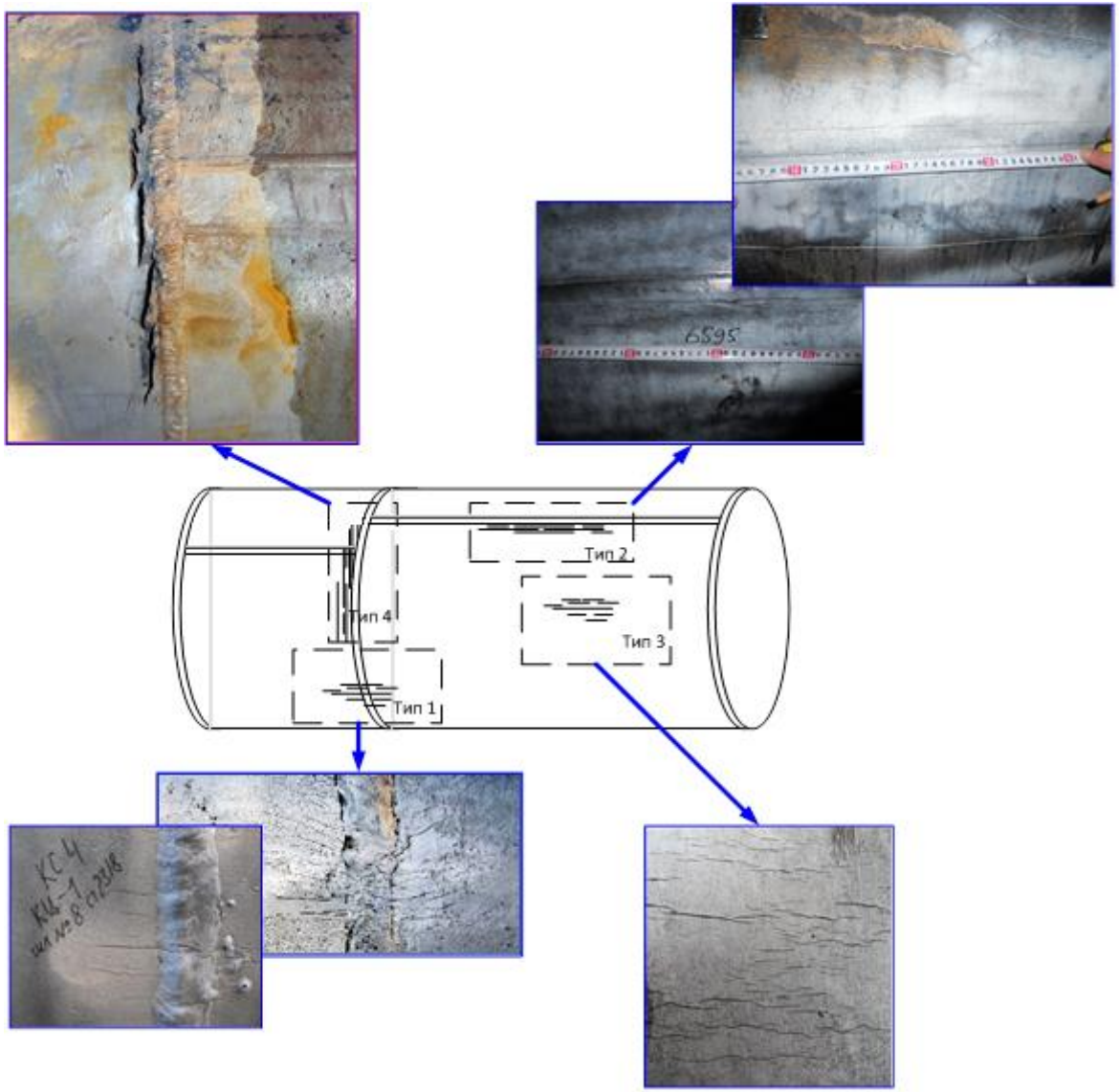
Д.А. Мишарин (ООО «Газпром ВНИИГАЗ»)

Докладчик:. В.В. Бровко

Распределение повреждений КРН по поверхности труб Ду1400 (по данным ООО «Газпром ВНИИГАЗ»)

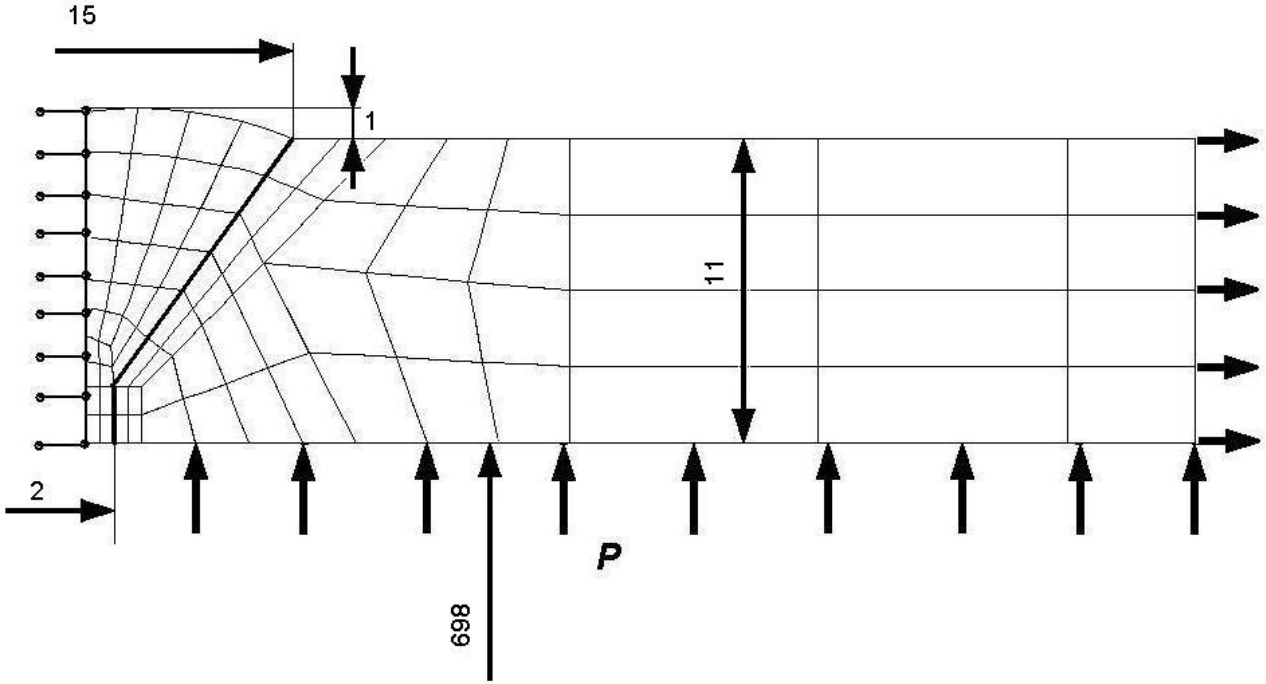
Тип повреждения КРН	Плотность, ед./км	Доля, %
1 (продольной ориентации вблизи монтажного шва)	5,83	23,42
2 (вблизи заводского шва)	9,31	37,15
3 (в основном металле трубы)	9,73	39,42
4 (поперечной ориентации вблизи монтажного шва)	<0,01	<0,01

Внешние проявления КРН



Применение расчетных методов для оценки напряжений в сварных швах

. Центральная часть конечноэлементной модели стыкового сварного
. соединения труб с одинаковыми толщинами стенок для расчетов с применением программного комплекса «СВАРКА».



Определение исходных свойств материалов

В расчете используется аддитивная модель формирования свойства материала из свойств его структурных компонентов.

$$X_i = \sum_{j=1}^{5} x_j p_j$$

где X_i – значение i-го свойства материала (например, теплопроводности);
x_j – значение свойства j-го структурного компонента;
p_j - массовая доля j -го компонента в структуре материала

Температурные зависимости теплопроводности структурных компонентов стали 09Г2С, Вт/(см*К)

λ	-100	20	308	455	572	726	864	1476	1512
Ж								1,0	1,0
А	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3
ФП	0,531	0,5	0,423	0,384	0,353	0,312	0,276	0,113	
Б	0,531	0,5	0,423	0,384	0,353	0,312	0,276	0,113	
М	0,531	0,5	0,423	0,384	0,353	0,312	0,276	0,113	

Температурные зависимости плотности структурных компонентов стали 09Г2С, г/см3

ρ,	-100	20	308	455	572	726	864	1476	1512
Ж								7,0	7,0
А	8,185	8,117	7,957	7,878	7,817	7,737	7,677	7,371	7,354
ФП	7,859	7,818	7,722	7,674	7,636	7,587	7,543	7,356	
Б	7,844	7,812	7,734	7,695	7,665	7,624	7,589	7,435	
М	7,84	7,808	7,790	7,691	7,661	7,621	7,585	7,432	

Температурные зависимости теплоемкости структурных компонентов стали 09Г2С, Дж/(г*К)

С	-100	20	308	455	572	726	864	1476	1512
Ж								0,712	0,712
А	0,433	0,453	0,503	0,528	0,548	0,575	0,599	0,704	0,71
ФП	0,432	0,454	0,504	0,53	0,551	0,578	0,602	0,710	
Б	0,432	0,454	0,504	0,53	0,551	0,578	0,602	0,710	
М	0,432	0,454	0,504	0,53	0,551	0,578	0,602	0,710	

Температурные зависимости предела текучести структурных компонентов стали 09Г2С, МПа

σт, 09Г2С	-100	20	308	455	572	726	864	1476	1512
Ж								0,1	0,1
А	200	198	169	144	109	56	24	0,1	0,1
ФП	350	346	296	251	190	97	41	0,1	
Б	545	539	561	391	296	152	64	0,1	
М	812	804	687	582	441	226	96	0,1	

Температурные интервалы и тепловые эффекты превращений металла шва

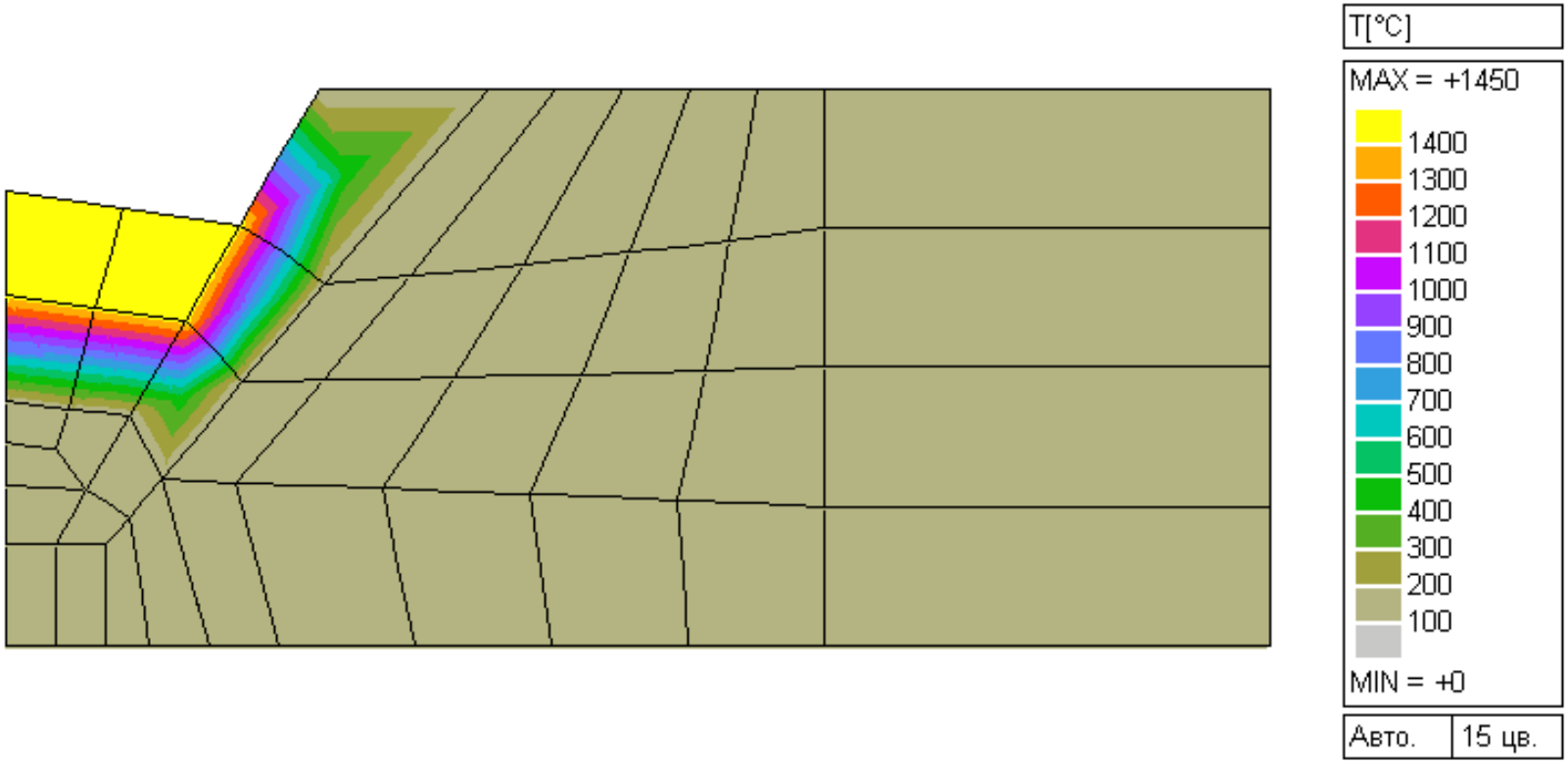
Жидкий металл (Ж)
Нагрев: нет превращений
Охлаждение: Ж → А в инт-ле температур (1517 - 1476). Тепловой эффект: 271 Дж/г

Аустенит (А)
Нагрев: А → Ж в инт-ле температур (1476 - 1517). Тепловой эф-т: -271 Дж/г
Охлаждение:
А → ФП в инт-ле температур (728 - 591) Тепловой эффект: 54 Дж/г
А → Б в инт-ле температур (591 - 467) Тепловой эффект: 54 Дж/г
А → М в инт-ле температур (467 - 320) Тепловой эффект: 54 Дж/г

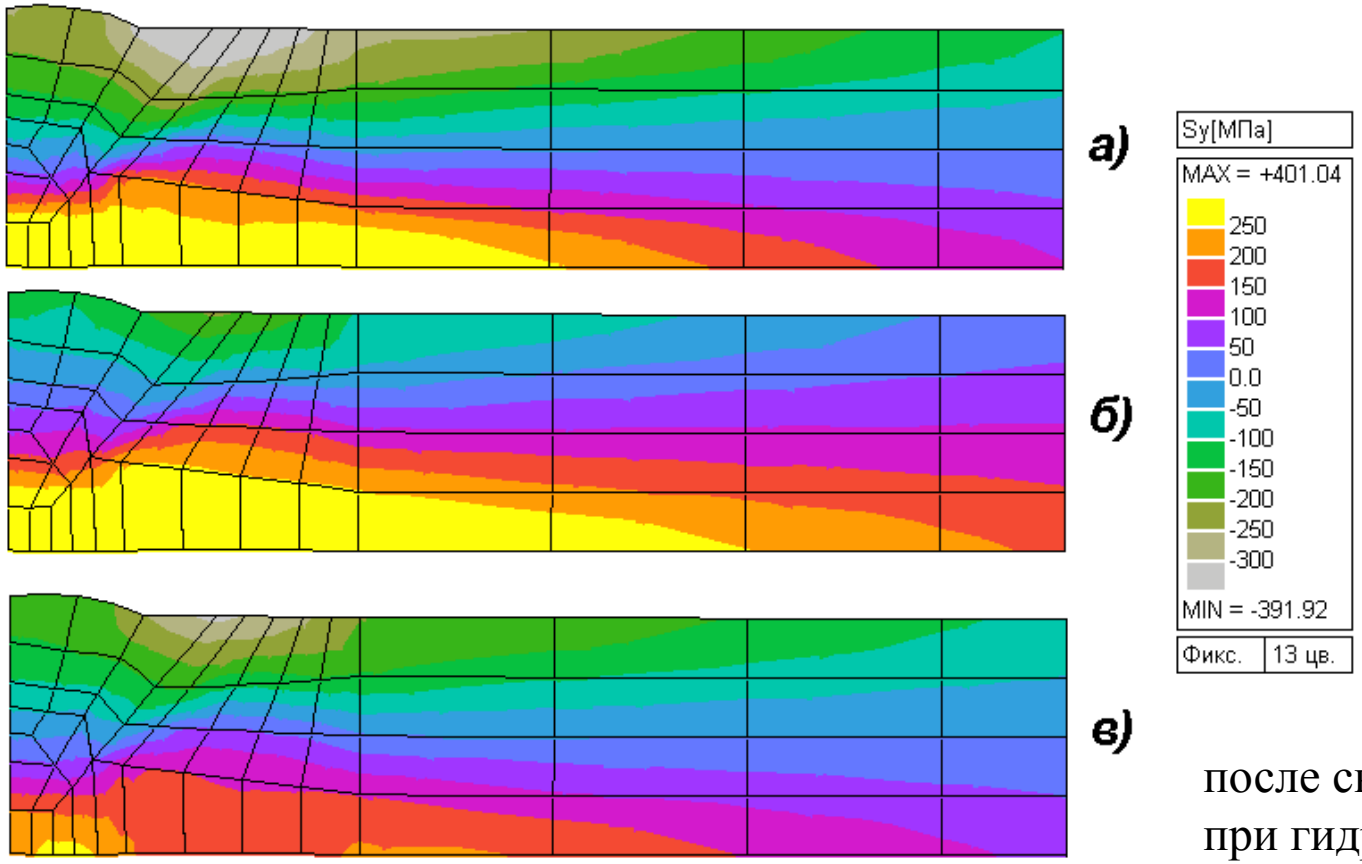
Феррито-перлитная смесь (ФП)
Нагрев:ФП →А в инт-ле температур (728 - 1476). Тепловой эффект: -54 Дж/г
Охлаждение: нет превращений Тепловой эффект: нет
Бейнит (Б)
Нагрев: Б → А в инт-ле т-р (728 - 1476). Тепловой эффект: -54 Дж/г
Б → ФП в инт-ле т-р (591 - 728). Тепловой эффект: нет
Охлаждение: нет превращений Тепловой эффект: нет

Мартенсит (М)
Нагрев: М → А в инт-ле т-р (728 - 1476). Тепловой эффект: -54 Дж/г
М → ФП в инт-ле т-р (591 - 728). Тепловой эффект: нет
М → Б в инт-ле т-р (467 - 591). Тепловой эффект: нет
Охлаждение: нет превращений Тепловой эффект: нет

Пример моделирования температурных полей при сварке слоя шва

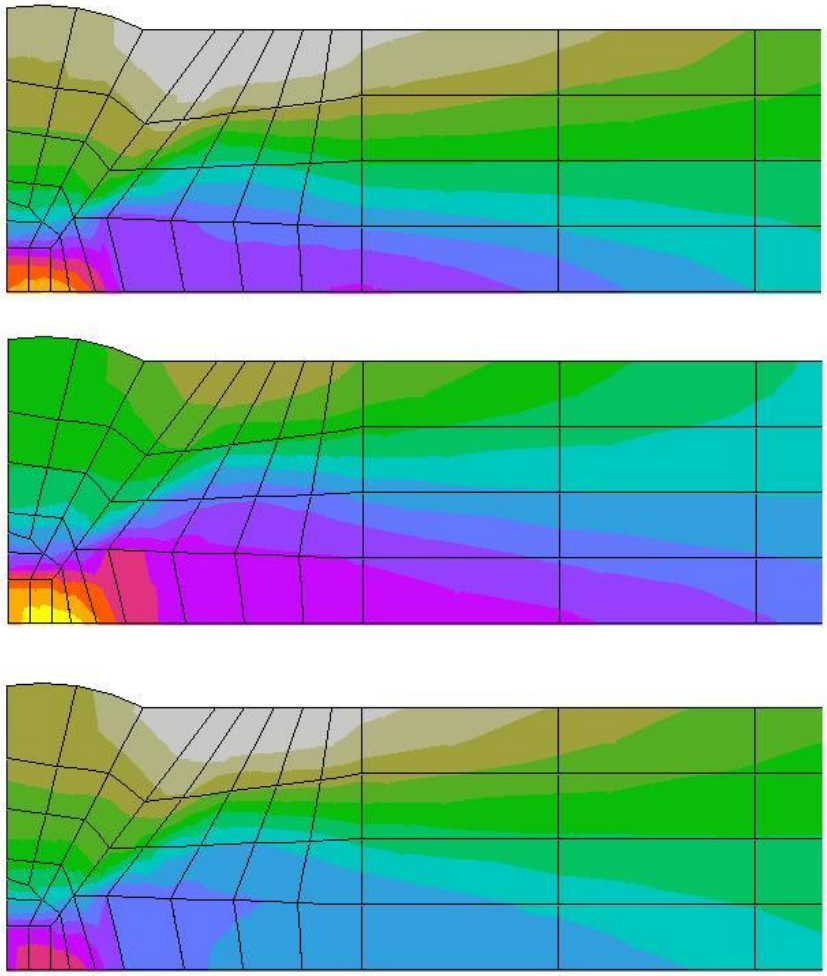


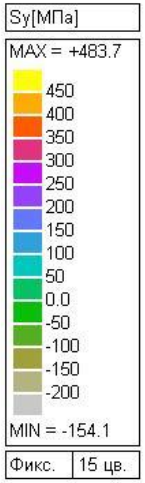
Расчетные значения напряжений в кольцевом сварном соединении трубы 720 мм, толщина 11, ручная дуговая сварка



после сварки (а),
при гидроопрессовке (б),
после гидроопресовки (в)

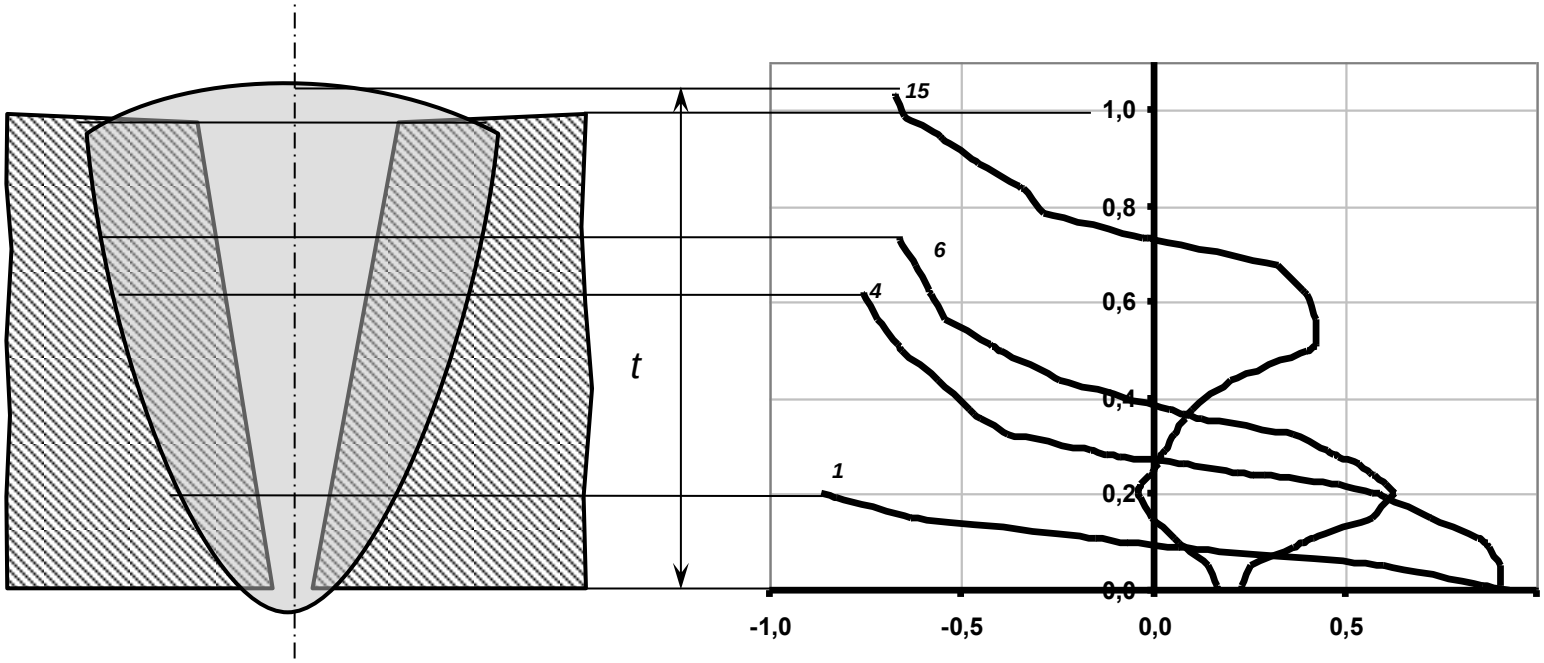
Расчетные значения напряжений в кольцевом сварном соединении трубы 325х12, сварка ручная дуговая



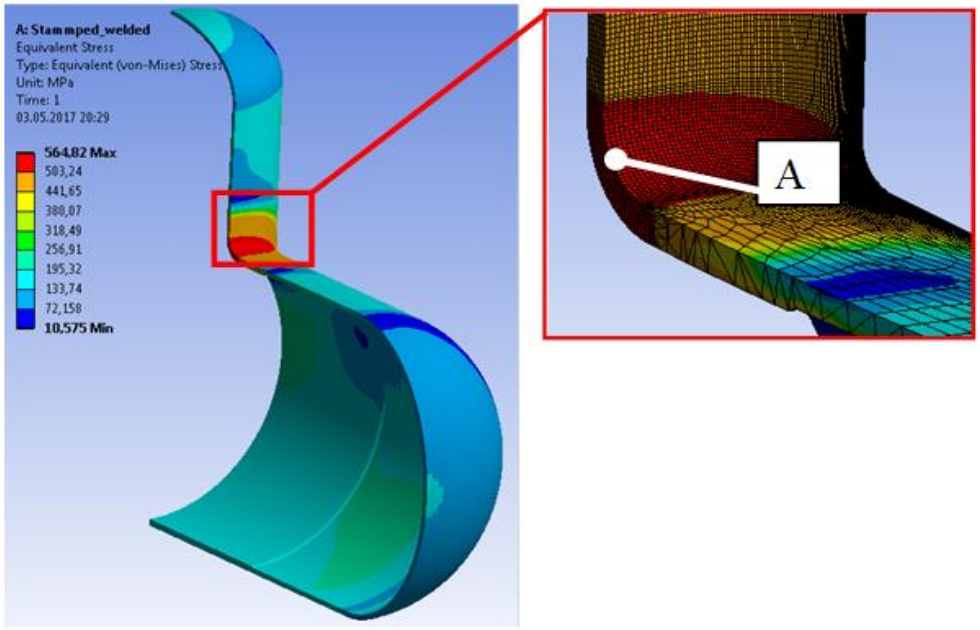


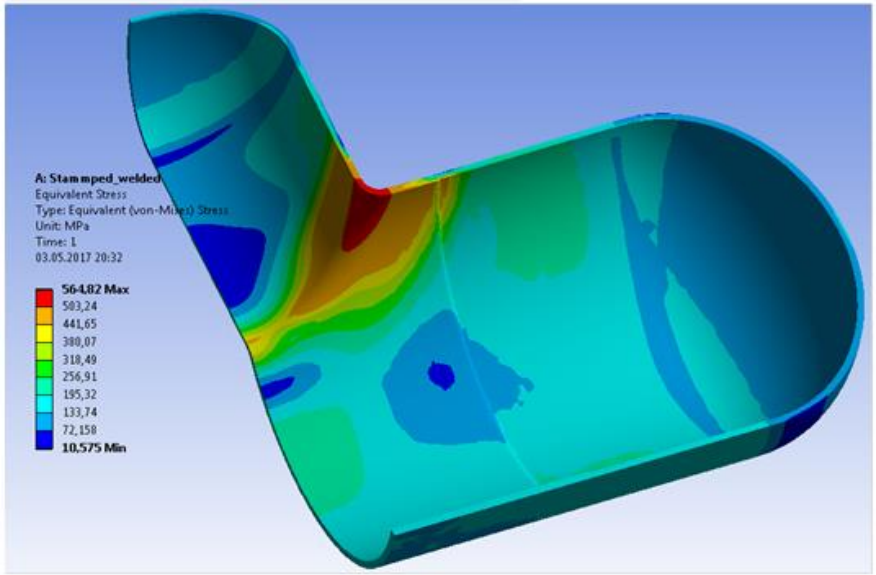
после сварки (а),
при гидроопрессовке (б),
после гидроопресовки (в)

Эпюры продольных напряжений после укладки первого, четвертого, шестого и пятнадцатого валиков шва

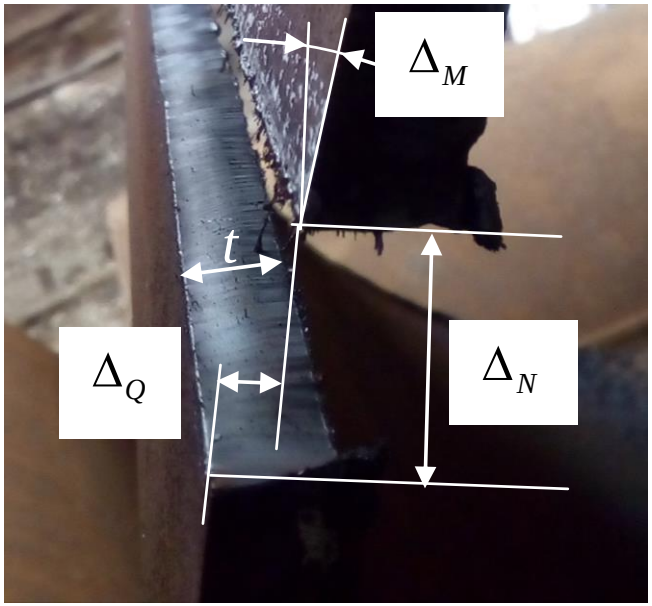


Распределение эквивалентных напряжений в штампосварном тройнике под действием внутреннего давления 7,5 МПа

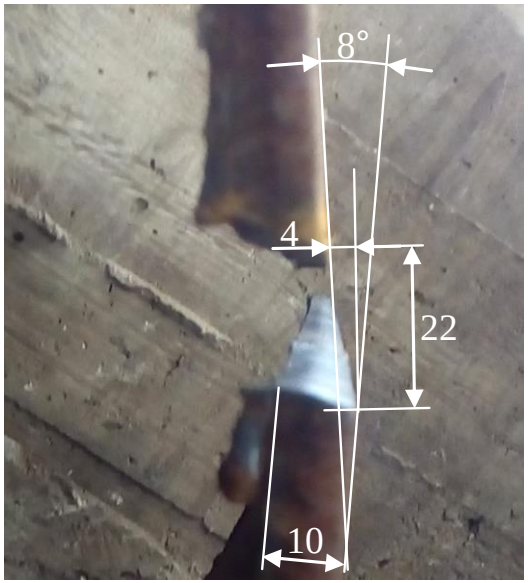


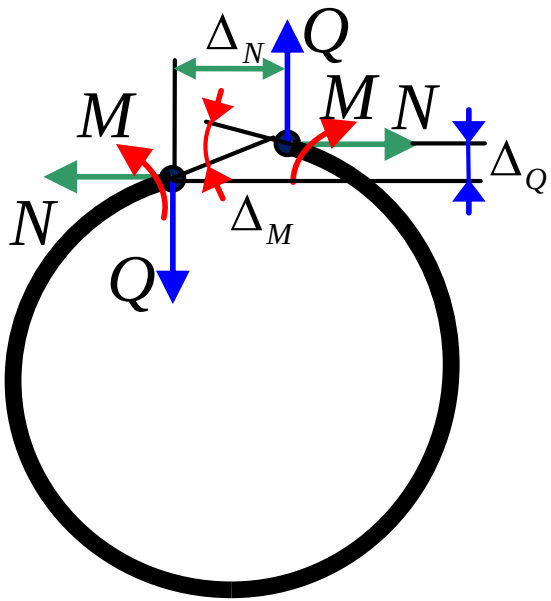


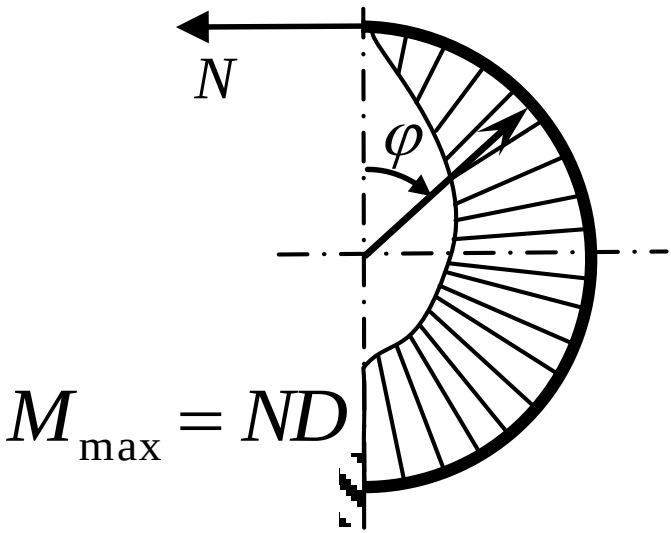
Экспериментальное определение остаточных напряжений в трубе



Результаты расчета напряжений для одношовной трубы 720х10 мм из стали класса прочности К56





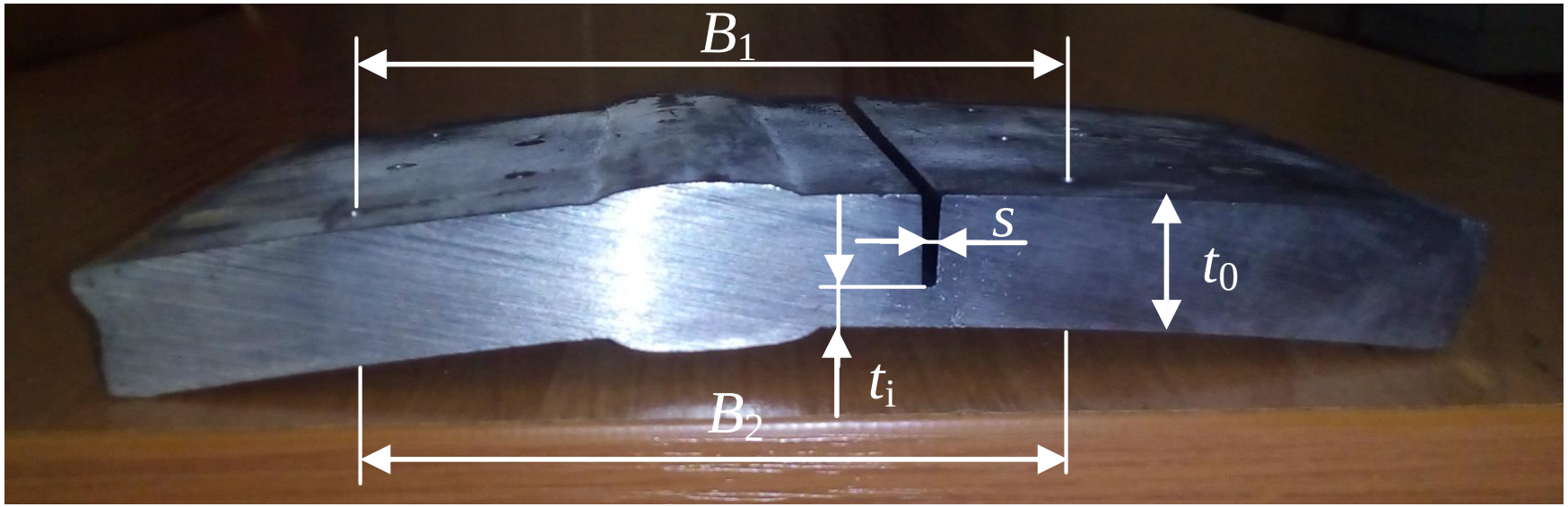


$N \approx -3$ Н/мм, $M \approx 2100$ Н, $Q \approx 0{,}4$ Н/мм (нагрузки на 1 мм длины трубы),

$tg\varphi \approx 0{,}133$; $\varphi \approx 7{,}5^\circ$; $M_{max} \approx 2100$ Н,

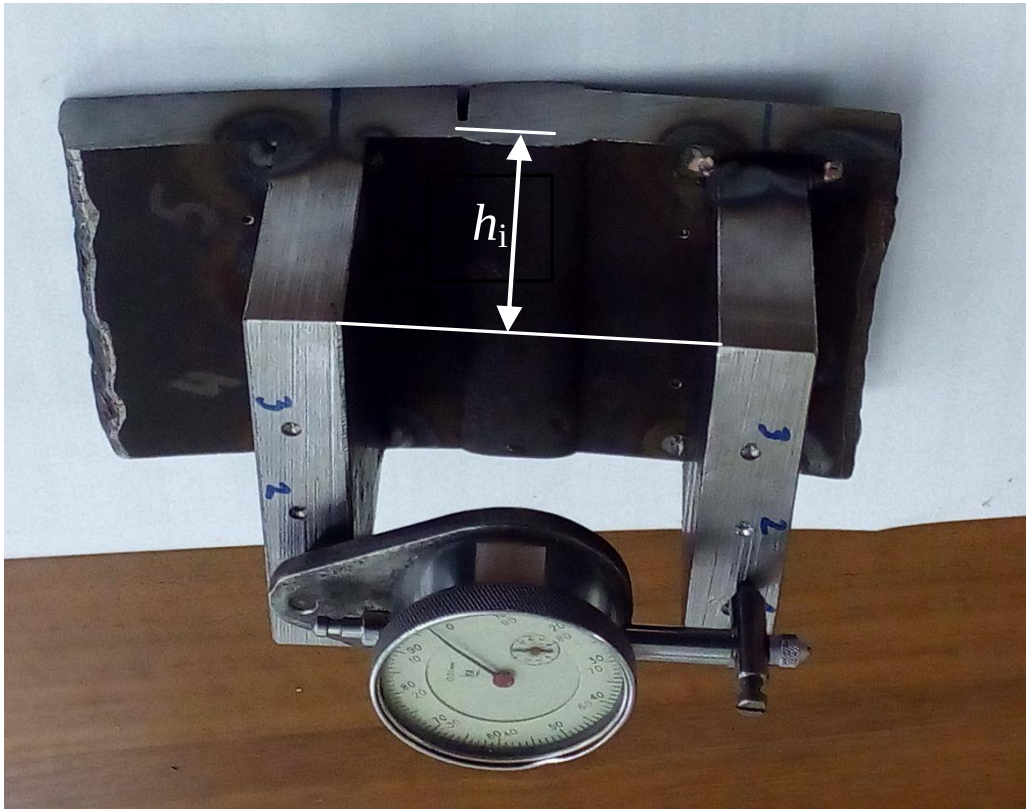
$\sigma_{max} \approx 126$ МПа, что составляет 27 % от σ_T

Экспериментальное определение остаточных сварочных напряжений в продольном сварном соединении трубы Mannesmann ø1220x18.5 мм из стали X70



$$\sigma = E\frac{\Delta B_{1i}}{\Delta t_i}\frac{t_i^3}{6st_{i-1}\left(t_0 - \frac{t_i}{2}\right)}$$

Образец с дополнительными маяками для повышения точности измерения деформации образца

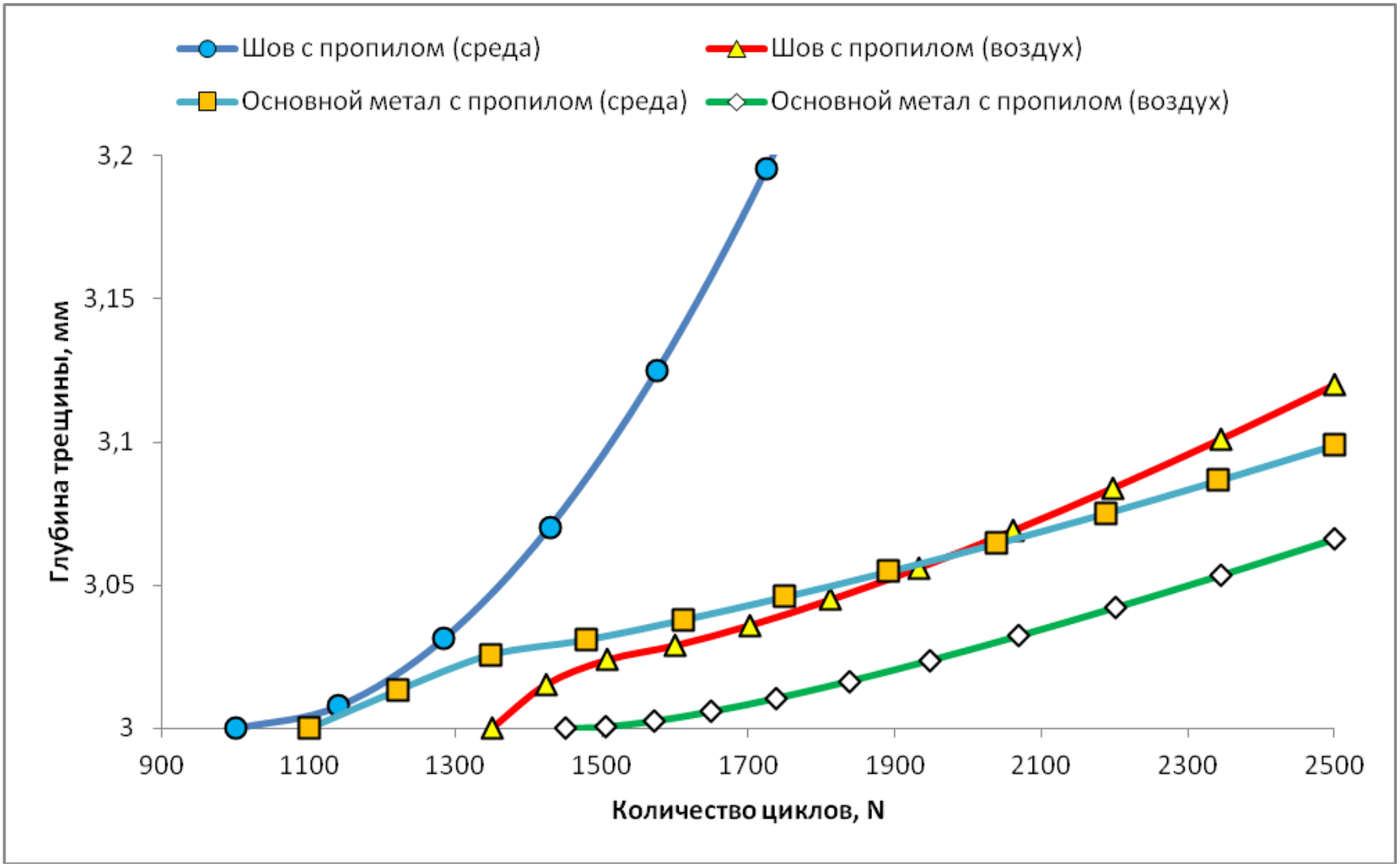


Глубина реза, мм	Среднее значение напряжений на участке от предыдущей отметки реза , МПа
0	0
3,2	167
5,9	206
8	199
9,6	95
11,4	49
13,9	-11

$$\sigma = -E\frac{\Delta B_{2i}}{\Delta t_i}\frac{t_i^3}{6st_{i-1}h_i}$$

Зависимости скорости роста трещин от количества циклов, среда NS-4

(результат получен ООО «Газпром ВНИИГАЗ»)



Выводы

Показана необходимость оценки и учета остаточных напряжений в сварных швах при изучении процессов коррозионного растрескивания под напряжением газопроводов.

На величину остаточных напряжений в сварных швах влияет большое количество факторов, среди которых определяющими являются: конструкция сварных соединений; свойства материала трубы; технологии сварки и изготовления труб.

Оценка величины остаточных напряжений возможна расчетным и/или экспериментально расчетным методом.