

## ВЛИЯНИЕ КАЧЕСТВА ПОВЕРХНОСТИ КАНАЛА ТРУБ НА СТОЙКОСТЬ ПРОТИВ МЕЖКРИСТАЛЛИТНОЙ КОРРОЗИИ

Серебряков Ан.В., Шулин Е.Л., Серебряков Ал.В., Богатов А.А., Вдоветти И.М.  
(ОАО Первоуральский Новотрубный завод,  
Уральский государственный технический университет.)

Испытание на межкристаллитную коррозию является важной характеристикой качества труб из коррозионностойкой стали. Межкристаллитная коррозия (МКК) представляет собой избирательное растворение границ зерен при воздействии коррозионно активной среды. В результате разрушения границ зерен металл становится хрупким, труба из такого металла может разрушиться при небольших статических и особенно динамических нагрузках [1].

Механизм МКК связывают с возникновением на границах зерен новых фаз и сегрегаций при проведении технологических операций (термическая обработка, пластическая деформация, сварка) или при эксплуатации труб при повышенных температурах. В коррозионных сталях чаще всего этими фазами являются карбиды.

Развитие МКК аустенитных хромоникелевых сталей, не стабилизированных и стабилизированных титаном, зависит от содержания углерода в твердом растворе, от состава карбидов и скорости диффузии хрома при нагреве в температурной области интенсивного карбидовыделения. Стали с низким содержанием углерода имеют наиболее высокую стойкость к межкристаллитной коррозии.

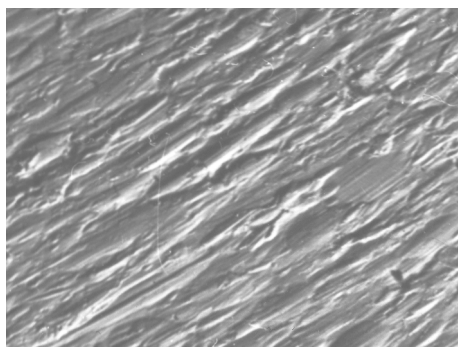
Развитие МКК также зависит от размера зерна. Скорость коррозии в результате механического выкрашивания зерен с поверхности больше в металле с мелким зерном, хотя глубина МКК тем меньше, чем зерно мельче [1].

В данной работе показана зависимость стойкости к межкристаллитной коррозии от качества поверхности канала труб.

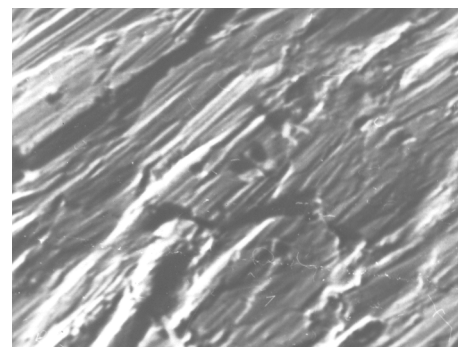
Исследования проведены при испытании на межкристаллитную коррозию двух партий труб

размером 16 x 1,0 мм из стали марки 08X18H10T одной плавки. Первая партия труб, поставляемых по ТУ 14-3Р-197-2001, изготовлена по существующей технологии. Эта технология предусматривает безоправочное волочение труб на готовый размер и дополнительную обработку их поверхности путем абразивного шлифования и электрохимического полирования. Вторая партия труб изготовлена по новой технологии, включающей волочение их на оправке на готовый размер.

Качество поверхности канала труб исследовали на электронном микроскопе РЭМ-200 в режиме вторичных электронов. Увеличение варьировалось от 80 до 1200 крат. Область просмотра поверхности составляла 5...10 мм в продольном, 2...3 мм в поперечном направлении образца. Наиболее характерные участки поверхности фотографировались при увеличении в 80 и 400. Результаты представлены на рис. 1,2. На рис.1 показана поверхность канала труб 16x1,0 мм из стали 08X18H10T по ТУ 14-3Р-197-2001, изготовленных по существующей технологии. На поверхности видны продольные складки после безоправочного волочения и следы абразивного шлифования в форме коротких рисок и ямок. На рис.2 показана поверхность канала труб 1,6x1,0 мм из стали 08X18H10T, изготовленных по новой технологии. Как видно поверхность однородна и не имеет дефектов, характеризуется практически полным выравниванием профиля.

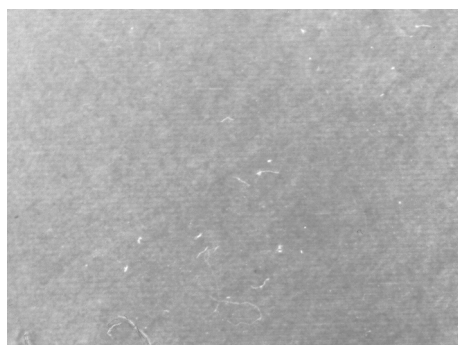


x 80



x 400

Рис. 1. Микрофотография поверхности канала труб 16 x 1,0 мм из стали 08X18H10T по ТУ 14-ЗР-197-2001, изготовленных по существующей технологии (партия 1).



x 80



x 400

Рис. 2. Микрофотография поверхности канала труб 16 x 1,0 мм из стали 08X18H10T, изготовленных по новой технологии (партия 2).

Для количественной оценки качества поверхности канала труб использовали параметр шероховатости Ra по ГОСТ 2789-73. Параметр Ra определяли на профилографе - профилометре модели 252 (тип А1 ГОСТ 19299-73 и ГОСТ 19300-73). Для труб первой партии (ТУ 14-ЗР-197-2001) измерения производились при

следующих условиях: длина трассы – 3 мм, отсечка шага – 0,80 мм, предел измерения 10 мкм; для труб второй партии, соответственно, – 3 мм, - 0,25 мм, - 0,10 мкм. Результаты измерений представлены в табл. 1.

Таблица 1

Шероховатость поверхности канала труб

Номер партии	Марка стали	Размер труб, мм	Параметр Ra, мкм
1	08X18H10T	16 x 1,0	$\frac{1,08...1,25}{1,175}$
2	08X18H10T	16 x 1,0	$\frac{0,31...0,41}{0,360}$

Испытание на межкристаллитную коррозию проводили двумя методами: АМ и ДУ по ГОСТ 6032-84.

Для испытаний по методу АМ использовали образцы-сегменты с размерами 10 x 80 мм в количестве по 50 шт от каждой из двух партий труб. Образцы выдерживали в кипящем водном растворе сернокислой меди. Время испытаний составляло от 24 часов до 10 суток. Через каждые 24 часа испытаний оценке на межкристаллитную коррозию подвергалось по 5 образцов от каждой из двух партий труб. Продолжительность испытания определялась как суммарное время выдержки образцов в кипящем растворе.

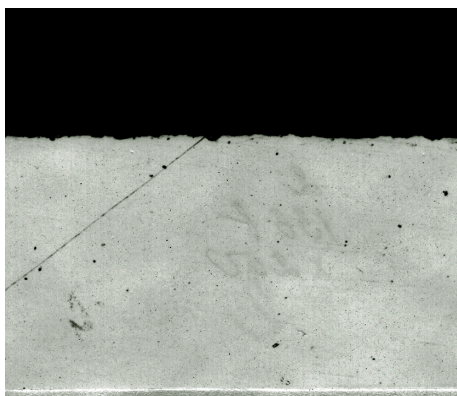
Для выявления по методу АМ межкристаллитной коррозии после выдержки в растворе образцы изгибали Z-образно. Внутреннюю поверхность образцов контролировали металлографическим методом. Наличие и глубину межкристаллитной коррозии устанавливали на протравленных шлифах при увеличении 250 крат. Признаком стойкости против межкристаллитной коррозии считается разрушение границ зерен на максимальную глубину не более 10 мкм при длительности испытания 24 часа. Результаты испытаний представлены в табл.2 и на рис.3.

Количество забракованных образцов труб по методу АМ в зависимости от продолжительности испытания

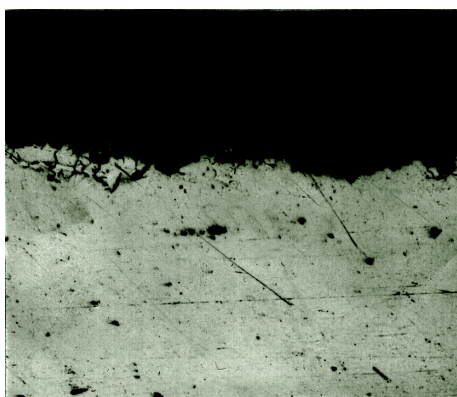
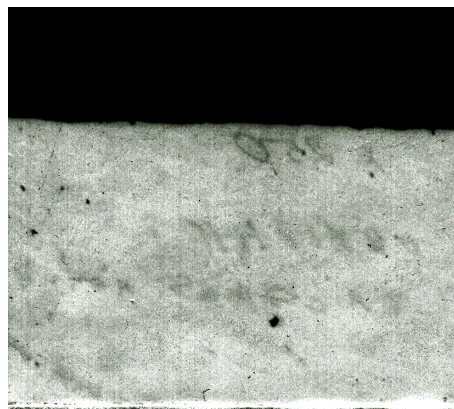
Номер партии	Продолжительность испытания, сутки										Забраковано образцов	
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Шт.	%
1	3	4	1	3	2	2	2	2	2	2	23	46
2	1	2	1	1	1	1	1	1	2	1	12	24

Как видно из табл.2, коррозионная стойкость образцов труб 2-й партии выше, чем труб 1-й партии. Во 2-й

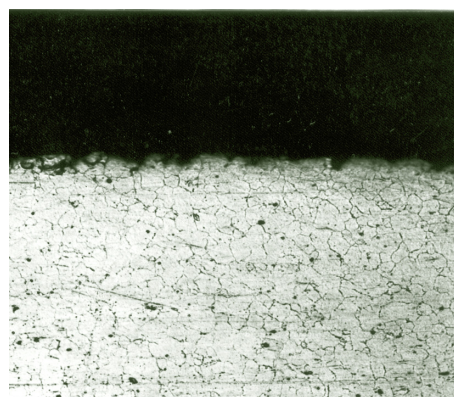
партии стойкие к МКК 76% образцов труб, в 1-й партии – 54%.



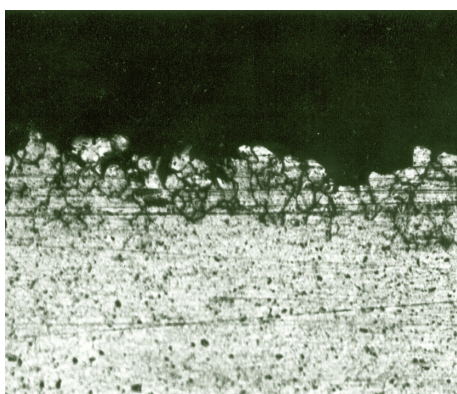
а



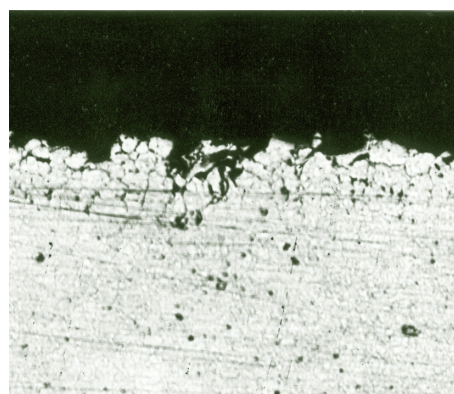
б      глубина коррозии 25 мкм



глубина коррозии 5 мкм



в      глубина коррозии 60 мкм



глубина коррозии 40 мкм

Рис. 3. Микрошлифы (x250) образцов труб 16x1 мм из стали 08X18H10T, поставляемых по ТУ 14-3Р-197-2001 (слева) и по новой технологии (справа).

а – перед испытанием; б – после 24 часов; в – после 9 суток испытания.

На рис. 3 показаны микрошлифы образцов труб 1-й партии (слева) и 2-й партии (справа) в зависимости от длительности испытания: 24 часа и 9 суток. Видно, что разрушение металла (при испытании по методу АМ) происходит по границам зерен, без разъедания коррозией самих зерен кристаллов. Глубина коррозии после 24 часов испытания составляет: для труб 1-й партии – 25 мкм, 2-й – 5 мкм; после 9- суток, соответ-

ственно 60 мкм и 40 мкм.

Для оценки развития межкристаллитной коррозии в зависимости от продолжительности испытаний использована характеристика разрушения границ зерен, выраженная в баллах: 1 – нет трещин; 2 – мелкие трещины; 3 – глубокие трещины; 4 – глубокие трещины с выкрашиванием зерен. Результаты представлены на рис.4.

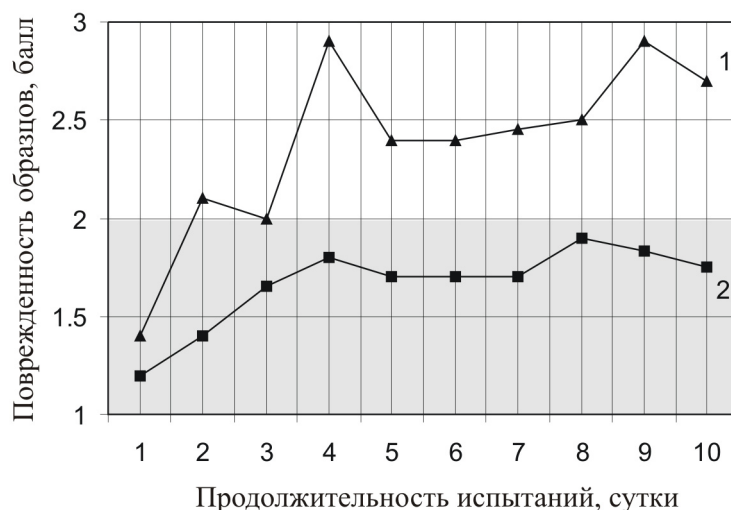


Рис. 4. Зависимость поврежденности образцов от продолжительности испытания по методу АМ. Цифры у кривых – номер партии труб.

На рис. 4 показана зависимость поврежденности межкристаллитной коррозии образцов труб 1-й партии (кривая 1) и 2-й партии (кривая 2) от длительности испытания по методу АМ. Поврежденность образцов труб 1-й партии, начиная со вторых суток испытания, составляет 2 ... 3 балла; труб 2-й партии – не превышает 2 балла при длительности испытания 10 суток.

При испытании методом ДУ использовали по четыре образца от каждой из двух партий. Образцы маркировали и на аналитических весах определяли их массу. Погрешность измерения массы - 0,1 мг. Образцы выдерживали в кипящем водном растворе азотной кислоты: раствор массовой долей 65%, плотностью

1,391 г/см<sup>3</sup>. Время испытания составляло 5 циклов по 48 часов каждый. В каждом из циклов определяли потерю массы образца и рассчитывали скорость коррозии в мм/год. Погрешность определения скорости коррозии не более 0,02 мм/год при доверительной вероятности 95%. Признаком стойкости против межкристаллитной коррозии считается, если скорость коррозии после 2-го и последующих циклов испытания не превышает 0,5 мм/год. Результаты испытания по методу ДУ представлены в табл.3 и иллюстрируются графически (рис. 5).

Таблица 3

Скорость коррозии образцов труб по методу ДУ

Номер партии	Цикл испытаний				
	1	2	3	4	5
1	$\frac{0,29-0,31}{0,30}$	$\frac{0,40-0,50}{0,45}$	$\frac{0,65-0,75}{0,72}$	$\frac{0,74-0,79}{0,77}$	$\frac{0,73-0,80}{0,77}$
2	$\frac{0,21-0,24}{0,22}$	$\frac{0,28-0,31}{0,30}$	$\frac{0,51-0,60}{0,58}$	$\frac{0,61-0,64}{0,63}$	$\frac{0,63-0,71}{0,68}$

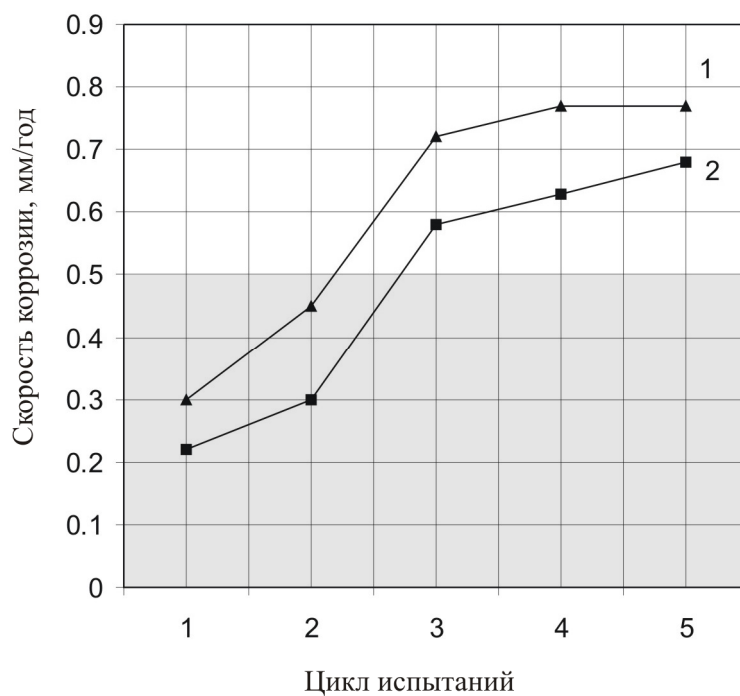


Рис. 5. Зависимость скорости коррозии образцов от продолжительности испытания по методу ДУ. Цифры у кривых – номер партии труб.

Как видно из табл. 3 и рис.5, скорость коррозии образцов труб 2-й партии ниже, чем труб 1-й партии. Допустимая величина скорости коррозии (0,5 мм/год) достигается для труб 2-й партии после 3-го цикла, для труб 1-й партии после 2-го цикла испытания.

Таким образом, трубы из стали марки 08X18H10T с

субмикронной чистотой поверхности канала (2-я партия) имеют более высокую стойкость к межкристаллитной коррозии. Применение таких труб в энергетическом и химическом машиностроении обеспечит повышение ресурса и надежности работы трубных систем.

#### Библиографический список

1. Структура и коррозия металлов и сплавов: Атлас. Справ. изд. / Сокол И.Я., Ульянов Е.А., Фельдгандлер Э.Г. и др. – М.:Металлургия, 1989. – 400с.