



## Разработка методики испытаний коррозионностойких сталей и сплавов на стойкость к питтинговой коррозии

*На основе метода А стандарта ASTM-G-48 разработана, опробована и используется на предприятии ЧАО «СЕНТРАВИС ПРОДАКШН ЮКРЕЙН» методика приемо-сдаточных испытаний на стойкость к питтинговой коррозии трубной заготовки и труб из коррозионностойких сталей и сплавов, в которой в качестве основного критерия стойкости к ПК предложен температурный порог питтингостойкости. Ил. 2. Табл. 5. Библиогр.: 7 назв.*

**Ключевые слова:** коррозионностойкие стали и сплавы, методика испытаний, питтинговая коррозия

*On the basis of method A of the standard ASTM-G-48 method of acceptance tests for resistance to pitting corrosion of pipe billets and tubes of corrosion resistant steels and alloys is designed, tested and used at the enterprise PJSC "Centravis Production Ukraine", in which the main criterion of stability to PC is suggested to be temperature threshold pitting resistance.*

**Keywords:** corrosion-resistant steels and alloys, test methodology, pitting corrosion

### Введение

Постоянное ужесточение условий эксплуатации труб из коррозионностойких сталей и сплавов вызывает необходимость улучшения их служебных характеристик в соответствии с требованиями промышленности. В частности, в химической, нефтехимической промышленности большое число труб из коррозионностойких сталей и сплавов эксплуатируется в хлоридсодержащих средах при повышенных температурах, где основной причиной выхода из строя оборудования является питтинговая коррозия (ПК). ПК является одним из наиболее опасных видов локальной коррозии коррозионностойких сталей и сплавов. Поэтому все больше потребителей продукции из коррозионностойких сталей и сплавов предъявляют требования по обеспечению ее стойкости к ПК. В частности, это относится к трубам из коррозионностойких ферритно-аустенитных (дуплексных и супердуплексных) и из аустенитных сталей и сплавов, которые выпускает ЧАО «СЕНТРАВИС ПРОДАКШН ЮКРЕЙН».

На трубных, металлургических, химических и машиностроительных заводах Украины, России, других стран основным видом приемо-сдаточных коррозионных испытаний является испытание на стойкость к межкристаллитной коррозии (МКК), проводимое, в основном, в растворах на основе серной кислоты. Результаты таких ограниченных испытаний не позволяют в полной мере прогнозировать поведение труб и другой металлопродукции в условиях эксплуатации, в частности, в агрессивных хлоридсодержащих средах.

**Целью** настоящей работы явилась разработка методики испытаний на стойкость к ПК при повышенных температурах для проведения приемо-сдаточных

испытаний трубной заготовки и труб из коррозионностойких сталей и сплавов в производственных условиях.

### Разработка методики испытаний на стойкость к ПК

В Украине, России и других странах СНГ действует только один стандарт для ускоренных испытаний на стойкость к ПК - ГОСТ 9.912-89, который имеет ряд существенных недостатков. Во-первых, он предусматривает испытания образцов только при комнатной температуре (22 °С), в то время как коррозионностойкие стали и сплавы, как правило, эксплуатируются в хлоридсодержащих средах при повышенных температурах, из всех внешних и внутренних факторов именно температура оказывает наиболее отрицательное влияние на стойкость к ПК. Во-вторых, в нем отсутствуют критерии оценки стойкости к ПК, т.е. не указано, в каком случае продукцию следует считать годной, а в каком - браком. Это не позволяет использовать ГОСТ 9.912-89 для проведения приемо-сдаточных испытаний на предприятиях-изготовителях и потребителях продукции из коррозионностойких сталей и сплавов.

В США и странах Западной Европы для испытаний на стойкость к ПК используют ASTM G-48 [1], который предназначен для ускоренных испытаний на стойкость к ПК и щелевой коррозии хромоникелевых сталей и сплавов на никелевой основе и содержит 4 гравиметрических метода испытаний. Наибольшее распространение из них получил метод А, заключающийся в испытании образцов в 6%-ном растворе хлорного железа  $FeCl_3 \cdot 6H_2O$  при температурах 22 или 50 °С в течение 72 ч. О стойкости к ПК судят по удельной потере массы образцов при испытании, которая не должна превышать 0,0001 г/см<sup>2</sup>, и наличию или отсутствию питтингов на их поверхности.

Таблица 1. Химический состав труб из исследуемых сталей

Марка стали	Содержание элементов, %							PREN*
	C	Cr	Ni	Mn	Si	Mo	N / Ti	
08X18H10T	0,076	18,2	10,1	0,9	0,7	-	- / 0,54	18,2
03X18H11	0,025	18,3	11,2	1,2	0,6	-	-	18,3
03X17H14M3	0,025	17,5	13,8	1,5	0,8	2,6	-	26,1
02X22H5AM3	0,025	21,9	5,2	1,6	0,7	2,8	0,18/ -	34,0
02X25H7AM4	0,025	24,6	6,8	1,8	0,8	4,2	0,19/ -	41,5

Примечание: \* –  $PREN = \% Cr + 3,3 \% Mo + 16 \% N$  (эквивалент питтингостойкости)

Таблица 2. Результаты испытаний на стойкость к питтинговой коррозии по методу А, ASTM-G-48, образцов труб из аустенитных и ферритно-аустенитных сталей

Марка стали	Количество испытанных образцов	Удельная потеря веса образцов, г/см <sup>2</sup> , при температуре, °С	
		22	50
08X18H10T	15	0,00009-0,0001	0,165-0,246
03X18H11	9	0,00006-0,0001	0,117-0,183
03X17H14M3	15	0,00003-0,0001	0,095-0,126
02X22H5AM3	30	0-0,000001	0,0036-0,0082
02X25H7AM4	30	0-0,000001	0,00006-0,0001
Требования ASTM-G-48		не более 0,0001 г/см <sup>2</sup> , отсутствие питтингов	

Были проведены испытания на стойкость к ПК по методу А, ASTM-G-48, при температурах 22 и 50 °С образцов труб из аустенитных сталей 08X18H10T (AISI 321), 03X18H11 (304L), 03X17H14M3 (316L) и из ферритно-аустенитных дуплексной 02X22H5AM3 (UNS S 31803) и супердуплексной 02X25H7AM4 (SAF 2507) сталей, химический состав которых приведен в табл. 1.

Они показали (табл. 2), что все образцы труб из указанных сталей выдержали испытания на стойкость к ПК только при температуре 22 °С. При температуре 50 °С испытания выдержали лишь образцы труб из ферритно-аустенитной супердуплексной стали 02X25H7AM4 (SAF 2507). Удельные потери веса остальных образцов при испытании при 50 °С в зависимости от марки стали колебались в широких пределах от - 0,0036 до 0,24 г/см<sup>2</sup> и в тысячи раз превышали требования ASTM-G-48 (табл. 2). На поверхностях образцов после испытаний имелись грубые сквозные питтинги и язвы (рис. 1).

Таким образом, метод А стандарта ASTM-G-48 неприемлем для прямо-сдаточных испытаний и оценки стойкости к ПК трубной заготовки и труб из широко распространенных аустенитных и ферритно-аустенитных коррозионностойких сталей при повышенных температурах.

Поскольку наибольшее отрицательное влияние на стойкость к ПК продукции из коррозионностойких сталей и сплавов в условиях эксплуатации оказывает температура среды [2, 3], первостепенный интерес представляют именно данные об их стойкости к ПК при повышенных температурах.

Для разработки более совершенной методики за основу был взят метод А стандарта ASTM-G-48, в который был внесен ряд уточнений и изменений, позволяющих использовать ее для проведения прямо-сдаточных испытаний трубной заготовки и труб из различных коррозионностойких сталей и сплавов в условиях заводских лабораторий.

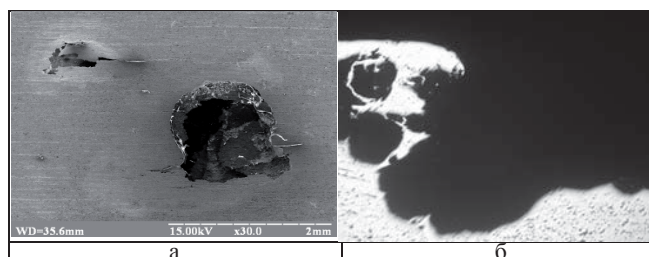


Рис. 1. Вид (а, ´ 20) и структура (б, ´ 100) питтинга на образце трубы из стали 03X17H14M3 после испытаний на стойкость к ПК при температуре 50 °С

Главные изменения состоят в следующем:

- расширен диапазон температур испытаний от 20 до 80 °С, с интервалом в 5-10 °С, в зависимости от марки стали или сплава;

- в качестве основного критерия стойкости к ПК предложено использовать температурный порог питтингостойкости, который соответствует максимальной температуре испытаний образцов в растворе хлорного железа, при которой удельная потеря их массы за время испытаний 72 ч не превышает 0,0001 г/см<sup>2</sup>.

Указанный температурный порог определяется эмпирически, путем испытания серии образцов в диапазоне заданных в зависимости от химического состава стали температур с интервалом в 5-10 °С. Кроме того, уточнены и конкретизированы требования к размерам и подготовке образцов к испытаниям, требованиям к качеству обработки их поверхности. Рекомендованы растворы для удаления, при необходимости, окислов с поверхности образцов химическим методом, обеспечивающие равномерный съём металла и не допускающие локальных растратов.

Обоснованность принятого в разработанной методике подхода подтверждается литературными данными [2,3], свидетельствующими о применении в зарубежной практике метода А стандарта ASTM-G-48 для оценки стойкости к ПК аустенитных, ферритно-аустенитных и ферритных коррозионностойких ста-

**Таблица 3. Результаты испытаний на стойкость к ПК образцов трубной заготовки**

Марка стали	Удельная потеря массы образца в г/см <sup>2</sup> при температуре, °С					
	25	30	35	40	45	50
03X17H14M3	<b>0,0001</b>	0,00056	0,033	-	-	-
02X22H5AM3	<b>0,00005</b>	<b>0,00009</b>	<b>0,0001</b>	0,00024	0,028	0,035
02X25H7AM3	<b>0,000001</b>	<b>0,000012</b>	<b>0,000016</b>	<b>0,000031</b>	<b>0,000089</b>	<b>0,0001</b>

**Таблица 4. Результаты испытаний на стойкость к ПК образцов горячепрессованных труб**

Марка стали	Удельная потеря массы образца в г/см <sup>2</sup> при температуре, °С						
	25	30	40	45	50	55	60
03X17H14M3	<b>0,00008</b>	0,00013	0,0053	-	-	-	-
02X22H5AM3	<b>0,000001</b>	0,000005	<b>0,000018</b>	<b>0,000023</b>	0,0098	-	-
02X25H7AM3	<b>0,000001</b>	<b>0,000002</b>	<b>0,000003</b>	<b>0,000011</b>	<b>0,00006</b>	<b>0,00009</b>	<b>0,0001</b>

**Таблица 5. Результаты испытаний на стойкость к ПК образцов холоднокатаных труб**

Марка стали	Удельная потеря массы образца в г/см <sup>2</sup> при температуре, °С				
	25	30	40	45	50
03X17H14M3	<b>0,0001</b>	0,00021	0,0076	-	-
02X22H5AM3	<b>0,000001</b>	0,000015	<b>0,00007</b>	<b>0,0001</b>	-
02X25H7AM3	<b>0,000001</b>	<b>0,000008</b>	<b>0,000019</b>	<b>0,00003</b>	<b>0,0001</b>

лей не только при температурах 22 и 50 °С, но и при других, более высоких температурах.

**Результаты опробования методики испытаний на стойкость к ПК**

Разработанная методика опробована при проведении испытаний на стойкость к ПК образцов трубной заготовки, горячепрессованных и теплокатаных труб из аустенитной стали 03X17H14M3 и ферритно-аустенитных сталей 02X22H5AM3 и 02X25H7AM3.

Для испытаний трубной заготовки и толстостенных горячепрессованных труб использовали плоские образцы длиной 60 мм, шириной 10 и толщиной 3 мм, а для тонкостенных холоднокатаных труб - образцы-сегменты той же длины и ширины, толщиной, равной толщине стенки трубы.

Испытания на стойкость к ПК проводили в 6%-ном растворе FeCl<sub>3</sub> · 6H<sub>2</sub>O в течение 72 ч, при температурах от 25 до 60 °С с интервалом 5 °С. Вычисляли удельную потерю массы V<sub>m</sub> каждого испытуемого образца в граммах на квадратный сантиметр по известной формуле V<sub>m</sub> = Δm / S.

Результаты испытаний представлены в табл. 3-5. Из табл. 3-5 видно, что максимальная температура, при которой обеспечивается удовлетворительная стойкость к ПК трубной заготовки и труб из аустенитной коррозионностойкой стали 03X17H14M3, составляет 25 °С. При более высоких температурах испытаний удельные потери веса образцов превышали 0,0001 г/см<sup>2</sup>, после испытаний на их поверхностях и боковых резах наблюдались питтинги и язвы. Следовательно, температурный порог питтингостойкости для труб из стали 03X17H14M3 при испытании по методу А, ASTM-G-48 составляет 25 °С.

Образцы трубной заготовки и труб из ферритно-аустенитных сталей показали более высокую стойкость к ПК по сравнению с аустенитной сталью. Температурный порог питтингостойкости для трубной заготовки из стали 02X22H5AM3 и 02X25H7AM3 составил 35 и 50 °С, соответственно (табл. 3), для горячепрессованных труб из этих сталей – 45 и 60 °С

(табл. 4), а для холоднокатаных труб-40 и 50 °С, соответственно (табл. 5).

Более высокая стойкость к ПК образцов трубной заготовки и труб из ферритно-аустенитных сталей по сравнению с аустенитной сталью объясняется их более высоким эквивалентом питтингостойкости PREN (см. табл. 1). Кроме того, при их изготовлении была использована усовершенствованная технология термической обработки [4].

Более высокая стойкость к ПК образцов горячепрессованных труб, как из аустенитной, так и ферритно-аустенитных сталей, по сравнению с образцами трубной заготовки обусловлена технологией их производства, включающей высокотемпературное горячее прессование с большой степенью разовой деформации и последующую термическую обработку (высокотемпературную закалку), способствующие гомогенизации химического и структурного состава сталей и увеличению удельной поверхности специальных низкоэнергетических границ зерен в аустените, обладающих повышенной коррозионной стойкостью.

Более низкая стойкость к ПК холоднокатаных (теплокатаных) труб по сравнению с горячепрессованными обусловлена их более мелкозернистой структурой и, вследствие этого, большей удельной поверхностью межзеренных и межфазных границ, на которых преимущественно могут зарождаться питтинги, а также наличием в ряде случаев поверхностных дефектов прокатного происхождения (рис. 2), оказывающих отрицательное влияние на стойкость к питтинговой коррозии.

В процессе проведения испытаний было установлено также влияние на стойкость образцов труб к ПК ряда технологических факторов трубного производства: режимов термической обработки, режимов правки, технологии окончательной обработки поверхности (шлифовка, травление) и др., что позволило дать рекомендации по повышению стойкости труб к ПК.



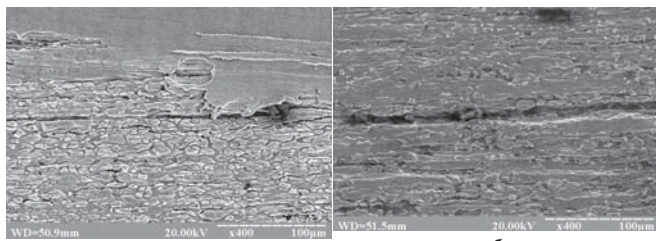


Рис. 2. Возможные дефекты на внутренней поверхности холоднокатаных труб из коррозионностойких сталей, \* 200: а – микропоры, б – продольные риски

Разработанная методика дает возможность проводить сравнительные испытания и устанавливать температурные пороги питтингостойкости для труб из различных коррозионностойких сталей и сплавов и прогнозировать их поведение и надежность в условиях эксплуатации. Ее практическое использование позволит более полно оценивать качество труб из коррозионностойких сталей и сплавов и совершенствовать технологию их производства.

**Выводы**

1. На основе метода А, ASTM-G-48 разработана методика приема-сдаточных испытаний на стойкость к питтинговой коррозии трубной заготовки и труб из коррозионностойких сталей и сплавов, в которой расширен температурный диапазон испытаний, а в качестве основного критерия оценки стойкости к ПК предложен температурный порог питтингостойкости, уточнены требования к подготовке образцов для испытаний.

2. На предприятии ЧАО «СЕНТРАВИС ПРОДАКШН ЮКРЕЙН» проведены массовые испытания на стойкость к ПК образцов трубной заготовки и труб из аустенитной (03X17H14M3) и ферритно-

аустенитных (02X22H5AM3 и 02X25H7AM3) сталей и установлены температурные пороги их питтингостойкости.

3. После набора статистических данных характеристики стойкости к ПК труб из различных сталей и сплавов могут быть включены в соответствующие нормативные документы.

4. Проведение сдаточных испытаний на стойкость к ПК способствует повышению эксплуатационной надежности и конкурентоспособности труб, выпускаемых ЧАО «СЕНТРАВИС ПРОДАКШН ЮКРЕЙН».

**Библиографический список**

1. Korkhaus J. Application of corrosion-resistant steels in chemical industry // Mater. of the Conf. «Stainless Steel World 99». KCL Publishing BV. – 1999. – P. 27-41.
2. Audoard J.P., Verneau M., Groski J. Corrosion Performance And Filed Experience With Super Duplex And Super Austenitic Stainless Steels In FGD Systems // 12<sup>th</sup> International Corrosion Congress, Houston, USA, 1993. – P. 131-138.
3. Бесшовные трубы из нержавеющей стали. Материалы технического симпозиума фирмы Кобэ Стил, Япония. – 1985. – 138 с.
4. Пат. на корисну модель № 68801 Україна, МПК7 С 21 D 9 9/08. Спосіб термічного оброблення труб з корозійностійких феритно-аустенітних сталей / Дергач Т.О., Северіна Л.С., Сухомлин Г.Д., Круцан Г.М., Панченко С.А. та ін.; власник ДП «Науково-дослідний інститут трубної промисловості ім. Я.Ю. Осади». - № у 2011 11595; заявл. 30.09.2004; опубл. 10.04.2012, Бюл. № 7.

Поступила 07.11.2012

УДК 621.7.07/621.793

Руденко Н.П. /к.т.н./, Власова Е.В. /к.т.н./, Левко Е.Н. /к.т.н./

Национальная металлургическая академия Украины

Наука

**Закономерности формирования микрорельефа сталей различного состава после травления и нанесения межоперационных покрытий**

*Исследовано влияние основных технологических факторов процесса травления (концентрации серной кислоты, сульфата железа, ингибиторов) на высотный темп Ra поверхности металлопроката. Определены шероховатость, удельная масса и маслосъемность покрытий, полученных из водных растворов триполифосфата натрия с добавками различной природы. Ил. 3. Табл. 2. Библиогр.: 10 назв.*

**Ключевые слова:** шероховатость, микрорельеф, водный раствор триполифосфата натрия

*The influence of main technological factors of the etching process (the concentration of sulfuric acid, iron sulfate, inhibitors) in the high-rise rate Ra of the surface of metal products is studied. Roughness, specific gravity and oil absorption of coatings obtained from aqueous solutions of sodium tripolyphosphate with additives of different nature were determined.*

**Keywords:** roughness, microrelief, aqueous solution of sodium tripolyphosphate, steel

При обработке давлением поверхность деформируемого металла определяется исходным состоянием

поверхности, микрорельефом рабочих валков и условиями процесса прокатки. Так, шероховатость поверхности листовой стали, дрессированной в насе-