

УДК 620.193.4/620.197:669.15

С.В.НЕСТЕРЕНКО, канд. техн. наук

Харьковский национальный университет городского хозяйства имени А.Н.Бекетова

В.А.КАЧАНОВ, канд. хим. наук

УкрНИИХиммаш, г. Харьков

РАБОТОСПОСОБНОСТЬ И ПОДВЕРЖЕННОСТЬ КОРРОЗИОННЫМ РАЗРУШЕНИЯМ ПЛАСТИНЧАТЫХ ТЕПЛООБМЕННИКОВ

Изучены основные типы коррозионных разрушений пластин теплообменников, изготовленных из стали AISI 316 в воде одного из коммунального предприятия г. Луганска. Показано что основной причиной разрушения пластин является щелевая коррозия. Апробирована методика определения и изучения коррозионных процессов в щели. Работоспособность пластинчатых теплообменников зависит во многом от конструкции, так как коррозионные процессы в них протекают в узких зазорах при смыкании пластин по вершинам гофр.

Вивчені основні типи корозійних руйнувань пластин теплообмінників, виготовлених із сталі AISI 316 в воді одного із підприємств м. Луганська. Показано що основною причиною руйнування пласти є щілинна корозія. Апробована методика визначення та вивчення корозійних процесів в щілині. Ресурс роботи пластинчастого теплообмінника залежить від його конструкції, оскільки корозійні процеси протікають в вузьких зазорах при торканні пластин по вершинам гофр.

In the article the basic types of corrosion destructions are investigated on plates of heat exchangers, which were made of AISI 316 steel, in the water of one of companies of Lugansk. It was shown that the crevice corrosion is the main cause of the destruction in the plate. A method of definition and the study of corrosion processes in a crevice have been tested. The efficiency of heat exchangers depends largely on the design, because corrosion processes in them occur in narrow crevices by joining of plates in corrugation vertices.

Ключевые слова: пластинчатые теплообменники, щелевая коррозия, питтинг, потенциал репассивации, потенциал свободной коррозии.

Металлоемкость теплообменников современных производств достигает почти 50% от веса всего эксплуатируемого оборудования [1]. Поэтому, естественно, что в коммунальном хозяйстве широко используются пластинчатые теплообменники, металлоемкость и, соответственно, энергоемкость которых в 2-3 раза ниже традиционных пластинчатых теплообменников. Применение отечественных пластинчатых теплообменников в нашей стране началось с 60-х годов прошлого столетия, когда решением правительства в Харькове на базе УкрНИИХиммаша был создан отдел теплообменного оборудования из листа. В конце 60-х годов первые пластинчатые разборные теплообменники были изготовлены заводом Уралхиммаш и поставлены в пищевую и химическую, а также и коммунальное хозяйство городов для получения горячей воды. Первые теплообменники создавались с применением отечественных аналогов импортным материалов теплооб-

менников, поставляемых фирмой «Alfa-Laval». В 70-е и последующие годы были проведены коррозионные исследования и определена номенклатура конструкционных и прокладочных материалов для сред невысокой агрессивности. Теплопередающие пластины изготавливались из оцинкованной углеродистой стали. Для более агрессивных условий или из условий чистоты нагреваемого продукта – из стали 08X18H10T, 12X18H10T. В начале 70-х годов производство пластинчатых теплообменников было переведено с Уралхиммаша на завод Павлоградхиммаш, Украина, который по разработкам УкрНИИхиммаша изготавливает пластинчатые теплообменники.

Коррозионные исследования показали, что при нагревании рабочих сред водой коррозионная стойкость теплопередающих пластин, изготовленных из стали AISI 304, AISI 316 зачастую определяется концентрацией ионов хлора в воде [2-4]. На основании проведенных исследований для конструкций разборных пластинчатых теплообменников используются при изготовлении теплопередающих пластин стали 08КП, углеродистой оцинкованной стали, нержавеющей сталей 12X13Г18Д (ДИ-61), 05X18АН5, 08X18H10T, 12X18H10T, 10X17H13M2(3)T, сплавов 06XH28MДТ и титана BT1-0.

Широкое внедрение пластинчатых теплообменников в народном хозяйстве показывает на высокую работоспособность данных аппаратов. Использование тонких листов 0,6-1,0 мм и прокладочных материалов (резины, паронит) с конструктивным зазором металл – металл в сварных теплообменниках при сварке гофрированных теплопередающих пластин, приводит к активации коррозионных процессов в образующихся зазорах, так называемой щелевой коррозии [3].

Целью данной работы является анализ причин щелевой коррозии пластинчатых теплообменников и разработка методики оценки ее интенсивности при выборе материала теплообменных пластин.

Основные виды коррозионных разрушений приведены на рис. 1-3. Анализ причин разрушения пластин показывает, что основной является – щелевая коррозия, вызванная активацией металла в узком зазоре металл-металл пластинчатого теплообменника.

Механизм возникновения и развития щелевой коррозии конструкционных материалов исследовали И.Л. Розенфельд и И.К. Маршаков (ИФХ РАН), согласно которым механизм возникновения и протекания коррозии с активацией через питтинг, язву или щель идентичен и определяется работой мощного гальванического элемента – анод – дно поражения, катод - пассивная поверхность, не подвергшаяся активации. На этой основе была разработана ускоренная электрохимическая методика оценки коррозионной стойкости конструкционных ма-

териалов применительно к выбору материалов для конструирования пластинчатых теплообменников (разборных, полуразборных, сварных блочных). Суть методики заключается в специально разработанном электроде, в котором определяется потенциал активируемого металл в щели. К примеру, исследуя анодное поведение сталей 12Х13Г18Д, 12Х18Н10Т, 10Х17Н13М2Т в воде одного из оборотных циклов с содержанием ионов хлора 20 мг/л, ионов SO_4^{2-} – 40 мг/л и pH – 8 при температуре 50 °С на стенке (рис. 4) сталь 12Х13Г18Д подвергается язвенному разрушению уже при потенциале свободной коррозии $\Delta\varphi = \varphi_{pn} - \varphi_{св.к.} < 0,05В$. Также язвенному разрушению подвергается сталь 12Х18Н10Т в щели и только сталь 10Х17Н13М2Т обладает достаточной стойкостью к активации в щели.



Рис. 1 – Разрушение пластин теплообменников эксплуатирующихся на коммунальном предприятии г. Луганск Разрушение пластины возле прокладки (а) и под прокладочной резиной (б)

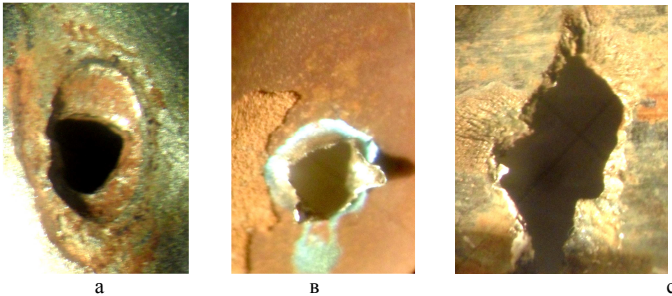
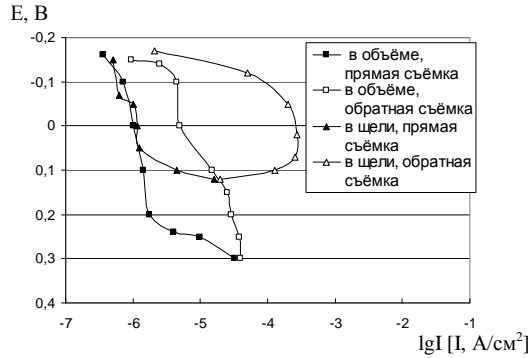


Рис. 2 – Сквозные разрушения стали AISI 316 (пластины теплообменника)



Рис. 3 – Коррозионно-усталостная трещина стали AISI 316 под резиновой прокладкой



а



б



в

Рис. 4 – Анодные потенциодинамические кривые, снятые в искусственно приготовленной оборотной воде:

а – 12X13Г18Д; б – 12X18Н10Т; в – 10X17Н13М2Т

Основные электрохимические параметры активации металлов в щели приведены в табл. 1.

Таблица 1 – Параметры активации металлов в щели

Марка материала	Потенциалы, В					
	$\varphi_{св.кор.}$	$\varphi_{по}$	$\varphi_{рп.по}$	$\varphi_{акт.щ}$	$\varphi_{рп.щ}$	$\Delta\varphi = \varphi_{рп.щ} - \varphi_{св.кор.}$
10X17H13M2T	0,04	1,1	0,42	0,37	0,37	0,09
12X18H10T	-0,015	1,0	0,25	0,25	-0,11	-0,09
12X13Г18Д	0,015	0,2	-0,15	0,05	-0,05	-0,2

$\varphi_{св.кор.}$ – потенциал свободной коррозии; $\varphi_{рп.щ}$ – потенциал репассивации щели;

$\varphi_{по}$ – потенциал питтингообразования; $\varphi_{акт.щ}$ – потенциал активации щели;

$\varphi_{рп.щ}$ – потенциал репассивации щели.

Как видно из табл. 1, потенциал начала питтинговой коррозии в объеме соответственно 0,2В, 1,0В и 1,1В (в зависимости от степени легирования), соответственно, потенциалы прекращения работы приттингов – 0,15В, 0,25В и 0,42В. Эти же потенциалы, называемые потенциалами репассивации металла в щели, характеризуют большую склонность к коррозионному разрушению металла в щели, чем в объеме. Процесс активного разрушения металла в щели протекает до потенциала репассивации, отрицательнее этого потенциала металл коррозионно стоек как в объеме, так и в щели. Разность потенциалов репассивации в щели и потенциала свободной коррозии является основой при выборе коррозионностойких материалов для рекомендации пластинчатых теплообменников. После распада страны и затруднений в получении качественного тонколистового проката на рынок СНГ вышли крупнейшие мировые компании TissenKrupp VDM, Avesta, Sandvik и другие ОАО. В табл. 2 представлен химический состав сталей и сплавов, принятых для изготовления пластинчатых теплообменников. Приведенные высоколегированные стали содержат пониженное содержание углерода и значительное содержание хрома, никеля и молибдена, что в определенной степени обеспечивает высокую сопротивляемость данных материалов против питтинговой коррозии, даже в условиях щелевого эффекта.

Таким образом работоспособность теплообменников вообще, а пластинчатых в особенности, зависит во многом от конструкции, так как коррозионные процессы в них протекают в узких зазорах при смыкании пластин по вершинам гофр, пластины имеют малую толщину гофрированной теплопередающей поверхности (0,6-1,0 мм), высокие остаточные напряжения деформации, что существенно повышает склонность к коррозионному растрескиванию. Стойкость металла зависит как от агрессивности нагреваемого или охлаждаемого продукта, так и от теплоносителя (хладоносителя).

Разработанная методика прогнозирования питтингостойкости теплообменного оборудования в хлорид-содержащих средах (оборотных минеральных водах) дает возможность произвести экспресс-оценку коррозионной стойкости высоколегированных сталей в условиях, моделирующих работу теплообменной пластины с учетом образования микрогальванических элементов, возникающих в узком зазоре (щелевая коррозия).

Таблица 2 – Химический состав сталей

Марка материала	Химический состав, %						
	C	Si	Mn	Cr	Ni	Mo	другие
AISI 304	0,07	1,0	2,0	17,5-19,5	8,0-10,5	-	N<0,11
AISI 304L	0,03	1,0	2,0	17,5-19,0	11-13	-	N<0,11
AISI 321	0,08	1,0	2,0	17,5-19,0	9-12	-	5xC<Ti<0,7
AISI 347	0,08	1,0	2,0	17,5-19,0	9-12	-	10xC<Nb<1,0
AISI 316	0,07	1,0	2,0	16,5-18,5	10-13	2,0-2,5	
AISI 316Ti	0,08	1,0	2,0	16,5-18,5	10,5-13,5	2,0-2,5	5xC<Ti<0,7
AISI316L	0,03	1,0	2,0	16,5-18,5	12,5-15	2,0-2,5	N<0,11
904L	0,020	1,0	2,0	19,0-23,0	23,0-28,0	4,0-5,0	N-0,1
254 SMO	0,02	0,7	1,0	19,5-20,5	17,5-18,5	6,0-7,0	N-0,18-0,25
Хастеллой С-276	0,02	0,08	1,0	14,5-16,5	Осн.	15-17	W-3-4,5 Fe- 4-6
Сплав 59	0,005	0,04	0,14	22,6	60,17	15,5	Fe- 1,0

1. Барановский Н.В. Пластинчатые и спиральные теплообменники / Н.В. Барановский // Машиностроение. – М.: 1977. – 230 с.
2. Наривский А.Э. Микромеханизм коррозионного разрушения пластин теплообменников / А.Э. Наривский // Физико-химическая механика материалов. – 2007. – № 1. – С. 110-116.
3. Качанов В.А. Исследование склонности к точечно-язвенной и щелевой коррозии стали 12Х18Н10Т в растворах хлоридов / В.А. Качанов, С.В. Нестеренко // Коррозия: Материалы, защита. – М., 2012. – № 6. – С. 6-12.
4. Мелехов Р.К. Использование ферритно-аустенитных сталей для изготовления стальных изделий / Р.К. Мелехов, А.М. Круцин, А.А. Табуренко // Проблемы трибологии. – 2003. – № 3. – С. 3-10.

Получено 03.10.2013