

УДК 669.295:34

В.Н. Нечаев ⁽¹⁾, зав. лабораторией
С.Е. Овчинников ⁽¹⁾, генеральный директор
А.В. Патраков ⁽²⁾, начальник цеха

ИССЛЕДОВАНИЕ ХАРАКТЕРА ДЕФОРМАЦИИ РЕТОРТ АППАРАТОВ С ЦИКЛОВЫМ СЪЕМОМ 7 Т В ПРОИЗВОДСТВЕ ТИТАНА

⁽¹⁾ ОАО «Российский научно-исследовательский и проектный институт титана и магния»,
г. Березники, Российская Федерация,

⁽²⁾ ОАО «Соликамский магниевый завод», г. Соликамск, Российская Федерация

Подано результати спостережень за характером деформації реторт апаратів 7 т/цикл губчатого титану. Наводиться порівняння профілей деформації стінок реторт апаратів з цикловим зйомом 7 і 3 т. Зроблено висновки щодо межового терміну служби, перелічено головні причини виведення реторт з експлуатації, а також деякі варіанти підвищення терміну служби.

Ключові слова: виробництво губчатого титану, контрольна реторта, характер деформації, значно вантажний апарат, циклової зйом.

Представлены результаты наблюдений за характером деформации реторт аппаратов 7 т/цикл губчатого титана. Приводится сравнение профилей деформации стенок реторт аппаратов с цикловым съемом 7 и 3 т. Сделаны выводы о предельном сроке службы, перечислены основные причины вывода реторт из эксплуатации, а также некоторые варианты увеличения срока службы.

Ключевые слова : производство губчатого титана, контрольная реторта, характер деформации, большегрузный аппарат, цикловой съем.

There are presented the results of observations on character of the deformation for retort apparatus by capacity 7 tons/cycle output of titanium sponge. It is carried out comparison of the profiles deformation of the walls of retort apparatus with cycle output at 7 tons and 3 tons. There are made conclusions about deadline for the time limit service the basic reasons for the withdrawal from explotation retort from operation, and also some options for increase for the service life.

Key words: titanium sponge production, control retort, character of the deformation, heavy-load apparatus, cycle output.

Введение. В современной хлорной металлургии титана широко применяется способ Кролля, то есть восстановление тетрахлорида титана в расплаве магния при температурах 750...870 °С и избыточном давлении инертного газа 0,02...0,03 МПа с последующей вакуумной сепарацией полученной реакционной массы. Процессы ведут в герметичных аппаратах (реакторах) цилиндрической формы [1]. В российской промышленности для этих целей используют аппараты с цикловым съемом по титану от 3,7 до 7,0 т. В качестве основного сменного оборудования в производстве титановой губки применяют реторты, изготовленные из нержавеющей высоколегированной стали марки 12Х18Н10Т. Реторты эксплуатируются циклами, многократно участвуя в технологическом процессе, и условия их работы характеризуются большим количеством теплосмен с перепадами температур от 25 до 1030 °С, воздействием агрессивных сред (расплавов магния и хлорида магния, паров тетрахлорида титана) и механических нагрузок.

Постановка задачи. В связи с этим вопросы надежности, аварийной опасности

и определения оптимального срока службы реторты, как основной единицы сменного оборудования в производстве губчатого титана, являются весьма актуальными.

Основная часть исследований. На ОАО «Соликамский магниевый завод» (СМЗ) промышленное производство губчатого титана было организовано сравнительно недавно: в 2008 г. состоялся пуск металлургического корпуса. Поскольку новое производство основано на аппаратах повышенной производительности с цикловым съемом 7 т, которые ранее не применялись на предприятиях отрасли в странах СНГ, в ходе пуско-наладочных работ одновременно решали задачи отработки технологических режимов и определения надежности оборудования.

В течение трех лет, начиная с момента пуска производства губчатого титана и по июнь 2011 г., в металлургическом цехе СМЗ выполняли непрерывные наблюдения за состоянием реторт аппаратов 7 т/цикл с оценкой внешнего вида и характера деформации. Было принято, что группа из 10 контрольных реторт (40 % от общего количества реторт, принятых в эксплуатацию) составляет представительную выборку. В табл. 1 приведены данные о химическом составе стали, указанные в паспортах для обечаек и днищ контрольных реторт, а также данные ГОСТ 5632-72.

Таблица 1 – Химический состав сталей для партии из 10 контрольных реторт

Параметры контрольных реторт		Химический состав по сертификату, массовая доля %					
		C	Si	Mn	Cr	Ni	Ti
среднее значение	обечайка	0,033	0,540	1,160	17,215	9,135	0,311
	днище	0,035	0,580	1,170	17,130	9,140	0,319
обечайка	min	0,024	0,350	1,145	17,155	9,050	0,264
	max	0,045	0,605	1,315	17,375	9,140	0,415
днище	min	0,024	0,520	1,150	17,070	9,050	0,264
	max	0,060	0,660	1,470	17,190	9,140	0,405
Данные согласно ГОСТ 5632-72		не более 0,120	не более 0,80	не более 2,0	17,0...19,0	9,0...11,0	5·С–0,8

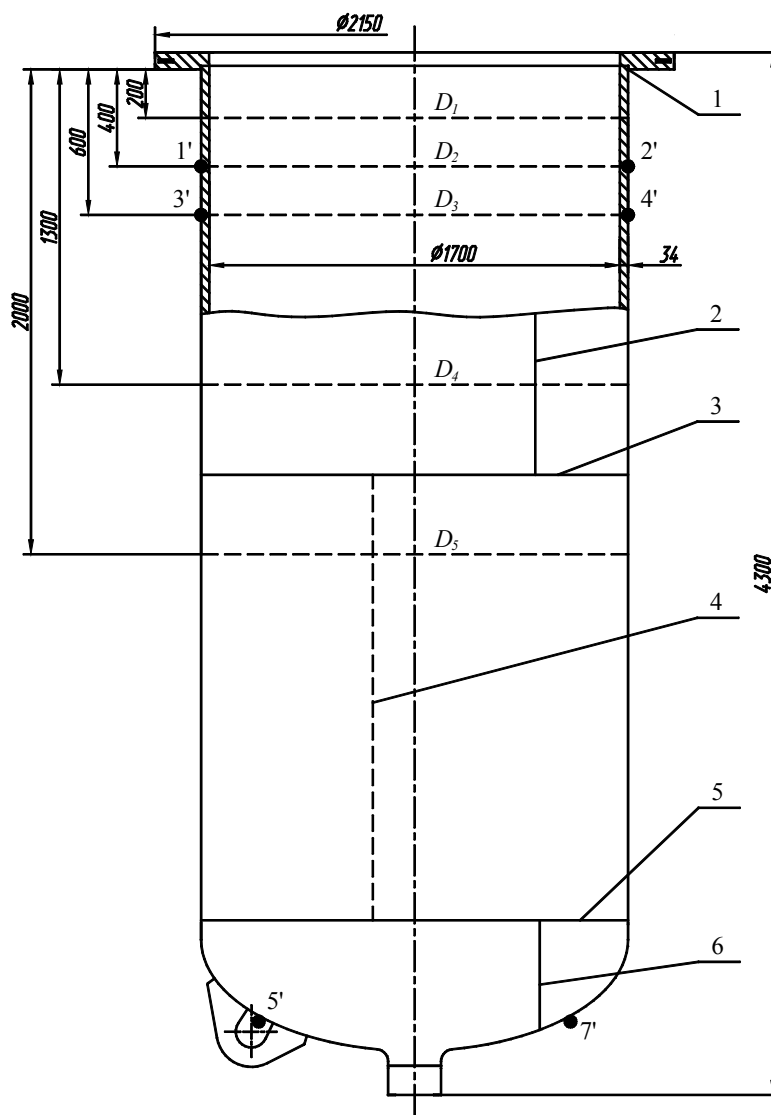
В соответствии с данными сертификатов качества на стальной прокат, из которого были изготовлены контрольные реторты (табл. 1), был сделан вывод о том, что материал реторт 7 т/цикл соответствует требованиям ГОСТ 5632-72 на сталь марки 12Х18Н10Т.

На рис. 1 приведен эскиз реторты 7 т/цикл с указанием схемы контроля геометрических размеров. Согласно приведенной схеме после каждого промышленного цикла при помощи измерительного инструмента производили оценку геометрических размеров контрольных реторт. Визуально оценивали внешний вид наружной и внутренней поверхностей реторт, фиксировали дефекты металла, отслеживали технологию ведения процессов восстановления и вакуумной сепарации. Дополнительно к этому, после десяти, четырнадцати, восемнадцати и каждого последующего цикла производили контроль толщины стенки обечаек и днищ реторт при помощи ультразвукового толщиномера УТ-301.

Расположение контрольных точек для замеров внешних диаметров реторты было выбрано исходя из конструктивных особенностей печей восстановления, вакуумной сепарации и аппаратов охлаждения. Из многолетнего опыта эксплуатации подобного оборудования известно [1,2], что наибольшие тепловые и механические нагрузки испытывает верхний пояс реторты. Исходя из этого, наибольшее количество изме-

рений выполняли на участке обечайки, расположенном в непосредственной близости от фланца реторты.

Режим работы семитонной реторты за один промышленный цикл при производстве губчатого титана предусматривает разогрев реторты до температуры процесса восстановления; последующее восстановление в печи при температуре 750... 850 °С; охлаждение в печи, монтажно-транспортные операции по перестановке реторты в печь сепарации; нагрев в данной печи; вакуумная сепарация при температуре 970...1029 °С; охлаждение до температуры 800 °С, перестановка в холодильник и охлаждение до температуры 25 °С. Общая продолжительность одного полного цикла складывается из длительности процессов восстановления (122 ч) и вакуумной сепарации (115,5 ч), включая монтажные операции, а также длительности охлаждения аппарата в холодильнике (60 ч) после процесса.



1-6 - номера сварных швов; 1'-7' - точки для замера толщины стенки реторт;
 D_1 - D_5 - диаметры, подлежащие контрольным замерам

Рисунок 1 – Схема измерений реторт аппаратов 7,0 т/цикл.

Итоговые результаты замеров наружных диаметров контрольных реторт на расстояниях от фланца 200, 400 и 600 мм в зависимости от количества промышленных циклов, выполненных в конце второго квартала 2011 г. приведены в табл. 2. Из полу-

ченных данных прослеживается общая тенденция к уменьшению величины внешнего диаметра реторт при увеличении срока службы.

По результатам, представленным в табл. 2, были составлены уравнения зависимости внешних диаметров реторт от количества циклов:

$$D_{200} = -2,255 \cdot n + 1767,658 ; \quad (1)$$

$$D_{400} = -3,217 \cdot n + 1771,865; \quad (2)$$

$$D_{600} = -2,936 \cdot n + 1769,951 , \quad (3)$$

где D_{200} , D_{400} , D_{600} – величина наружного диаметра реторты, нижний индекс указывает расстояние от фланца реторты, мм; n – количество циклов; коэффициент перед значением n характеризует скорость уменьшения диаметра реторты в среднем за один промышленный цикл, мм.

Таблица 2 – Данные по замерам наружных диаметров контрольных реторт, имеющих пробег от 16 до 21 цикла, по состоянию на 15.06.2011 г.

Номер реторт	Кол-во циклов	Расстояние от фланца реторты, мм, (наружный диаметр по проекту 1768 мм)									
		200	(-)	400	(-)	600	(-)	1300	(-)	2000	(-)
1	21	1723	45	1707	61	1709	59	1754	14	1761	7
2	16	1733	35	1715	53	1719	49	1757	11	1763	5
3	18	1723	45	1723	45	1725	43	1751	17	1756	12
4	21	1711	57	1703	65	1712	56	1755	13	1758	10
5	19	1729	39	1715	53	1720	48	1755	13	1764	4
6	21	1723	45	1703	65	1705	63	1755	13	1759	9
7	17	1732	36	1716	52	1711	57	1751	17	1764	4
9	20	1723	45	1705	63	1708	60	1755	13	1759	9
10	20	1728	40	1704	64	1705	63	1750	18	1760	8

Примечание: В графе таблицы, обозначенной знаком (-), указана разность между первоначальным и полученным в результате замеров значением наружного диаметра реторты

Выявлено, что в целом на всех ретортах характер деформации обечаек совпадает, наблюдается вытяжка стенки верхней обечайки с изгибом во внутренний объем реторты и потерей первоначальной формы. Наиболее интенсивная деформация стенки реторт наблюдается в сечении, расположенном на расстоянии 400 мм от фланца. Здесь скорость уменьшения наружного диаметра реторты наиболее высока и составляет 3,217 мм за цикл. При этом установлено, что заметные изменения в геометрии верхней обечайки просматриваются уже после пятого цикла.

К восемнадцати промышленным циклам на всех контрольных ретортах были зафиксированы величины отклонения от первоначального диаметра, превышающие 50 мм. В табл. 3 приведены конечные результаты замеров толщины стенок реторт. Результаты замеров показывают, что происходит уменьшение толщины стенки обечаек реторт во всех точках замера. Проведенными ранее исследованиями* было установлено, что уменьшение толщины стенки реторт происходит в результате газовой кор-

* Отчет по исследовательской работе Березниковского филиала ВАМИ по теме «Изыскать новые экономичные материалы для изготовления аппаратов восстановления и сепарации магнетермического производства титана». Инв. № 5-75-993. Березники : Березниковский филиал ВАМИ, 1975. – 125 с.

розии, возникающей при нагревах в печах восстановления, вакуумной сепарации и последующего охлаждения в холодильнике.

Согласно результатам замеров, равномерное уменьшение толщины стенки реторт от цикла к циклу не наблюдается. Четко выраженная зависимость между величиной толщины стенки и количеством циклов не выявлена. Это связано с тем, что расположение точек замеров на расстояниях от фланца 400 и 600 мм по окружности реторты от цикла к циклу различно. Вместе с тем прослеживается общая тенденция уменьшения толщины стенки реторт в зависимости от числа пройденных циклов.

Таблица 3 – Результаты замеров толщины стенок реторт аппаратов 7 т/цикл

Номер реторты	Количество циклов	Результаты замера толщины стенки S в точках (см. рис. 1), мм						
		1'	2'	3'	4'	5'	6'	7'
		на расстоянии от фланца				на днище		
		400		600				
1	21	32,7	31,7	30,6	30,1	29,5	29,1	29,3
2	16	32,7	33,1	31,3	31,2	31,3	29,5	30,1
3	18	32,9	32,2	31,5	30,8	29,9	29,3	29,8
4	21	30,5	32,7	27,7	29,8	27,9	28,4	28,3
5	19	31,9	32,2	30,1	31,0	29,5	30,8	29,2
6	21	31,9	31,4	29,9	28,3	27,1	27,7	26,6
7	18	31,8	32,2	29,6	30,5	29,7	29,8	30,3
9	20	33,2	32,1	29,3	29,9	29,0	28,8	29,2
10	19	32,5	30,9	30,1	27,7	29,1	30,0	29,9

Примечание: начальная толщина стенки реторт составляет 34 мм

По результатам замеров была рассчитана величина средней потери толщины стенки реторты за один промышленный цикл:

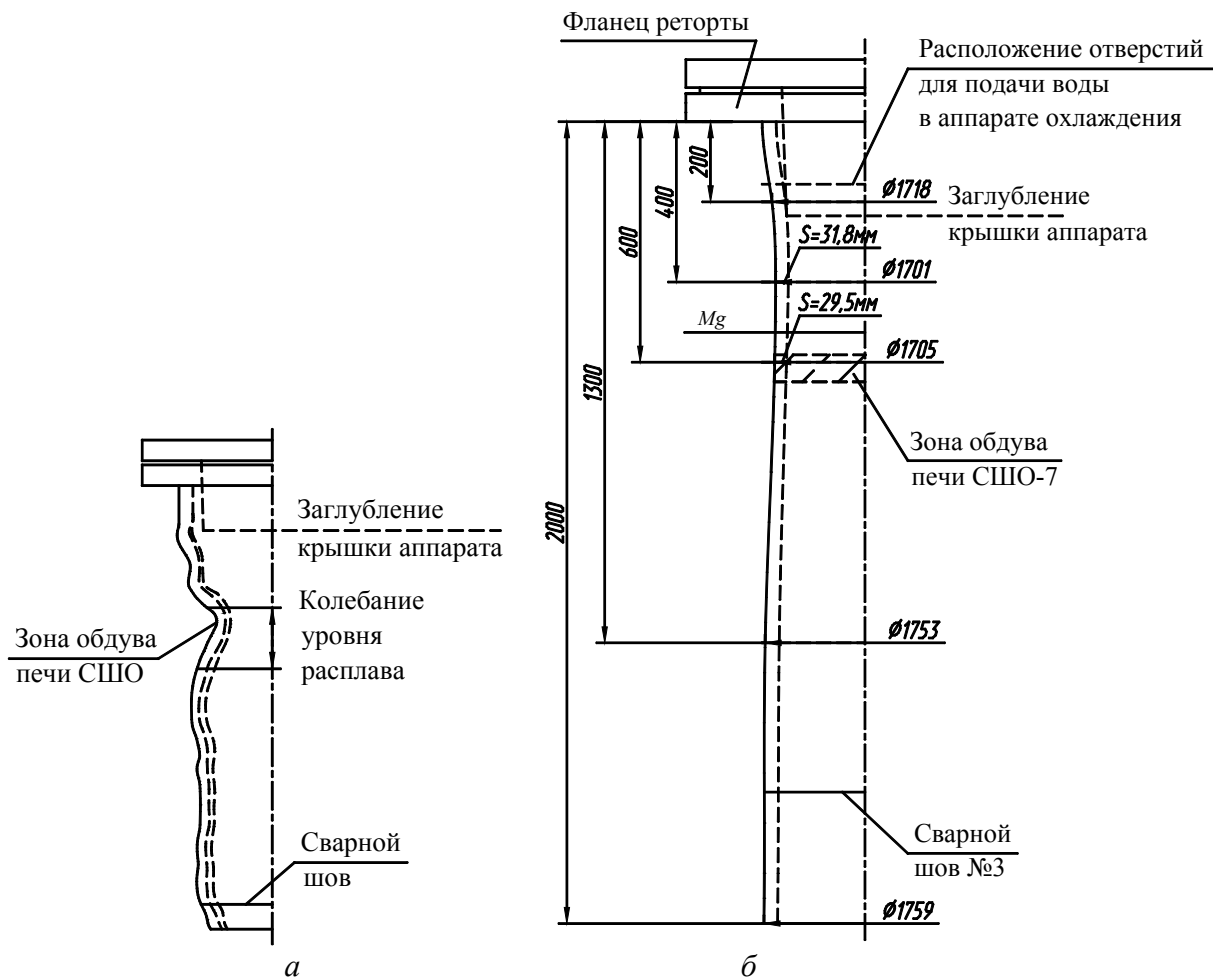
- в точках 1 и 2 на расстоянии 400 мм от фланца – 0,142 мм/цикл;
- в точках 3 и 4 на расстоянии 600 мм от фланца – 0,190 мм/цикл;
- в точках 5, 6 и 7 на эллиптическом днище – 0,266 мм/цикл.

Определено, что наибольший износ стенки за цикл наблюдается на эллиптическом днище реторт из-за коррозии в хлориде магния при температуре 800 ... 850 °С и процессов эрозии, которые происходят при сливе хлорида магния из аппаратов восстановления.

В ходе эксплуатации определяли предельный срок службы реторт, а также наиболее критичный фактор износа, по которому наиболее часто производили выбраковку реторт. Установлено, что наиболее распространенными причинами выхода реторт из эксплуатации являются растрескивание сварных швов и значительная деформация с потерей округлости обечайки. Наличие одного или двух этих дефектов наблюдается после 18-19 промышленных циклов на всех ретортах без исключения. Причем, первый тип дефектов – наличие трещин в сварных швах – является устранимым. Для исправления дефектов сварных швов реторт был разработан комплекс ремонтно-восстановительных мероприятий, после проведения которых появилась возможность повторно вводить реторты в работу. При дальнейшей эксплуатации реторт не было зафиксировано ни одного случая разрушения или растрескивания ремонтных сварных швов. Второй тип дефектов – уменьшение реторт в диаметре с потерей округлости

обечайки – можно отнести к неустраняемым. Определено, что сужение обечайки в верхней ее части вблизи водоохлаждаемого фланца реторты на величину более 60 ...65 мм зачастую сопровождается заклиниванием блоков губчатого титана в ходе извлечения на горизонтальном прессе.

Выполняли сравнение реторт большегрузного и малого аппаратов. В работе [3] приводятся данные по особенностям эксплуатации и выбраковки реторт с толщиной стенки 22 мм аппаратов с цикловым съемом 3 т губчатого титана. Для аппаратов 7 и 3 т/цикл распределение реторт по причинам выбраковки и характер деформации различные. Согласно данным статистики, 62 % из общего количества реторт малых аппаратов выбраковывали по причине удлинения обечайки, тогда как у семитонных реторт удлинение незначительное и за 20 циклов эксплуатации в среднем составляет около 1,0 % при длине реторты 4300 мм.



а – 7 т/цикл; б – 3 т/цикл

Рисунок 2 – Общая картина износа и деформации обечаек реторт аппаратов:

Общая картина износа и деформации обечаек реторт аппаратов 7 и 3 т/цикл представлена на рис. 2. Для построения профиля стенки реторты большегрузного аппарата использовали усредненные данные по скорости уменьшения наружного диаметра и потере толщины стенки за цикл.

В ходе наблюдений за ретортами большегрузных аппаратов был определен предельный срок службы, который составляет 22 цикла. На рис. 2 изображен характерный для этой цикличности профиль обечайки реторты. Профиль стенки семитонной

реторты имеет менее выраженные признаки деформации, у нее отсутствуют гофры и вмятины, характерные для стенки реторты малого аппарата. Вместе с тем наблюдаются общие для той и другой реторты особенности деформации: потери округлости обечайки и максимальный износ стенки, расположенный на уровне зоны обдува в печи восстановления.

Срок службы реторты большегрузного аппарата, равный 22 циклам, при существующей продолжительности одного цикла, соответствует ресурсу в 6500 ч. Разработка мероприятий по увеличению предельного срока службы реторт большегрузных аппаратов должна быть направлена на сокращение деформации верхней обечайки.

Заключение. Материал реторты (сталь 12Х18Н10Т) и принятая конструкция реторт аппаратов с цикловым съемом 7 т губчатого титана показали удовлетворительные эксплуатационные характеристики. За период промышленных испытаний реторт (с 2008 по 2011 гг.) не зафиксированы случаи нарушения герметичности аппарата, связанные с прогаром стенки или сварного шва реторты. Зафиксировано незначительное удлинение обечаек реторт, которое не превышает 1,0 % от длины реторты и не оказывает влияния на технологию ведения процессов восстановления и вакуумной сепарации. Наиболее критичное сечение расположено на расстоянии 200...400 мм от фланца реторты, где скорость уменьшения наружного диаметра реторты достигает 3,217 мм за цикл, что в дальнейшем служит препятствием при извлечении блоков губчатого титана. Наибольший износ толщины стенки за цикл наблюдается на эллиптическом днище реторт и составляет 0,266 мм/цикл.

В ходе проведенной работы определен предельный срок службы реторт, разработаны ремонтно-восстановительные мероприятия по устранению растрескивания сварных швов. Увеличение предельного срока службы реторт может быть достигнуто путем снижения скоростей деформации в критическом сечении, а также изменением геометрии реторт и перехода от цилиндрической формы обечайки к конической.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Титан [Текст] / В. А. Гармата, А. Н. Петрунько, Н. В. Галицкий и др. – М. : Металлургия, 1983. – 559 с. – Библиография в конце каждого раздела.
2. Сергеев, В. В. Металлургия титана [Текст] / В. В. Сергеев, А. Б. Безукладников, В. М. Мальшин. – 2-е изд. перераб. и доп. – М. : Металлургия, 1971. – 320 с. – Библиография в конце каждого раздела.
3. Мальшин, В. М. Конструктивные особенности аппаратов для получения губчатого титана [Текст] / В. М. Мальшин, А. Н. Павлюченко, А. Е. Андреев // Металлургия и химия титана : научные труды Института титана. – Запорожье, 1976. – С. 6-12.

Стаття надійшла до редакції 11.12.2013 р.
Рецензент, проф. Г.О. Колобов

Текст даної статті знаходиться на сайті ЗДІА в розділі Наука
<http://www.zgia.zp.ua>