

ВЛИЯНИЕ ПОЛЗУЧЕСТИ МЕТАЛЛА НА СРОК ЭКСПЛУАТАЦИИ РЕАКТОРОВ МАГНИЕТЕРМИЧЕСКОГО ПРОИЗВОДСТВА ТИТАНА

В. Г. МИЩЕНКО, Н. А. ЕВСЕЕВА

Запорожский национальный университет

Исследовано влияние пластической деформации (ползучести) коррозионностойких сталей 10X23H18, 04X18H10T, AISI 321 на уменьшение толщины стенок обечайки, а также интенсификацию коррозионных разрушений. Дана сравнительная оценка применяемых материалов. Показано, что сталь 10X23H18 с повышенными характеристиками ползучести способствует продлению срока эксплуатации реторт с 35 до 43 циклов.

Ключевые слова: *реактор, коррозионностойкая сталь, ползучесть, пластическая деформация, высокотемпературная коррозия, микроструктура.*

Решение проблемы повышения срока службы реторт (реакторов), используемых в магнетермическом производстве губчатого титана, в значительной степени зависит от применяемых для их изготовления материалов [1]. В настоящее время средняя продолжительность эксплуатации реторт с разной цикловой производительностью 1000..4000 kg составляет около 35 промышленных циклов непрерывного использования. При этом материал реторт в области близкой к зоне реакции подвергается одновременному влиянию неблагоприятных факторов, которые приводят к повышенному износу стенок обечайки. На внутреннюю поверхность реторт последовательно воздействуют расплавы хлористого магния ($MgCl_2$), металлического магния (Mg) и жидкого или парообразного тетрахлорида титана ($TiCl_4$). Причем наружная стенка подвергается влиянию высокой температуры 1000...1200°C раскаленной воздушной атмосферы печей восстановления и сепарации.

Постановка задачи и результаты исследований. Значительное количество выполненных научных работ [1–7], которые так или иначе посвящены выбору материала, не дали положительного результата, а именно, существенного повышения срока службы высокопроизводительных реакторов. Авторы этих работ не учитывали в полной мере негативного влияния деформации и связанного с этим разрушения в момент утонения стенок аппаратов при воздействии остальных вышеуказанных факторов. Удлинение аппаратов и одновременное утонение стенок, вызываемые пластической деформацией, не приводит к необратимым потерям металла. Таким образом, на утонение стенок негативно влияют: горячая деформация обечаек реторт, вызываемая совместной нагрузкой массы восстановителя (Mg) и массы активной части самого реактора; коррозия внутренней и наружной поверхности реторт с активизацией коррозионных процессов вследствие уменьшения сечения обечайки на последних циклах эксплуатации. Пластическая деформация реакторов, в свою очередь, также активизирует процессы коррозии сталей на последних циклах эксплуатации аппаратов. Длительная выдержка их под нагрузкой при высокой температуре приводит к изменению структуры и ме-

ханических свойств стали, уменьшая пластичность и повышая твердость. В ретортах, изготовленных из стали 04X18H10T, наблюдали [3] резкий рост относительного удлинения и, соответственно, интенсификации ползучести между 10 и 20 циклами работы, что сопровождалось уменьшением их толщины. В жаростойкой стали 10X23H18, только после 25 циклов скорость ползучести превышала допустимые пределы [3]. Определение кинетики и механизма разрушения материалов аппаратов изучали металлографическим и дюрOMETрическим способами. Сопротивление коррозионному разрушению стенок реакторов оценивали по изменению их структуры, толщины и удлинению. Подтвердили [5], что уменьшение толщины стенки за весь срок эксплуатации зависит не только от необратимой потери массы с внутренней и внешней поверхности реторт, но и от деформации (удлинения) (рис.1). Как показали промышленные испытания, реторты, изготовленные из стали 10X23H18, деформируются практически равномерно по всей высоте обечайки, и за срок службы их удлинение составляет 82...92 мм, что в пересчете соответствует уменьшению толщины стенки на 0,6...0,8 мм только за счет пластической деформации.

Деформация реторт из сталей 04X18H10T и AISI 321 (05X17H9T) происходит неравномерно, резко усиливаясь между 15 и 20 циклами, а в конце эксплуатации удлинение достигает 150...200 мм, что соответствует уменьшению их толщины на 1,2...2,0 мм (рассчитывали толщину с учетом допущения “постоянства объема”).

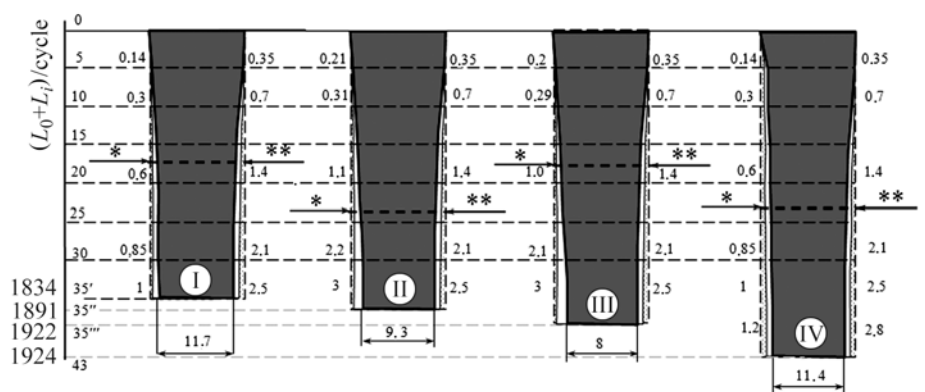


Рис. 1. Графическое изображение уменьшения толщины реторты от коррозионного разрушения и пластической деформации: I – сталь 10X23H18, реторта № 291; II – сталь 04X18H10T, реторта № 223; III – сталь AISI 321, реторта № 259; IV – сталь 10X23H18, реторта № 109У. Исходная длина реторт (I–III) $L_0 = 1742$ мм; IV – 1842 мм, толщина – 16,0 мм. * – внешняя поверхность реторты, подвергающаяся газовой коррозии; ** – внутренняя – воздействию жидкого магния и хлорида магния; $(L_0 + L_i)/\text{cycle}$ – абсолютное удлинение реторты за один технологический цикл.

Fig. 1. Graphic presentation of retort (vessel) thicknesses reduction caused by corrosive fracture and plastic deformation: I – 10X23H18 steel, retort № 291; II – 04X18H10T steel, retort № 223; III – AISI 321 steel, retort № 259; IV – 10X23H18 steel, retort № 109У. Initial length of retorts (I–III) $L_0 = 1742$ mm; IV – 1842 mm, thickness – 16.0 mm. * – retort outer surface subjected to gas corrosion; ** – inner surface subjected to liquid magnesium and magnesium chloride effect; $(L_0 + L_i)/\text{cycle}$ – absolute retort elongation in one technological cycle.

Уменьшение толщины стенок реторт (№ 291 и № 109У) из стали 10X23H18 за 35 циклов только от коррозионного разрушения практически равно и составляет 3,3...3,7 мм (рис. 2).

Реторта № 109У с повышенной цикловой производительностью 1040 kg прошла 43 цикла без серьезных повреждений, а утонение стенки обечайки только от

деформации составило 0,6 mm. Такое поведение этой реторты в сравнении с ретортой № 291 обусловлено более благоприятным расположением волокнистой структуры стали к главной нагрузке (вдоль прокатки) [3].

Рис. 2. Зависимость уменьшения толщины поверхности стенки реторт (с внутренней и внешней) от коррозионного разрушения:
 1 – сталь 10X23H18 (реторта № 109У);
 2 – сталь 10X23H18 (реторта № 291);
 3 – сталь теоретическая 10X23H18;
 4 – сталь 04X18H10Т (реторта № 223);
 5 – сталь AISI 321 (реторта № 259).

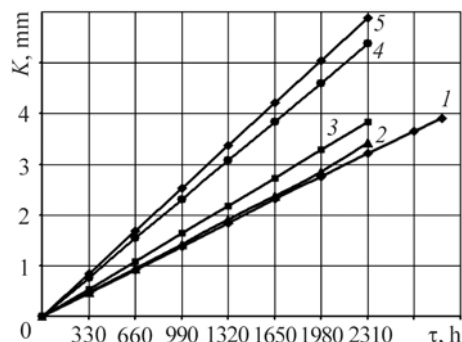


Fig. 2. Dependence of the retort wall thickness (inner and outer surfaces) reduction on corrosion fracture: 1 – 10X23H18 steel (retort № 109У); 2 – 10X23H18 steel (retort № 291); 3 – theoretical 10X23H18 steel; 4 – 04X18H10Т steel (retort № 223); 5 – AISI 321 steel (retort № 259).

На последних циклах эксплуатации реторт из сталей типа 18–10 деформация возрастает, что способствует увеличению скорости протекания коррозии. Разрушение внутренней (рабочей) поверхности реторт носит комплексный характер и обусловлено протеканием таких процессов: образование σ -фазы; возникновение микропор и микротрещин; обезникелывание аустенита; протекание $\gamma \rightarrow \alpha$ превращения; диффузия магния по границам зерен, образование на межфазной границе и в порах легкоплавкой эвтектики. Вышеуказанные процессы приводят к ослаблению межатомных связей в напряжённом состоянии сталей, что обуславливает снижение энергии упругости и облегчает разрыв межатомных связей стали, тем самым увеличивая скорость разрушения [4].

В ретортах из стали типа 04X18H10Т уже после 10 циклов эксплуатации значительно возрастают напряжения, которые вызывают появление крупных пор (рис. 3а). В сталях типа 10X23H18 напряжения увеличиваются менее интенсивно и превышают допустимое значение только после 30 цикла. При этом образуется множество мелких пор (рис. 3б).

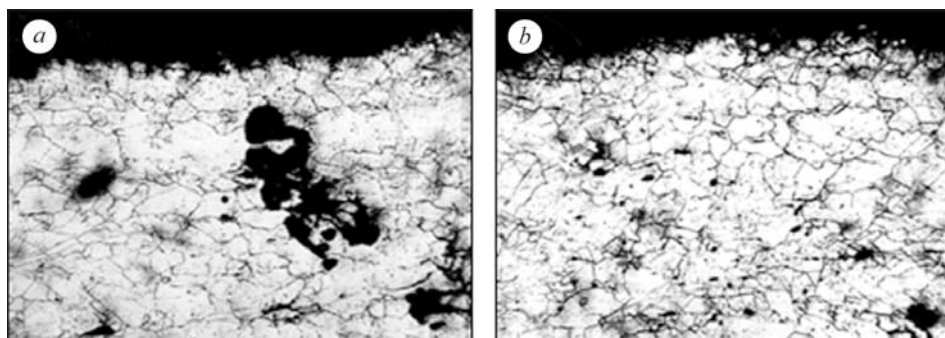


Рис. 3. Микроструктура исследуемых сталей после окончания эксплуатации реторт:
 а – 04X18H10Т; б – 10X23H18.

Fig. 3. Microstructure of investigated steels after retort operation finishing:
 а – 04X18H10Т; б – 10X23H18.

Стали 04X18H10T и AISI 321, несмотря на небольшое содержание углерода и на нижнем пределе стандарта хрома и никеля, а также наличие титана, неустойчивы к воздействию агрессивной среды и не являются коррозионностойкими. Вышеуказанные изменения химического состава способствуют появлению δ -феррита, а следовательно, снижению сопротивления пластической деформации.

ВЫВОДЫ

Применение материалов с повышенными характеристиками ползучести способно продлить срок службы реторт с 35 до 43 циклов.

Снижение степени горячей деформации реторт из стали 10X23H18 способствовало уменьшению утонения стенок обечайки реторт и замедлению высокотемпературной коррозии на внешней поверхности.

РЕЗЮМЕ. Досліджено вплив пластичної деформації (повзучості) корозійнотривких сталей 10X23H18, 04X18H10T, AISI 321 на зменшення товщини стінок обечайки реакторів, а також інтенсифікацію корозійного руйнування. Подано порівняльну оцінку матеріалів, які застосовують для виробництва реторт. Показано, що сталь 10X23H18 з підвищеними характеристиками повзучості сприяє продовженню терміну експлуатації реторт з 35 до 43 циклів.

SUMMARY. The influence of plastic deformation (creep) of corrosion-resistant 10X23H18, 04X18H10T and AISI 321 steels on reduction of the shell wall thickness and intensification of corrosion fracture processes is proposed. Comparative assessment of materials used for retort production is given. That 10X23H18 steel with improved creep characteristics favour the increase of retort life time from 35 to 43 cycles.

1. *Путина О. А., Путин А. А.* Повышение герметичности и надежности аппаратов в магнетермическом производстве губчатого титана // Докл. I науч.-техн. конф. по титану стран СНГ. – М., 1994. – С. 176–189.
2. *Титан / В. А. Гармата, А. Н. Петрунько, Н. В. Галицкий и др.* – М.: Metallurgiya, 1983. – С. 559.
3. *Мищенко В. Г., Твердохлеб С. В., Омельченко О. С.* Развитие разрушения аппаратов восстановления и примеси в губчатом титане // Вісник двигунобудування. – 2004. – № 3. – С. 135–137.
4. *Механизмы разрушения материалов реторт в магнетермическом производстве губчатого титана / А. В. Капитан, С. В. Твердохлеб, В. Г. Мищенко, И. Н. Лазечный // Сб. докл. 4-й Междун. конф. “Оборудование и технологии термической обработки металлов и сплавов”. – Харьков, 2003. – С. 51–58.*
5. *Путина О. А., Путин А. А., Гулякин А. И.* Влияние различных факторов на срок службы реторт аппаратов магнетермического производства титана // Цветные металлы. – 1979. – № 9. – С. 71–72.
6. *Сергеев В. В., Галицкий Н. В., Киселев В. П.* Metallurgiya titana. – М.: Metallurgiya, 1964. – С. 208.
7. *Воробьева Г. Я.* Коррозионная стойкость материалов в агрессивных средах химических производств. – М.: Химия, 1960. – С. 500.

Получено 22.02.2011