

Остаточное расширение баллонов, (ОРБ).

Дмитриенко Р. И. (НИИ электросварки им. Е. О. Патона, г. Киев).

Ключевые слова: баллоны, освидетельствование, коэффициент запаса, остаточное расширение, водяная рубашка, деформация, внутреннее давление, изменение объема, испытания.

Keywords: balloons, examination, safety factor, the permanent expansion, water jacket, deformation, internal pressure, the volume change, test.

При освидетельствовании баллонов после их производства, а также при периодическом переосвидетельствовании баллонов, их нагружают пробным, внутренним, гидравлическим давлением (P_{II}), которое превышает рабочее (P_p) в 1,25 либо 1,5 раза, встречаются и другие коэффициенты превышения. После того как конкретный баллон прошел такие испытания, можно однозначно сказать, что коэффициент запаса его прочности не ниже коэффициента превышения пробного давления над рабочим, при этом сказать, а какой же действительный коэффициент запаса прочности баллона, невозможно. Так же невозможно оценить и коэффициент запаса по текучести. Вообще при таких испытаниях невозможно обнаружить изменение геометрических форм баллона, и оценить его остаточную деформацию, если такая имело место. А, как известно, чем больше остаточная деформация, тем меньше запас пластичности, большая склонность к хрупкому разрушению и т.п.

По европейским, российским и ряда других стран нормативным документам, для некоторых типов вновь производимых баллонов, а также для некоторых типов баллонов при их переосвидетельствовании такие испытания проводятся с определением коэффициента остаточного расширения (K_{op}). В некоторых случаях определение этого коэффициента является обязательным, в некоторых альтернативным. Также устанавливается предельно-допустимое значение коэффициента остаточного расширения ($[K_{op}]$), при превышении которого, баллон выбраковывается. Обычно $[K_{op}]$ равен 0,1 (10%) и 0,05 (5%). Для некоторых композиционных баллонов значение $[K_{op}]$ должен назначать разработчик, при этом не указывается, чем он должен руководствоваться.

Коэффициент остаточного расширения определяется как отношение остаточного изменения объема баллона ($\Delta W_{ост}$) к полному его изменению под давлением ($\Delta W_{полн}$), он характеризует степень пластических деформаций в стенке баллона и является интегральным критерием, часто выражается в процентах.

$$K_{op} = \frac{\Delta W_{ост}}{\Delta W_{полн}} \left[\frac{\text{Остаточное расширение}}{\text{Полное расширение}} \right]$$

Существует несколько альтернативных схем, по которым можно определять коэффициент остаточного расширения баллонов:

- с помощью водяной рубашки - герметически-закрываемого резервуара наполненного водой, вовнутрь которого помещается испытываемый баллон, (для малолитражных баллонов, данная схема обладает наибольшей точностью);
- с использованием коэффициентов поджатия воды используемой при проведении испытаний, (для больших сосудов);
- с использованием весов, (требуются высокоточные весы).

Данные схемы можно реализовать с помощью соответствующих установок, к которым выдвигаются определенные требования, касающиеся их конструкторского исполнения и точности.

Каких либо данных о теоретическом расчете коэффициента остаточного расширения, о выборе предельно-допустимого его значения, и его связи с другими параметрами, характеризующими работоспособность и надежность баллонов не имеется.

В институте электросварки им. Е. О. Патона ведутся исследовательские работы по установлению взаимосвязей между $K_{ор}$ и другими параметрами баллона, характеризующими его работоспособность и надежность, а также по объективному назначению предельно-допустимого коэффициента остаточного расширения баллонов при нагружении их пробным внутренним гидравлическим давлением.

В целом, метод ОРБ дает интегральную характеристику баллону как конструкции, и предоставляет реальную возможность оценки технического состояния баллонов как на стадии их производства, так и на стадии их периодического освидетельствования. Весьма незначительные деформации невозможно обнаружить визуально при обычном испытании пробным давлением.

С этой целью была разработана и создана опытная установка «водяная рубашка», позволяющая проводить испытания с определением остаточного расширения баллона, для экспериментального подтверждения теоретических предпосылок и получения фактической зависимости между коэффициентом остаточного расширения баллона и коэффициентом запаса прочности. Установка позволяет так же определять коэффициент поджатия среды, с помощью которой проводятся гидроиспытания.

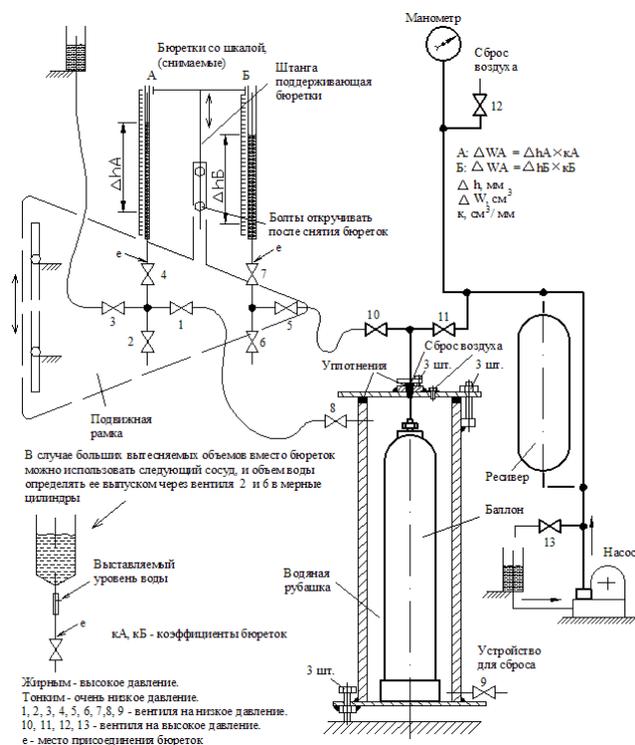


Рисунок - Принципиальная схема и фото установки: «Водяная рубашка», реализованной в ИЭС им. Е. О. Патона, для испытаний баллонов на остаточное расширение.

На рисунке выше приведена принципиальная схема и фото установки: «Водяная рубашка», реализованной в ИЭС им. Е. О. Патона, для испытаний баллонов на остаточное расширение. На рисунке также изображен для примера, кислородный 40-ка литровый испытываемый баллон, изготовленный по ГОСТ 949-73. Испытываемый баллон помещается в герметически закрываемый резервуар, вода из которого при нагружении баллона внутренним давлением вытесняется в оттарированную бюретку, по которой и определяется полное изменение наружного объема и остаточное наружное объемное расширение баллона, если такое имеется.

Коэффициент остаточного расширения баллона связан с другими его параметрами, характеризующими работоспособность и надежность. На значение $K_{ор}$ влияют такие параметры баллона, как разнотолщинность, овальность, изогнутость оси, наличие дефектов, включая коррозионные, а также влияние эксплуатации - данные взаимосвязи устанавливаются.

В процессе поиска взаимосвязи между коэффициентом остаточного расширения баллона и другими параметрами, характеризующими его работоспособность и надежность, были решены следующие задачи:

- аналитическое построение эпюр изгибающих моментов растягивающих и перерезывающих усилий и нахождение напряжений, в случае упругого нагружения внутренним давлением трубы с днищами имеющей эллиптическое поперечное сечение;
- отношение давлений начала текучести эллиптической трубы с днищами и идеальной, в зависимости от процента овальности;
- теоретическое построение диаграммы, зависимости коэффициента запаса прочности от коэффициента остаточного расширения идеальной трубы с днищами по диаграмме растяжения материала, экспериментальное ее подтверждение;
- экспериментальное определение изотермического коэффициента объемного сжатия жидкости, и сравнение его с литературными данными;
- аналитическая и экспериментальная проработка равномерных упругих, пластических и остаточных деформаций идеального баллона, при нагружении его медленно повышающимся внутренним давлением вплоть до его разрушения;
- нахождение аналитической взаимосвязи между коэффициентом остаточного расширения и равномерными деформациями идеальной трубы с днищами, экспериментальное ее подтверждение.

При освидетельствовании баллонов после их производства, а также при периодическом их переосвидетельствовании, необходимо гарантировать нормативный запас прочности каждого конкретного баллона, не разрушая его.

Для учета особенностей технологии производства используемых материалов, условий эксплуатации и регламента переосвидетельствования баллонов высокого давления для технических газов, разработана методика испытаний пробным давлением, позволяющая обеспечить задаваемый нормативными требованиями коэффициент запаса прочности. Зависимость коэффициента запаса от остаточного расширения баллона, устанавливается экспериментально по одному, либо нескольким специально отобраным баллонам, которые доводятся до разрушения по определенной технологии.

Имеется возможность применять данную методику к композиционным баллонам, и баллонам, имеющим допустимые одиночные, либо многочисленные, равномерно распределенные по всей поверхности дефекты. Не исключается и возможность применения

метода ОРБ к сферическим и тороидальным баллонам, а также к трубам с приваренными днищами. Большие сосуды испытываются вне водяной рубашки с использованием коэффициентов поджатия воды.

Наряду с вышеуказанными названиями составляющих K_{op} , также в НД употребляются и другие названия:

- полное изменение объема - (полная объемная деформация, полное объемное расширение, англ. TE - total expansion (общее расширение)).
- остаточное изменение объема - (остаточная объемная деформация, остаточное объемное расширение, англ. PE - permanent expansion (постоянное расширение)).

Дмитриенко Роман Игоревич,

Контактная информация: e-mail dril@ukr.net, моб. +380688579600.

Опубликовано в сети 06.01.2013 г.