

А.Г. Рубан

«Worthington Cylinders GmbH», Beim Flaschenwerk, 1, Kienberg bei Gaming, Austria, A-3291
e-mail: andrey.ruban@wthg.at

ХАРАКТЕРИСТИКИ И ВЫГОДА ОТ ПРИМЕНЕНИЯ ОБЛЕГЧЕННЫХ ЦЕЛЬНОТЯНУТЫХ СТАЛЬНЫХ АЦЕТИЛЕНОВЫХ БАЛЛОНОВ

Рассматриваются характеристики ацетиленовых баллонов, способ их технологической подготовки и особенности конструкций. Приводятся типы стальных оболочек ацетиленовых баллонов, значение и разновидности пористой массы, виды растворителей ацетилена. Отмечается эффективность использования литых высокопористых масс без содержания асбеста с повышенной газовбираемостью. На примере облегченных 40-литровых ацетиленовых баллонов «Worthington Cylinders GmbH» иллюстрируется эффективность применения их по сравнению с отечественными аналогами.

Ключевые слова: Ацетилен. Ацетиленовые баллоны. Оболочка ацетиленовых баллонов. Цельнотянутые облегченные стальные баллоны. Сварные стальные баллоны. Пористая масса. Сокращение издержек. Эффективность газобаллонной логистики.

A.G. Ruban

CHARACTERISTICS AND EXPLOITATION ADVANTAGES OF LIGHT WEIGHT FORGED STEEL ACETYLENE CYLINDERS

The paper reviews characteristics of acetylene cylinders, technological sequence of their manufacturing and their construction characteristics. The article introduces types of steel shells for acetylene cylinders, the role and kinds of porous masses, acetylene solvents. The application efficiency of high porosity asbestos free monolithic masses with high filling rates is underlined. The introduced example of 40 l seamless steel acetylene vessel manufactured by «Worthington Cylinders GmbH» demonstrates the more efficient performance of its acetylene cylinders comparing to the home-made prototypes.

Keywords: Acetylene. Acetylene cylinders. Shells for acetylene cylinders. Forged light-weight steel cylinders. Welded steel cylinders. Porous mass for acetylene cylinders. Costs reduction. The effectiveness of gas cylinder logistics.

1. ВВЕДЕНИЕ

Ацетилен был открыт в 1836 г. Эдмундом Дэви, который синтезировал его из угля и водорода.

Ацетилен — ненасыщенный углеводород C_2H_2 . Имеет тройную связь между атомами углерода, принадлежит к классу алкинов. При нормальных условиях это — бесцветный газ, более лёгкий, чем воздух, и малорастворимый в воде. Легко воспламеняем, при сжатии разлагается со взрывом. Из-за наличия тройной связи молекула ацетилена высокоэнергетична и обладает большой удельной теплотой сгорания — 14000 ккал/м³. При сгорании в кислороде температура пламени достигает 3150 °С. Это позволяет широко применять ацетилен для сварки и резки металлов; в качестве источника яркого, белого света в автономных светильниках; в производстве взрывчатых веществ.

Ацетилен получают в химической реакции карбида кальция с водой в специальном генераторе. После

него газ очищают, сжимают и заправляют в специальный баллон. Ацелилен — нестабильный газ и не может храниться в сжатом виде, как иные технические газы в баллонах высокого давления; ацетилен при сжатии полимеризуется.

Вследствие особой взрывоопасности ацетилен хранят в растворенном виде в баллонах, заполненных пористой массой, пропитанной ацетоном, в котором ацетилен растворяется под давлением в больших количествах. При наличии пористой капиллярной массы, пропитанной ацетоном, взрывное разложение ацетилена не распространяется по всему баллону, так как молекулы ацетона разобщают молекулы ацетилена. Допускать в ацетиленовых баллонах давление, значительно превышающее 25 кг/см², нельзя по условиям безопасности. Ацетилен в виде раствора в ацетоне находится в баллоне под давлением 1,5–2,5 МПа.

В отечественной практике баллоны под ацетилен окрашены белой краской с красной надписью «ацети-

лен» (фото 1). В Европе ацетиленовые баллоны окрашивают в темно-красный цвет (фото 2,д).



Фото 1. Сварные ацетиленовые баллоны на наполнительной рампе у одного из российских предприятий

2. АЦЕТИЛЕНОВЫЕ БАЛЛОНЫ

Баллон, наполненный пористой массой асбеста и диатомита — вещества с большим содержанием кремнистых остатков, для хранения ацетилена изобрел еще в начале прошлого века *Нильс Густав Дален* — один из первых директоров компании AGA и член Шведской Королевской академии наук с 1913 г. Его изобретение значительно улучшило безопасность применения ацетилена в сварке.

По данным компании «Umwelt-Technik-Metallre-cycling GmbH» (Германия), в Европе в настоящее время в обращении находится более 1,5 млн. ацетиленовых баллонов [1].

Ацетиленовый баллон состоит из трёх основных компонентов: металлической оболочки; пористого наполнителя и растворителя ацетилена — ацетона. Упрощенная схема подготовки ацетиленовых баллонов приведена на рис. 3 и проиллюстрирована на фото 2.

Технологический процесс изготовления цельнотянутой стальной оболочки баллона нами описан ранее в [2-4]. Здесь лишь укажем, что давление разрушения оболочки ацетиленового баллона должно превышать давление дефлаграционного распада ацетилена, которое составляет 36 МПа.

При пористости около 90 % пористая масса занимает в 50-литровом баллоне около 10 % объёма, смесь ацетона с ацетиленом — 78 %. Во избежание чрезмерного повышения давления в баллоне при повышении температуры, часть пористой массы не должна быть заполнена ацетоном. В оставшемся незаполненном объёме (газовой подушке) находится сжатый газообразный ацетилен, насыщенный парами ацетона. Этот объём составляет 12-16 % (см. рис. 4).

В Европе в настоящее время существуют несколько производителей ацетиленовых баллонов. «Worthington Cylinders GmbH» (Австрия) — крупный европейский производитель цельнотянутых баллонов

высокого давления и пористой массы для ацетилена.



Фото 2. Процессы подготовки ацетиленовых баллонов в компании «Worthington Cylinders GmbH»: а — наполнение баллонов пористой массой; б — термообработка баллонов в автоклаве; в — дробеструйная обработка внешней поверхности баллонов; г — порошковая покраска баллонов; д — установка фильтров; е — монтаж вентиля баллона; ж — вакуумирование баллонов; з — участок заполнения баллонов растворителем (ацетоном или ДМФ)

Это единственная компания в Европе, которая может поставить баллон и массу с одного завода. Номенклатура типичных ацетиленовых баллонов компании «Worthington Cylinders GmbH» приведена в табл. 1.

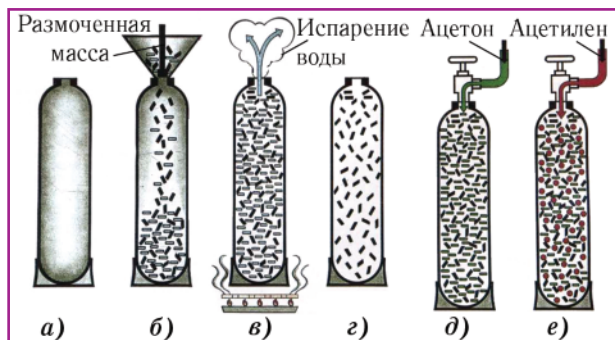


Рис. 3. Последовательность подготовки и заправки ацетиленовых баллонов: а — испытание лейнера баллона давлением 60 бар; б — заправка баллона измельченным сырым пористым материалом; в — медленный нагрев баллона в сушильной камере до 250 °С; г — вид пористой массы после её высушивания; д — заправка баллона растворителем ацетилена; е — заправка баллона ацетиленом

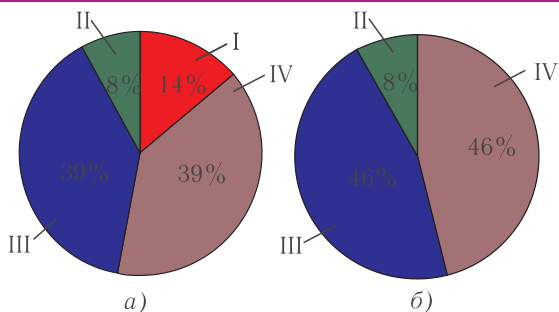


Рис. 4. Изменение объёмов в заполненном ацетиленовом баллоне при росте температуры с 20 (а) до 65 °С (б): I — свободный объём; II — объём пористой массы; III — объём ацетона; IV — объём растворенного ацетилена

Таблица 1. Параметры ацетиленовых баллонов «Worthington Cylinders GmbH»

Ем-кость, л	Растворитель, кг	Ацетилен, кг	Внешний диаметр, мм	Длина, мм	Масса баллона с пористой массой и ацетоном, кг
3	0,93	0,54	115	405	6,0
5	1,55	0,90	140	440	9,3
10	3,10	1,90	140	800	15,9
20	6,20	4,00	204	780	31,0
30	9,30	6,00	204	1100	42,5
40	12,40	8,00	204	1430	53,2
50	15,50	10,00	229	1400	63,0
60	18,60	12,00	267	1280	79,0

Компания «Vitkovice Lahvarna» (Чехия), будучи прямым конкурентом «Worthington Cylinders GmbH», баллоны для ацетилена производит совместно с компанией «Linde» в Чехии, которая заполняет их пористым материалом. Аналогичная ситуация и в Италии, где компания «SIAD» заполняет пористым материалом баллоны «Dalmine».

При сотрудничестве с «Worthington Cylinders GmbH» покупатели всегда ощущают преимущество единственного контакта при закупке готового ацетиленового баллона. Ацетиленовые баллоны Worthington объемом 5, 10, 40 и 50 л сертифицированы к применению в Российской Федерации и могут составить серьезную конкуренцию аналогичным отечественным прототипам.

3. ХАРАКТЕРИСТИКИ ОБОЛОЧЕК АЦЕТИЛЕНОВЫХ БАЛЛОНОВ

Поскольку ацетилен — нестабильный химически активный газ, который может взорваться при механическом воздействии (ударе) или давлении, превышающем 2 бара, его перевозят в специальных баллонах с пористой массой. Стальные баллоны служат надежной оболочкой перевозимого ацетилена. Баллоны могут быть цельнотянутыми стальными (а иногда алюминиевыми) и сварными [5]. В зависимости от законодательства, например, США, оболочка ацетиленовых баллонов может иметь легкоплавкую заглушку, которая при экстремально высокой температуре плавится и выпускает содержимое баллона для предотвращения взрыва.

3.1. Цельнотянутые облегченные оболочки

Технология и достоинства применения цельнотянутых стальных баллонов, изготовленных по EN-1964-1 и ISO-9809-1, на примере баллонов производства Worthington, были детально описаны в [2-4]. Основным преимуществом цельнотянутых баллонов из заготовки, — применительно к ацетилену, — является более низкая масса такой оболочки по сравнению с оболочкой, изготавливаемой из бесшовной трубы по ГОСТ 949-73 [6], и отсутствие возможных дефектов в центральной части дна в месте его завальцовывания. На цельнотянутой оболочке также отсутствуют сварные швы, микропористости которых могут вызвать развитие трещин, коррозию и привести к снижению прочностных характеристик оболочки.

В российской практике цельнотянутая оболочка по ГОСТ 949-73 не адаптируется к требованиям более низкого рабочего давления ацетилена и изготавливается в стандартном исполнении, как для баллонов высокого давления (минимум 63 кг, максимум 90 кг), что в результате утяжеляет сосуд. В случае применения в баллонах алюминиевой оболочки, как указывают EN-1975 и ISO-7866, должно учитываться изменение свойств алюминия при воздействии на него тепла, например, во время высушивания пористой массы [5].

3.2. Сварные стальные оболочки

Сварные оболочки стальных баллонов изготавливаются согласно международным стандартам EN-13322-1 или ISO-4706. Сварные отечественные оболочки ацетиленовых баллонов производятся, например, на Волчанском заводе (РФ) по запатентованной технологии [7]. Потенциально опасные сварные соединения, как следует из рис. 5, находятся в области нижних, внутренних и внешних сварных швов ацетиленовых баллонов [8].

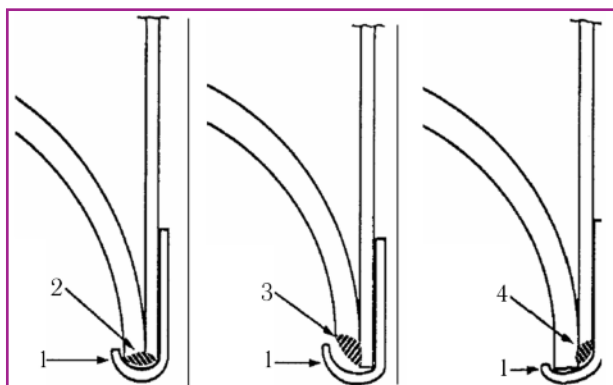


Рис. 5. Опасные сварные соединения в сварной ацетиленовой оболочке в области башмака (1) и нижнего (2), внутреннего (3) и внешнего (4) швов

Основная опасность, связанная с разрушением ацетиленовых баллонов из-за непрочности оболочки, заключается в появлении таких поражающих факторов, как ударные волны и осколки, приводящие к тяжёлым последствиям.



Рис. 6. Угольный наполнитель

4. ПОРИСТАЯ МАССА

Для обеспечения равномерного распределения ацетилена и его растворителя в баллоне, последний заполняют пористой массой. До конца 60-х годов прошлого века в развитых странах в качестве пористой массы применялся немонолитный насыпной пористый материал (волокнистый — шелк, вискоза, лен; зернистый пористый материал (рис. 6) — активированный уголь, торф, смесь древесного угля, кизельгура и углекислого магния) с пористостью около 60-78 % и малой степенью наполняемости баллона (157 г/л объёма). Позже начали применять высокопористую монолитную массу с содержанием в ней асбеста, которая была разработана «Union Carbide» (США) еще в 50-х годах прошлого века. Фирма «Cooper» (США) купила у «Union Carbide» лицензию на такую пористую массу в 60-х годах. Компания «Heiseg» (с 1998 г. — «Worthington Cylinders GmbH») купила лицензию на изготовление пористой массы у «Cooper» в 1967 г. AGA и «Air Liquide» также купили лицензии у «Union

Carbide». С конца 80-х — начала 90-х годов началось производство монолитной пористой массы без содержания асбеста (с 90-92 % пористости и газонаполняемостью до 200 г/л объёма). В 1992 г. «Heiseg» купила лицензию «Ni-Industries» на применение стекловолоконных материалов в литой пористой массе.

В отечественной практике баллоны разделяются на баллоны с насыпной пористой массой (углем БАУ-А) и с литой пористой массой (ЛПМ). Уголь БАУ-А состоит из зёрен чёрного цвета без механических примесей (выпускается по ГОСТ 6217-74). Литая пористая масса представляет собой литой пористый блок серого цвета (выпускается по ТУ 6-21-38-85 «Баллоны для растворенного ацетилена с литой пористой массой»). В Российской Федерации получила распространение литая пористая масса «Прэtti» на базе стекловолоконных материалов, промышленное опробование которой было проведено в 1997-1999 гг. ВНИИАВТОГЕНМАШем на заводе ОАО «Уралтехгаз» [9]. Такая литая масса имеет пористость 91 ± 1 % и, по мнению представителей завода, фактически не уступает западным аналогам.

Пористая масса служит комплексной матрицей и должна удовлетворять нескольким основным требованиям [10]:

- Способностью остановить разложение ацетилена, вызванное воздействием на него обратного пламени. Успешный тест на воздействие обратным пламенем в ацетиленовом баллоне Worthington приведен ниже на фото 7.
- Наличием стабильной структуры пористой массы, в долгосрочном периоде способствующей предотвращению трещин и пустот в пористом материале, например, при грубом обращении с баллоном.
- Равномерным распределением пористой массы во всем объёме баллона, включая минимально необходимый зазор между пористой массой и сферической верхней частью баллона.
- Высокой пористостью для обеспечения оптимальной наполняемости баллона.



Фото 7. Воздействие обратным пламенем на

Первые три свойства важны для безопасной эксплуатации ацетиленовых баллонов, так как в экстремальных случаях их несоблюдение ведёт к взрыву баллонов.

Немонолитный пористый материал и высокопо-

ристая монолитная масса с содержанием асбеста имеют ряд недостатков. Так, немонolitный пористый материал характеризуется высокой трудоемкостью наполнения (засыпание и утряска), взрывоопасностью и необходимостью частых проверок. Из баллона с асбестосодержащей массой происходит вынос асбестовой пыли с газовым потоком ацетилена, который вредно воздействует на работающего и вызывает опасность лёгочных заболеваний.

Многие из выпускаемых сегодня монолитных масс для поддержания механической прочности и целостности пористого материала содержат хризотил асбеста (менее 1 % в объёме одного баллона [11]). Результаты тестов показали, что вынос асбеста с газовым потоком ацетилена из таких баллонов не происходит.

В странах Евросоюза в настоящее время не производятся ацетиленовые баллоны на основе асбестосодержащих масс. Баллоны со старыми типами масс, однако, могут находиться в обращении, если они прошли соответствующее освидетельствование и допущены к использованию по действующим нормам [11].

С 2006 г. «Worthington Cylinders GmbH» производит ацетиленовые баллоны с современной пористой массой А-10W ECO с объёмной плотностью 255-285 г/л, пористостью 89-92 %, размером пор 1-10 нм. Зазор между пористой массой и сферической верхней частью баллона составляет менее 2 мм. Пористая масса не содержит асбест (фото 8).



Фото 8. Ацетиленовый баллон Worthington в разрезе

Усиленная литая кальциево-силикатная масса А-10W ECO характеризуется высокой устойчивостью против давления (фото 9).



Фото 9. Испытание на прочность пористой массы А-10W ECO

5. РАСТВОРИТЕЛЬ

В качестве растворителя в ацетиленовых баллонах применяют, как правило, два вещества: ацетон $(\text{CH}_3)_2\text{CO}$ и диметилформамид $(\text{CH}_3)_2\text{NC}(\text{O})\text{H}$. Причем, несмотря на то, что диметилформамид (ДМФ) растворяет большее количество ацетилена, чем ацетон, последний является более часто применяемым растворителем, особенно при работе с отдельными баллонами. Один литр ацетона при давлении 1 бар растворяет 25 л ацетилена. Таким образом, в 40-литровом баллоне содержится 100 л ацетилена.

При использовании ДМФ выход газа из баллона при низких температурах слабый. Стоит ДМФ дороже, чем ацетон. Но так как потери диметилформамида при опорожнении меньше, его целесообразно применять для ацетиленовых моноблоков и трейлеров.

6. ВЫГОДЫ ОТ ПРИМЕНЕНИЯ АЦЕТИЛЕНОВЫХ БАЛЛОНОВ С ОБЛЕГЧЕННОЙ ЦЕЛЬНОТЯНУТОЙ СТАЛЬНОЙ ОБОЛОЧКОЙ

Для оценки эффективности применения ацетиленовых баллонов, как и баллонов высокого давления [3, 12], используют два основных показателя: безопасность и экономичность. Первый из показателей применительно к ацетиленовым баллонам определяется устойчивостью оболочки к внешним механическим воздействиям и способностью пористого наполнителя локализовать взрывной распад ацетилена при его появлении (обратный удар пламени (фото 7), хлопки, воспламенение ацетилена в рукаве высокого давления и т.п.). Второй — определяется их газосодержанием, т.е. способностью на единицу массы баллона транспортировать наибольшее количество ацетилена, и логистической эффективностью перевозки сосуда.

Обеспечение первого показателя производится за счёт перехода от угольного, более опасного наполнителя, к литой пористой массе; путем замены асбестосодержащих масс на безасбестовые; применением более прочных цельнотянутых лейнеров в конструкции ацетиленовых баллонов. Второй показатель удовлетворяется в результате применения в ацетиленовых баллонах материалов с улучшенной пористостью, замене более тяжелых лейнеров на более легкие (но не в ущерб прочности). Улучшение характеристик пористых наполнителей можно проследить с помощью табл. 2, где приводятся данные Федерального органа по исследованию и испытанию материалов в Германии [13].

Баллоны с литой пористой массой обеспечивают в 1,47-1,6 раза большую газовбираемость, чем баллоны с угольным наполнителем. Так, российские баллоны с угольным наполнителем рассчитаны на содержание ацетона не более 125 г/л вместимости баллона, т.е. не более 5 кг ацетилена в 40-литровом баллоне. Такие баллоны все еще эксплуатируются на бывшем постсоветском пространстве. Международные газовые компании, работающие в СНГ, в рамках

программ обновления своих газобаллонных парков в Европе также часто поставляют в регион ацетиленовые баллоны старых, менее продуктивных образцов, включая и ацетиленовые баллоны с угольным наполнителем.

Табл. 2 наглядно демонстрирует повышение содержания ацетилена в различных видах литой пористой массы. Отечественные 40-литровые баллоны с ЛПМ, как указывает табл. 3, выпускаемые согласно ТУ 6-21-38-94, рассчитаны на содержание ацетилена 175 г/л вместимости баллона (плюс 5 % переполнения). Вмещаая 7,35 кг ацетилена, они уступают своим зарубежным аналогам, которые вмещают 8 кг ацетилена (см. табл. 4). Высокая экономичность западных аналогов ведет к увеличению продолжительности работ с одним баллоном и уменьшению расходов на доставку ацетилена.

Выгода от применения баллонов Worthington, например, при длительной эксплуатации, связана с тем, что оболочка из заготовки легче по массе, чем цельнотянутый лейнер, изготовленный по ГОСТ 949-73 [3], и облегченная сварная стальная оболочка (табл. 3). Аналогичные выводы демонстрируют и заключения специалистов завода ОАО «Уралтехгаз» [14], которые отмечают лучшее соотношение массы ацетилена к массе баллона на примере 50-литрового ацетиленового баллона фирмы «Vitkovice» (Чехия). Общепринятые в Европе 50-литровые ацетиленовые баллоны вмещают 10 кг ацетилена, увеличивая тем самым производительность в 1,36 раза по сравнению с баллонами БСАЦ-40.

Дополнительно отметим, что баллон Worthington обладает повышенной взрывобезопасностью, его литая пористая масса гасит обратный удар пламени.

Таблица 2. Характеристики пористых материалов для ацетиленовых баллонов

Тип массы	Год выпуска	Плотность, кг/л	Пористость, %	Зазор между пористой массой и сферической частью баллона,	Объём баллона, л	Для отдельных ацетиленовых баллонов		Для ацетиленовых моноблоков по EN-12755, количество наполнений — 6	
						Содержание ацетона, кг/л	Содержание ацетилена, кг/л	Содержание ацетона, кг/л	Содержание ацетилена, кг/л
AGA	1912-19	—	—	—	—	0,2625	0,1575	—	—
AGA-H, без асбеста	1952-1971	0,345±0,025	79,0±1,0	—	40	0,263	0,1575	0,2375-0,2750*	0,150*
Linde M I	1969-1993	0,255±0,01	91,0±1,0	≤6	40-50	0,3125	0,200	0,3000-0,3375	0,180
AL 4	1979-1994	0,250±0,012	91,0±0,5	—	20-50	0,310	0,200	0,298-0,335	0,180
Heiser	1978-1994	0,270±0,01	90,0±1,0	—	20-50	0,305	0,1575	0,2800-0,3175	0,145
Heiser Eco, без асбеста	1993-2005	0,245±0,015	90,5±1,5	≤2	40-60	0,310	0,200	0,285-0,323	0,185
SIAD AF, без асбеста	С 1993	0,270±0,01	90,5±1,5	≤2	20-50	0,310	0,200	0,289-0,331	0,180
UL 1 Linde, Vitkovice, без асбеста	С 1997	0,264±0,01	90, ±1,5	≤3	40-50	0,3125	0,200	0,291-0,333	0,180
A-10W ECO**, без асбеста	С 2006	0,270±0,015	90,5±1,5	≤2	20-60	0,310	0,200	0,289-0,331	0,180

Примечание: *) Количество наполнений — 10. **) Пористая масса, применяемая в настоящее время в баллонах Worthington.

Таблица 3. Характеристики ацетиленового баллона с ЛПМ со сварной облегченной оболочкой БСАЦ-40

Наименование параметра	Значение
Масса, кг	53,5
Объем, л	40,0
Длина (без вентиля), мм	1269
Диаметр, мм	213
Толщина стенки, мм	не более 4,0
Вместимость по ацетилену, кг	7,35(7,4)

Примечание: Использована информация производственно-торговой компании «Техгаз» (доступно на <http://www.ptk-tehgas.ru>)

Таблица 4. Характеристики ацетиленового баллона «Worthington Cylinders GmbH» ёмкостью 40 л с цельнотянутой оболочкой

Наименование параметра	Значение
Масса, кг	53,2*
Объем, л	40,0
Длина (без вентиля), мм	1150
Диаметр, мм	229
Толщина стенки, мм	не более 3,0
Вместимость по ацетилену, кг	8,0

Примечание: *) Вместе с пористой массой и ацетоном. Цельнотянутая оболочка отдельно весит 30 кг, оболочка имеет сниженную массу из-за низких требований к давлению испытания ацетиленового баллона по сравнению с баллоном для стандартных технических газов

Применение порошковой покраски ацетиленовых баллонов Worthington (фото 2,г) увеличивает долговечность их внешних покрытий и снижает расходы при их эксплуатации [12].

Переход на баллоны с литой пористой массой в Европе также значительно снизил расходы на рекавификацию сосудов. Так, баллоны с литой массой переосвидетельствуют один раз в 10 лет, а старые баллоны с угольным (зернистым) наполнителем — один раз в 5 лет.

С учётом изложенного, хотелось бы порекомендовать отечественным независимым компаниям, не дожидаясь иностранных инвесторов, самостоятельно увеличивать стоимость своего бизнеса путем приме-

нения более эффективных ацетиленовых баллонов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Umwelt-Technik-Metallrecycling GmbH. Доступно на <http://www.gascylinderrecycling.com/>.
2. Рубан А.Г. Инновационное обеспечение лидерства на рынке газовых баллонов// Технические газы. — 2008. — № 2. — С. 49-55.
3. Рубан А.Г. Анализ характеристик баллонов высокого давления для сжатых газов// Технические газы. — 2009. — № 2. — С. 52-59.
4. Рубан А.Г. Международный опыт обновления газо-баллонного парка производителей промышленных газов // Технические газы. — 2009. — № 6. — С. 67-76.
5. Code of Practice Acetylene. IGC Doc 123/04/E. Brussels: European Industrial Gases Association, 2004. Доступно на <http://www.eiga.org>.
6. ГОСТ 949-73. Баллоны стальные малого и среднего объема для газов на $P_p \leq 19,6$ МПа (200 кгс/см²). Технические условия (с изменениями и поправками 1976, 1981, 1982, 1986, 2001 и 2002 гг.)// Введены в действие с 01.01.1975.
7. Данные «Линде Уралтехгаз». Доступно на <http://www.techgaz.ru>.
8. Acetylene Cylinder Requalification. Safety Alert. U.S Department of Transport (DOT), April 2001. Доступно на <http://www.acetylene-cylinder.com/products/Dissolved-cetlene-Cylinder-322016.html>.
9. Патент РФ №2166688. Литая пористая масса «Прэти» для заполнения ацетиленовых баллонов. Доступно на <http://ru-patent.info>.
10. Guidelines for the Management of Waste Acetylene Cylinders. IGC Doc 05/06/E. Brussels: European Industrial Gases Association, 2006. Доступно на <http://www.eiga.org>.
11. Environmental Issues Guide. IGC Doc 106/03/E. Brussels: European Industrial Gases Association, 2003. Доступно на <http://www.eiga.org>.
12. Рубан А.Г. Оценка эффективности применения облегченных стальных баллонов высокого давления при обеспечении потребителей техническими газами// Технические газы. — 2010. — № 5. — С. 48-55.
13. Федеральный орган по исследованию и испытанию материалов. Доступно на <http://www.bam.de>.
14. Реконструкция ацетиленовой станции ОАО «Завод Уралтехгаз»/ С.И. Дабахов, Р.М. Завадских, Н.Н. Лаптев, В.Н. Семенов// Технические газы. — 2010. — № 6. — С. 66-70.