

УДК 536.21: 536.48

Г. Г. ЖУНЬ, д-р техн. наук, доцент

Национальный технический университет "Харьковский политехнический институт",
г. Харьков**ВОССТАНОВЛЕНИЕ ТЕПЛОВЫХ ХАРАКТЕРИСТИК
КРИОСОСУДОВ**

Работа посвящена исследованию процесса отогрева забракованных криососудов и разработке энергосберегающей, на ~90 часов ускоренной, технологии восстановления их тепловых характеристик.

Ключевые слова: криососуд, теплозащита, оптимальный вакуум, термовакуумная дегазация, герметичность.

Робота присвячена дослідженню процесу відігріву забракованих криососудів та розробці енергозберігаючої, на ~90 годин прискореної, технології відновлення їх теплових характеристик.

Ключові слова: криососуд, теплозахист, оптимальний вакуум, термовакуумна дегазація, герметичність.

Введение

Изготавливаемые в значительных количествах различные криососуды, криоемкости и криостаты (широко используемые в ракетно-космической технике, криомедицине, животноводстве и научных исследованиях) проходят на заводе-изготовителе сложные вакуумные, прочностные тепловые и другие проверочные исследования. В случае выявления у них отклонения полученных характеристик от запроектированных их теплозащитные полости со слоями экранно-вакуумной теплоизоляции (ЭВТИ) подвергаются (непосредственно после удаления из них жидкого криоагента или через несколько дней после этого) разгерметизации для повторной проверки сварных швов и соединений на вакуумноплотную герметичность. Далее обнаруженные дефекты устраняются и криососуды помещаются в специальные электропечи, где их изоляционные полости подвергаются вакуумированию при температурах 380-390 К (термовакуумной дегазации) до получения оптимальной величины газоотделения ($W_0 \leq 5 \cdot 10^{-5} \text{ м}^3 \cdot \text{Па} \cdot \text{кг}^{-1} \cdot \text{с}^{-1}$). При этом было установлено, что для достижения последней характеристики требуются значительно отличающиеся (на 80-100 часов) сроки их вакуумирования.

Целью работы является выявление причин значительного различия в продолжительности процесса достижения оптимального газовыделения W_0 для восстанавливаемых криососудов, а также разработка энергосберегающей оптимальной технологии данного процесса.

Основная часть

В процессе серийного производства после сборки криососуды подвергаются (также, как и после устранения неисправностей для отбракованных из них) термовакуумной дегазации при температуре 380–390 К до оптимальной величины газоотделения W_0 . В этом случае обеспечивается достижение в теплозащитных пакетах ЭВТИ криососудов необходимый оптимальный вакуум ($P_0 \leq 10^{-3} \text{ Па}$) [1, 2].

Газоотделение W из материалов, смонтированных в изоляционной полости криососудов, в процессе термовакуумной дегазации определяется методом потока [3] с использованием диафрагмы с калиброванным отверстием согласно уравнению [3]:

$$W = U (P_1 - P_2), \quad (1)$$

где P_1 и P_2 – давления откачиваемых продуктов газоотделения перед и после

диафрагмы, соответственно;

U – проводимость диафрагмы, которая находилась из соотношения [3]:

$$U = 36,4\sqrt{T/M}, \quad (2)$$

где T – температура дегазации;

M – молекулярная масса газа, прокачиваемого через диафрагму.

Вакуумирование межстенной полости криососуда осуществляется со скоростью $V_o = 2,94 \cdot 10^{-2} \text{ м}^3/\text{с}$, которая рассчитывается по уравнению:

$$V_o = 0,25 (V_a \cdot S_o), \quad (3)$$

где V_a – средняя тепловая скорость для откачиваемых молекул газа;

S_o – сечение вакуумировочного штуцера (диаметром $1,8 \cdot 10^{-2} \text{ м}$) криососуда.

Изменение газоотделения $W(\tau)$ для изоляционной полости серийного криососуда Х-34Б, в которой смонтированы слои теплоизоляционной ЭВТИ из пленки ПЭТФ-ДА и прокладочной изоляционной бумаги УСНТ-10 (массой 1,4 кг), а также вакуумный адсорбционный насос с углем СКТ-4 (весом 0,6 кг) представлено зависимостью $W(\tau)$ 1 на рисунке. Ее анализ показывает, что необходимое оптимальное газоотделение W_o (линия 7) для криососуда достигается только через ~240 часов процесса вакуумирования. Ускорить данный процесс путем, например, увеличения диаметра откачного штуцера не представляется возможным, постольку в этом случае возникают проблемы с обеспечением его надежной вакуумноплотной герметизации.

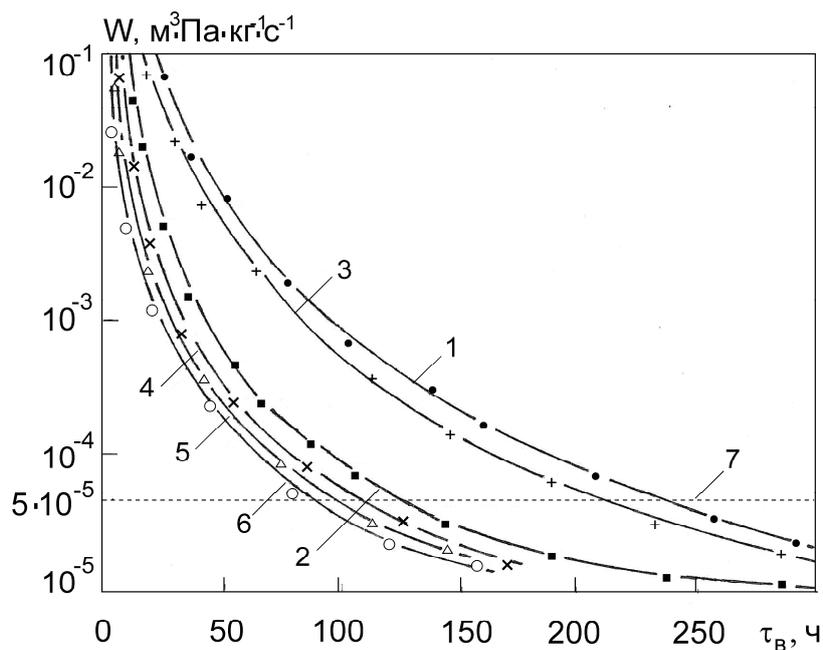


Рисунок. Зависимость удельного газоотделения (W) от времени вакуумирования (τ) для материалов, смонтированных в изоляционной полости криососудов, при температуре ~390 К: 1, 2 – промышленные криососуды с материалами в теплозащиты в состоянии поставки и после их предварительной дегазации в отдельной камере, соответственно;

3-6 – отбракованные криососуды, подробные характеристики для которых представлены в таблице; 3 – криососуд был разгерметизирован в холодном состоянии;

4-6 – криососуды разгерметизированы после отогрева до повышенной температуры в герметичном состоянии

В связи с этим предложено в изоляционной полости криососудов использовать материалы непосредственно после их предварительной дегазации. Такая вакуумная обработка изоляционных материалов и угля СКТ-4 проводится при температуре ~390 К в

течении 12 часов с откачкой через вентиль увеличенного сечения (диаметром $2,5 \cdot 10^{-2}$ м). В результате (как следует из зависимости $W(\tau)$ 2) процесс откачки из криососуда значительно ускоряется и оптимальное газоотделение достигается за ~130 часов (что на ~110 часов быстрее). В связи с этим данная высокоэффективная технология стала использоваться при серийном производстве криососудов.

Для отбракованных криососудов (после испытаний с жидким азотом) технология восстановления их тепловых характеристик не исследовалась. Поэтому проверку на герметичность часто проводят непосредственно после удаления из них жидкого азота (когда материалы теплозащиты холодные).

Таблица

Характеристики для отбракованных криососудов процессов отогрева (температуры и продолжительности), термовакуумной дегазации при температуре 380–390 К (ее продолжительности), а также суммарных затрат времени на восстановление их тепловых параметров

№№ криососуда	Температура внутренней стенки криососуда при его разгерметизации Т, К	Характеристика изоляционной полости криососуда при отогреве	Температура отогрева криососуда Т, К	Продолжительность отогрева криососуда τ , часы	Продолжительность термовакуумной дегазации до оптимального газоотделения τ , часы	Суммарное время, затраченное на восстановление оптимального газоотделения τ , часы
3	80	Отогрев не производился	Отогрев не производился	–	230	235
4	293	Герметичная	до 293	92	114	218
5	293	Герметичная	до 390	55	105	175
6	330	Герметичная	до 350	60	75	140

В данных случаях процесс термовакуумной дегазации для материалов криососудов характеризуются зависимостями, близкими к $W(\tau)$ 3. Оптимальное газоотделение W_0 для них достигается (как видно) за время, близкое к криососудам с теплозащитными материалами в состоянии поставки. Суммарная затрата времени на восстановление тепловых характеристик для таких отбракованных криососудов (№ 3) составляет (как следует из таблицы) ~235 часов.

Значительное увеличение времени достижения оптимального газоотделения W_0 для отбракованных криососудов при их разгерметизации в холодном состоянии обуславливается насыщением материалов теплозащиты парами влаги из окружающей среды за время, затраченное на проверку вакуумноплотности сварных швов и последующее устранение выявленных дефектов (в течение 5–8 часов).

Таким образом установлено, что разгерметизацию отбракованных криососудов необходимо осуществлять после их отогрева в герметичном состоянии до комнатной (или более высокой) температуры.

Для выявления особенностей данной технологии для отбракованных криососудов № 4–№ 6 исследовано несколько процессов отогрева, результаты которых представлены на рисунке и в таблице. Так, в случае отогрева отбракованного криососуда № 4 в герметичном

состоянии при температуре окружающей среды до 293 К, последующей разгерметизации, устранения негерметичности и осуществления процесса термовакuumной дегазации (зависимости $W(\tau)$ 4) суммарное время, затраченное на восстановление его тепловых характеристик, составляет еще значительную продолжительность – 218 часов (таблица).

Лучшие результаты получены в случае отогрева отбракованных криососудов в электропечах до повышенных температур в герметичном состоянии. При этом оптимальным оказался технологический процесс с отогревом отбракованных криососудов при 350 К до температуры в теплоизоляции 330 К (криососуд № 6). В данном случае суммарное время, затраченное на восстановление тепловых характеристик данных криососудов, составляет ~ 140 часов, что на ~ 95 часов быстрее в сравнении с криососудом № 3 с изоляционными материалами в межстенной полости в холодном состоянии перед разгерметизацией.

Выводы

Исследован процесс восстановления тепловых характеристик для отбракованных криососудов с теплозащитой из слоев ЭВТИ. Полученные результаты позволили разработать оптимальную энергосберегающую технологию данного процесса. Она заключается в отогреве криососудов в герметичном состоянии до температуры ~ 330 К и последующей разгерметизации для устранения дефектов. Это обеспечивает существенную защиту материалов изоляционной полости криососудов от насыщения их влагой из окружающей среды. В результате процесс восстановления тепловых характеристик для отбракованных криососудов ускоряется на ~ 90 часов.

Список литературы

1. Жунь Г. Г. Исследование десорбционно-диффузионных процессов вакуумирования и газоотделения материалов / Г. Г. Жунь // Вопросы атомной науки и техники. Сер.: Вакуум, чистые материалы, сверхпроводники. – 1998. – Вып. 1 (2). – С. 14–21.
2. Жунь Г. Г. Исследование многолетнего процесса газоотделения изоляционных материалов в вакууме / Г.Г. Жунь // Интегровані технології та енергозбереження. – 2001. – № 2. – С. 15–19.
3. Пипко А. И. Конструирование и расчет вакуумных систем / А. И. Пипко, В. Я. Плисковский, Н. А. Печко. – М.: "Энергоиздат", 1979. – 504 с.

RESTORATION OF THERMAL CHARACTERISTICS OF CRYOVESSELS

G. G. ZHUN', Dr. Sci. Tech.

The paper is dedicated to study of the process of warming up rejected cryovessels and development of 90-hours-accelerated energy-saving technology of restoration of their thermal characteristics.

Key words: *cryovessel, thermal insulation, optimal vacuum, thermal vacuum degassing, hermeticity*

Поступила в редакцию 17.03 2012 г.