

## УСТАНОВКА ДЛЯ СЖАТИЯ ГАЗОВ

© 2019 г. С. М. Стишов

*Институт физики высоких давлений им. Л.Ф. Верещагина РАН  
Россия, 108840, Троицк, Москва, Калужское ш., 14*

*e-mail: sergei@hppi.troitsk.ru*

Поступила в редакцию 22.01.2019 г.

После доработки 22.01.2019 г.

Принята к публикации 25.01.2019 г.

Описывается установка для сжатия инертных газов до давлений в десятки килобар. Установка отличается от ранее описанных в литературе способом подачи сжатого газа в камеру и использованием O-образных резиновых колец как основы подвижных и неподвижных уплотнений.

DOI: 10.1134/S0032816219040293

В эпоху широкого применения и развития техники алмазных наковален мало кто помнит о классических методах создания высоких давлений [1]. Тем не менее, если необходимо сжать газ или жидкость в объеме порядка десятков см<sup>3</sup> до давлений порядка 20 кбар и более, придется использовать классическую систему типа цилиндр-поршень. Ниже описывается установка, способная сжимать инертные газы, включая гелий, до давлений в десятки килобар.

Общая схема установки показана на рис. 1а, а камера высокого давления – на рис. 1б. В основе установки лежит двухцилиндровый гидравлический пресс усилием 800 т, управляемый гидравлической системой, условно показанной на рис. 1а. Плиты и цилиндры пресса выполнены из поковок легированной конструкционной стали. Колонны, гайки и прочие детали изготовлены из соответствующего проката. Все элементы пресса подвергнуты закалке и высокому отпуску до твердости HRC ~ 40, что соответствует пределу текучести  $\sigma_T \sim 90$  кг/мм<sup>2</sup>. Максимальное давление масла в цилиндрах составляет ~1500 кг/см<sup>2</sup>, что является оптимальным значением при указанной прочности стали [2]. Для уплотнения гидравлических цилиндров используют резиновые кольца с защитой из тефлоновых колец, вставленные с натягом в специальные канавки (рис. 1а).

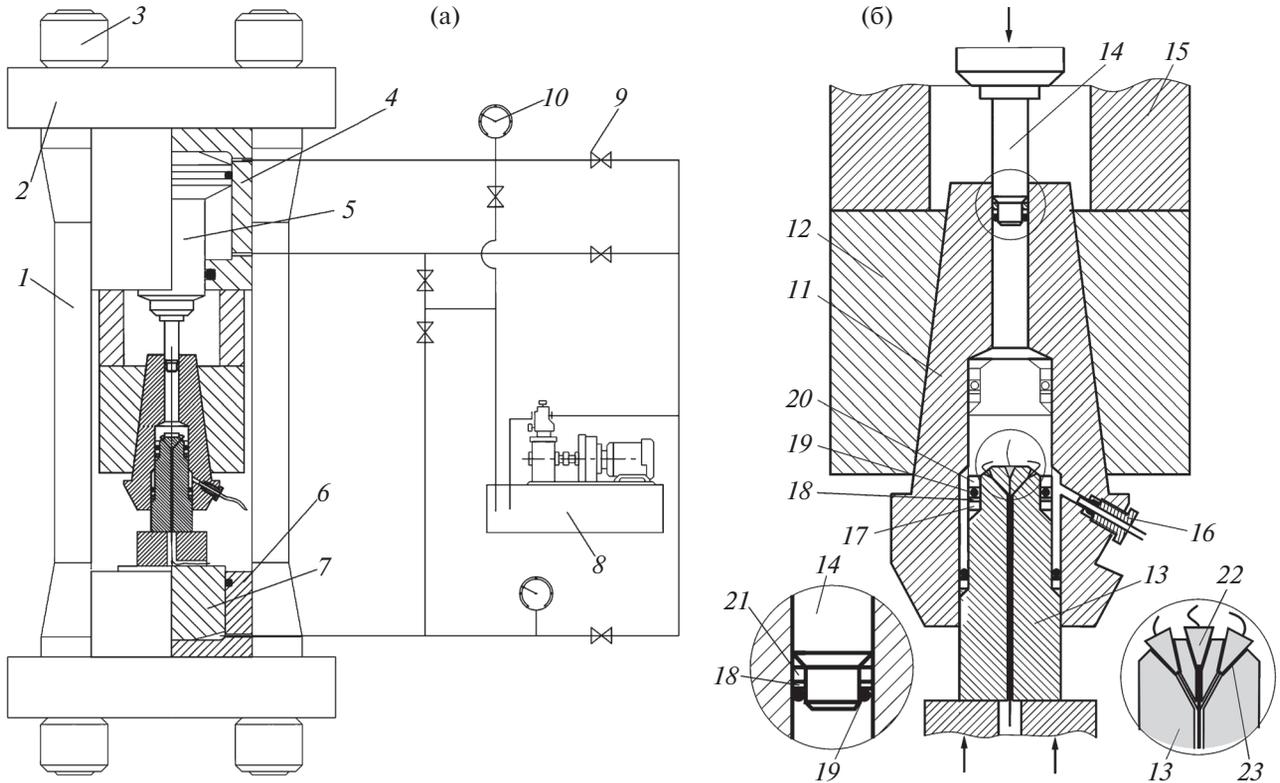
Конструкция камеры высокого давления, находящейся во внутреннем пространстве пресса, представлена на рис. 1б.

Пробка 13 изображена на рис. 1б в нижнем положении, что обеспечивает возможность создания предварительного давления с помощью газового ввода 1б. Верхнее положение пробки 13, показанное тонкими линиями, отсекает канал низкого давле-

ния и уплотняет канал высокого давления. Нижнее уплотнение на пробке 13 аналогично верхнему уплотнению и включает стальное и резиновое O-образное кольцо.

Как видно из рис. 1а и 1б, в установке используется принцип переменной механической поддержки, впервые предложенный П. Бриджменом [3]. Здесь коническая камера 11, обернутая свинцовой фольгой для уменьшения трения, вдвигается в коническую полость оправки 12 по мере повышения давления, создавая тем самым переменное поддерживающее напряжение на поверхности конуса. Соответственно эта схема предусматривает использование гидравлического пресса с двумя рабочими цилиндрами (см. рис. 1а). Далее, поскольку сжатие среды в установке рассматриваемого типа происходит в результате одноактного хода поршня, то с учетом высокой сжимаемости газов необходимо обеспечить подачу предварительно сжатого газа в камеру. Для сжатия газа используется тихоходный поршневой компрессор [4]. Обсуждаемая в данной работе установка отличается от ранее описанных в литературе [1, 5] способом подачи сжатого газа в камеру и использованием O-образных резиновых колец как основы подвижных и неподвижных уплотнений (см. рис. 1).

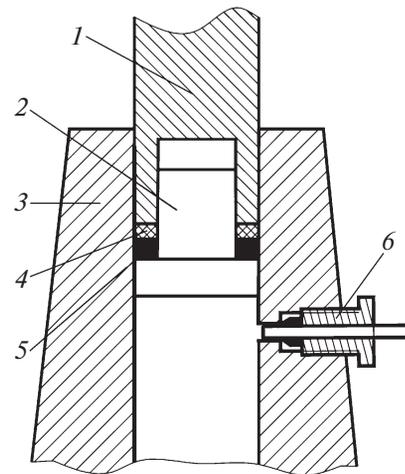
Необходимость в разработке нового способа создания предварительного давления в камере возникла в связи с тем обстоятельством, что в случае традиционного способа (см. рис. 2) [1, 5] на уплотнении высокого давления неизбежно возникает “царапина” после прохода газа через отверстие для ввода предварительного давления, что вызывает утечку сжимаемой среды и потерю давления. Возможно, что это обстоятельство не



**Рис. 1.** Общий вид установки (а) и камера высокого давления (б), находящаяся во внутреннем пространстве пресса. 1 – колонны; 2 – плиты; 3 – гайки; 4 – верхний цилиндр; 5 – верхний поршень; 6 – нижний цилиндр; 7 – нижний поршень; 8 – насос; 9 – вентили; 10 – манометры; 11 – камера; 12 – поддерживающая оправка; 13 – пробка; 14 – поршень; 15 – упорное кольцо; 16 – газовый ввод; 17 – стальное кольцо; 18 – индиевая прокладка; 19 – О-образное резиновое кольцо; 20 – стальное фиксирующее кольцо; 21 – кольцо из бериллиевой бронзы; 22 – стальные конусы; 23 – пиррофиллитовая изоляция.

создает больших затруднений при сжатии азота [5], но может быть катастрофичным при сжатии гелия. Один из способов подачи предварительного давления в камеру, основанный на использовании громоздкой классической системы уплотнений типа некомпенсированной площади, предложен в работе [6]. В данной работе эта проблема решается с помощью двух компактных уплотнений с использованием О-образных резиновых колец. Как показано на рис. 1б, в начале цикла сжатия пробка – электроввод 13 – находится в нижнем положении, открывая канал подачи предварительного давления 16. После достижения необходимого давления газа (обычно 3–4 кбар в случае гелия) пробка 13 перемещается вверх с помощью гидравлического цилиндра 6, отсекая канал 16 от рабочего объема камеры 11. Дальнейшее повышение давления происходит при работе цилиндра 4, который вдвигает поршень 14 в канал камеры 11. Одновременно необходимо увеличивать давление масла в цилиндре 6 для поддержки рабочей камеры 11. Поршень 14 ( $\varnothing 16$  и высотой 150 мм) камеры изготавливается из твердого сплава ВК-6, шлифуется и притирается алмазной пастой. Камера изготавливается из

термообработанной конструкционной стали с твердостью  $HRc \sim 40$ . Канал камеры также шлифуется и притирается. Уплотнение поршня



**Рис. 2.** К способу создания предварительного давления в газовой камере. 1 – поршень и 2 – грибок (уплотнение типа некомпенсированной площади); 3 – камера; 4 – защитное кольцо; 5 – мягкая прокладка; 6 – газовый ввод.

(см. слева вставку на рис. 1б) работает в условиях сухого трения и включает О-образное резиновое кольцо 19, мягкое кольцо 18 из металлического индия и кольцо 21 из бериллиевой бронзы, покрытое индием. Пробка-электроввод 13 содержит несколько электрических вводов, изолированных пирофиллитовыми конусками (см. справа вставку на рис. 1б).

Описанная установка позволяет сжимать газообразный гелий до давлений 30 кбар. Дальнейшему повышению давления препятствует пластическая деформация камеры 11.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Циклис Д.С. Техника физико-химических исследований при высоких и сверхвысоких давлениях. М.: Химия, 1976.
2. Стешов С.М. // ПТЭ. 1966. № 2. С. 222.
3. Bridgman P.W. // Proc. Am. Acad. Arts Sci. 1938. V. 72. P. 157.
4. Стешов С.М. // ПТЭ. 1971. № 1. С. 218.
5. Birch F., Robertson E.C., Clark S. Jr. // Industr. and Engineer. Chemistry. 1957. V. 49. P. 1965.
6. Бокша С.С., Шаховской Г.П. // ПТЭ. 1958. № 3. С. 86.