

ТЕОРИЯ УПРУГОСТИ

И. М. ГОРДОН

**О ПРОЧНОСТИ ТОЛСТОСТЕННЫХ ЦИЛИНДРОВ**

(Представлено академиком Б. Г. Галеркиным 25 II 1939)

В связи с помещенными в № 2—4—6 «Известий Академии Наук СССР» (1938 г.) статьями Н. М. Беляева и А. К. Сеницкого по вопросу о теоретическом исследовании напряжений и деформаций в толстостенных цилиндрах весьма полезно сейчас привести данные, полученные автором при исследовании толстостенных цилиндров в условиях сверхвысоких давлений, не останавливаясь здесь на методической стороне исследования.

Как известно, теория автоскрепления (автофретаж) считает, что основными факторами для создания автоскрепления являются: повышение предела упругости за счет явления холодного наклепа, создание в стенках цилиндров предварительных полезных напряжений тангенциального сжатия. Влияние 1-го фактора ограничивается сравнительно небольшими пределами (по сравнению с возможным получением давлений в цилиндрах), так как повышение первоначального предела упругости мыслится возможным только до значения временного сопротивления.

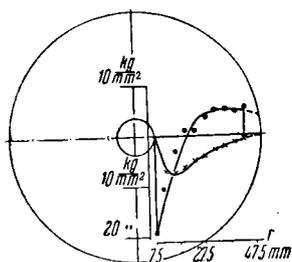
Существующая практика автофретажного процесса имеет дело с цилиндрами, отношение диаметров которых не превосходит  $3\left(\frac{D}{d} \leq 3\right)$ , и с давлениями, которые едва превышают численное значение предела текучести, имеющее конечной целью создание повышенного предела упругости.

Вопрос об остаточных напряжениях, рассматриваемый в этих пределах  $\left(\frac{D}{d} \leq 3\right)$  и давлением при автофретажном процессе), нужно считать до некоторой степени выясненным работами Мэкри, Маловаля, Дроздова и последней работой Беляева и Сеницкого. Однако вопрос о прочности толстостенных цилиндров с отношением диаметров  $\frac{D}{d} > 5$  в условиях сверхвысоких давлений, по величине превосходящих в несколько раз численное значение временного сопротивления, во всем объеме не был исследован.

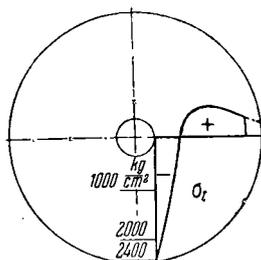
Поэтому задача, которая была поставлена автором, заключалась в том, чтобы экспериментально расширить пределы исследования толстостенных цилиндров с отношением диаметров  $\frac{D}{d} > 5$  и давлениями, значительно превосходящими численное значение временного сопротивления, не доводя цилиндр до разрушения, и таким образом выяснить для этих условий, какую роль играют в общем процессе упрочнения цилиндров остаточные напряжения. Диапазон давления исследуемых цилиндров находился в пределах 8 500—22 000 атм.

Таким образом в настоящей работе автора аннотируется исследование, которое мы формулируем, как исследование остаточных напряжений в стальных толстостенных цилиндрах, обработанных сверхвысоким давлением.

Объект исследования: толстостенные цилиндры с наружным диаметром 100 мм, внутренним диаметром 15 мм. Материал: углеродистая сталь 0.45% С, предел текучести 34 кг/мм<sup>2</sup> и временное сопротивление 65—72 кг/мм<sup>2</sup>. Для настоящего исследования была специально разработана



Фиг. 1.—Цилиндр обработан давлением в 8 500 атм.



Фиг. 2.—Цилиндр обработан давлением в 9 100 атм.

методика получения сверхвысоких давлений, которая обеспечила получение давлений в цилиндрах без доньев. Цилиндры обрабатывались давлениями: 8500, 9100, 11000, 16000, 19300, 20000, 22000 атм.

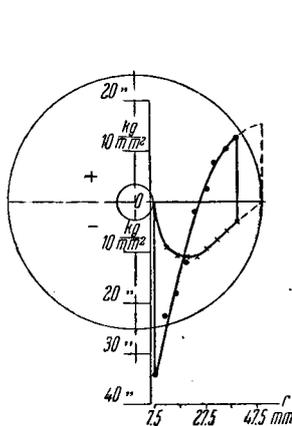
Обработанные соответственными давлениями цилиндры подвергались затем дальнейшему исследованию, заключающемуся в определении в них остаточных напряжений в тангенциальном и радиальном направлениях. Из существующих методов определений остаточных напряжений для наших условий наиболее подходящим оказался метод Закса.

Для установления точности полученных результатов в отношении остаточных напряжений была проведена проверка для каждого цилиндра в отдельности. Проверка эта заключалась в выяснении выполнимости условия равновесия  $\sum \sigma \Delta F = 0$  и  $\sum \sigma \Delta F \cdot x$ , т. е. равенства нулю равнодействующей или момента остаточных напряжений, которые во всех случаях удовлетворительно соблюдались.

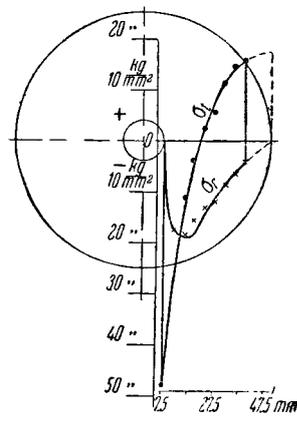
Результаты исследования наглядно представлены на данных выше фиг. 1—4, на которых представлены графики распределения остаточных напряжений  $\sigma_t$  и  $\sigma_r$  в цилиндрах, обработанных давлениями соответственно 8500, 9100, 16000, 20500 атм. Из представленных графиков следует, что максимальные остаточные напряжения  $\sigma_t$  увеличиваются с давлением вплоть до 20500 атм. Повторные испытания цилиндров, обработанных давлением одного и того же порядка, показывают удовлетворительное совпадение остаточных напряжений вплоть до 20500 атм. Характер изменения остаточных напряжений, показывающий порядок повышения их с давлением, остается во всех случаях один и тот же и наглядно показывает, каково их значение для службы в условиях сверхвысоких давлений.

Физико-технический институт.  
Днепропетровск.

Поступило  
1 XII 1938.



Фиг. 3.—Цилиндр обработан давлением в 16 000 атм.



Фиг. 4.—Цилиндр обработан давлением в 20 500 атм.