

ВЫБОР ДАВЛЕНИЯ ОПРЕССОВКИ ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ ОБОЛОЧЕК С ОТВЕРСТИЯМИ

Л. А. ПОЛИНОВСКИЙ

(Представлена семинаром лаборатории пластических деформаций при кафедре сопротивления материалов)

Многие детали, в том числе оболочки, подвергаются предварительной пластической деформации под нагрузками, выше эксплуатационных. При этом происходит упрочнение материала, а в зонах концентрации напряжений после разгрузки действуют остаточные напряжения, уменьшающие концентрацию напряжений при рабочих нагрузках. Большое значение представляет выбор оптимальных режимов предварительного пластического деформирования. Давление, соответствующее началу пластической деформации на контуре отверстия, для тонкостенной оболочки

$$P_T = 2 \frac{\sigma_T \cdot t}{\alpha_\sigma D_{cp}},$$

где σ_T — предел текучести материала оболочки;
 t и D_{cp} — толщина стенки и диаметр срединной поверхности оболочки;
 α_σ — коэффициент концентрации напряжений в упругой области.

После разгрузки в местах неоднородной пластической деформации действуют остаточные напряжения, величина которых определяется как разность рабочих и разгрузочных напряжений [1]. При разгрузке материал может деформироваться пластически. Вследствие эффекта Баушингера это может привести к снижению предела текучести в направлении действия рабочих нагрузок. Для того, чтобы разгрузка не сопровождалась пластическим деформированием, у контура отверстия должно выполняться условие

$$\sigma_{ост} = \sigma - \sigma_p \leq -\beta\sigma, \quad (1)$$

где $\sigma_{ост}$ — остаточные и
 σ_p — разгрузочные напряжения, а
 σ — напряжения при пластическом деформировании;
 β — коэффициент, учитывающий эффект Баушингера обычно при цикле деформаций растяжение—сжатие $\beta \geq 0,8$.

Введем обозначения:

$$\sigma = \alpha\sigma_{cp}, \quad \sigma_p = \alpha\sigma_{cp},$$

где α — коэффициент концентрации напряжений при пластическом деформировании,
 σ_{cp} — наибольшие главные напряжения при отсутствии концентрации.

Тогда в соответствии с условием об упругой разгрузке [1]:

$$\alpha \geq \frac{\alpha_{\sigma}}{1 + \beta}.$$

Обозначим допустимую величину коэффициента концентрации напряжений в пластической области

$$\alpha_d = 0,55\alpha_{\sigma}. \quad (2)$$

При малом отношении диаметра отверстия к диаметру срединной поверхности тонкостенной оболочки можно пренебречь ее кривизной и рассматривать как плоскую пластинку с отверстием при двухосном растяжении. Распределение напряжений в опасном сечении для этого случая [2]:

$$\sigma = \sigma_{гр} \left[1 + 0,75 \left(\frac{a^2}{r^2} + \frac{a^4}{r^4} \right) \right], \quad (3)$$

где a — радиус отверстия;

r — расстояние до его центра.

Коэффициент концентрации

$$\alpha_{\sigma} = 2,5.$$

Тогда, согласно (2):

$$\alpha'_d = 1,39. \quad (4)$$

Большое влияние на концентрацию напряжений в упругой области оказывают овальность и местные отклонения от формы оболочек, из-за которых, как показало исследование методом тензометрирования барабанов котлов, α_{σ} изменяется от 2,5 до 3,5 [3]. Так как местные отклонения от формы могут иметь различный характер, аналитическая оценка этого фактора затруднена.

Исследовалась концентрация напряжений у отверстий при гидроиспытаниях оболочки барабана котла методом измерения твердости [4]. Коэффициент концентрации напряжений около отверстий, где началась пластическая деформация, составил $3,0 \div 3,3$, т. е. несколько уменьшился по сравнению с наибольшим его значением, определенным на аналогичных оболочках [3] в упругой области. Расчетное значение зависит от допуска на некруглость оболочки и наибольшая его величина при существующей точности изготовления равна 3,5, т. е.

$$\alpha_d = 1,9. \quad (5)$$

Изменение коэффициента концентрации напряжений при больших пластических деформациях исследовалось методом измерения твердости при натуральных испытаниях барабанов котлов на экспериментальных базах институтов Промстальконструкция, ЦНИИТМАШ, ЦКТИ. На рис. 1 пунктиром показано изменение величины α в зависимости от давления для оболочки с внутренним диаметром 1600 мм и толщиной стенки 92 мм. Допустимой величине коэффициента концентрации напряжений α_d соответствует давление согласно (4) и согласно (5) — 225 атм.

Исследование проводилось у отверстия с наименьшей концентрацией в упругой ($\alpha_{\sigma} = 2,5$), а следовательно, и в пластической области. Допустимое давление для случая (4) близко к предельному давлению разрушения. Учитывая, что влияние начальной некруглости оболочки с развитием пластической деформации уменьшается, выбираем $P_d = 225$ атм. В настоящее время давление гидропрессовки принимается на 25% выше рабочего и равно 195 атм, что соответствует $\alpha \approx 2,4$. При пластическом деформировании материала в зоне около отверстия происходит местное упрочнение материала, а после разгрузки действуют

остаточные напряжения, уменьшающие величину концентрации напряжений при работе оболочки. Коэффициент концентрации рабочих напряжений с учетом остаточных будет:

$$\alpha_p = \alpha n - \alpha_\sigma (n - 1),$$

при

$$\alpha_\sigma \geq \alpha \geq \alpha_d,$$

где n — отношение давления гидроопрессовки к рабочему.

Изменение этого коэффициента для оболочки барабана котла, работающего при давлении 155 атм, также дано на рис. 1. Коэффициент

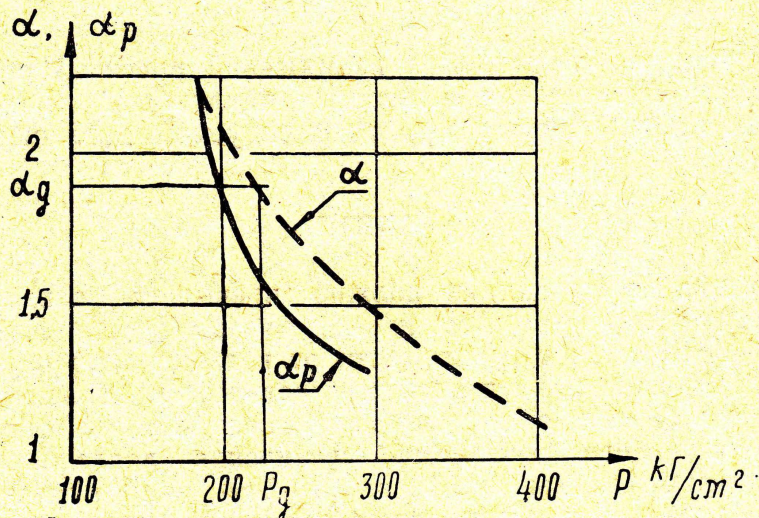


Рис. 1.

концентрации рабочих напряжений с возрастанием давления гидроопрессовки уменьшается от 2,5 до 1,25 при работе после опрессовки дав-

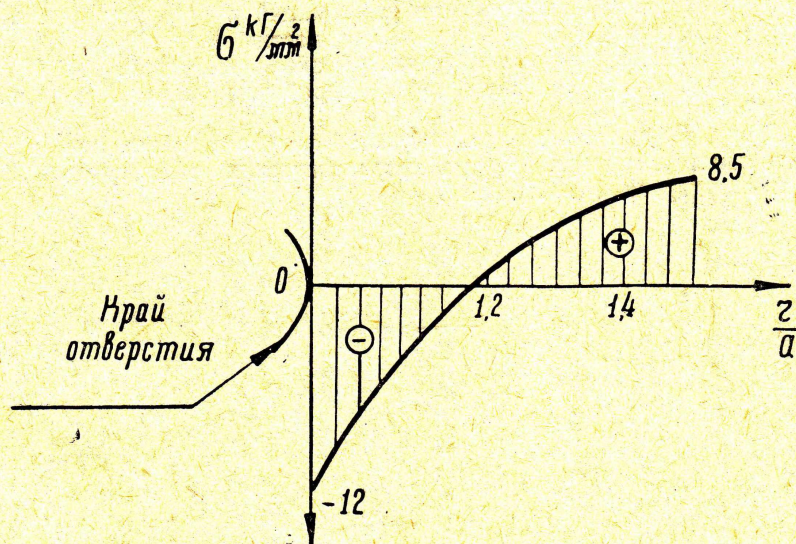


Рис. 2

лением, соответствующим α_d (началу пластической деформации при разгрузке).

В связи с выпуском в последнее время барабанов с увеличенной до 115 мм толщиной стенки, применяемое давление гидроопрессовки не

вызывает пластической деформации у отверстий в обечайках правильной цилиндрической формы. Поэтому целесообразно увеличение давления гидропрессовки для оболочек с толщиной стенки 92 мм до 225 атм, и до 250 атм для оболочек с толщиной стенки 115 мм.

При определении напряжений методом измерения твердости на разных ступенях деформирования установлено, что наибольшее главное напряжение по опасному сечению в зоне пластических деформаций изменяется в пределах 4—8%, и для приближенных расчетов может быть принято постоянным. Для рекомендуемого давления P_d его величина будет

$$\sigma = \alpha_d \sigma_{ср} = \alpha \frac{P_d D_{ср}}{2t}.$$

Распределение разгрузочных напряжений рассчитывается по формуле (3). Эпюра изменения остаточных напряжений по опасному сечению после гидроиспытаний при рекомендуемом давлении приведена на рис. 2.

Выводы

1. Давление опрессовки не должно превышать давления, после снятия которого материал пластически деформируется у концентраторов. Оно определяется в зависимости от величин коэффициентов концентрации напряжений в упругой и пластической области. Последние в свою очередь зависят от допуска на искажение формы оболочки.

2. Показана целесообразность увеличения давления гидропрессовки оболочек барабанов котлов на 15—28%, при котором происходит наибольшее упрочнение материала, а после разгрузки действуют остаточные напряжения, снижающие концентрацию напряжений у отверстия в оболочке.

ЛИТЕРАТУРА

1. Г. Генки. К теории пластических деформаций и вызываемых ими в материале остаточных напряжений. Сб. «Теория пластичности», Изд. ИЛ, 1948.
2. Г. Н. Савин. Концентрация напряжений около отверстий, ГИТТЛ, 1951.
3. Веллинггер и др. Напряжения в барабанах котлов. «Mitteilungen der VGB», № 90, 1964.
4. Г. Д. Дель. Определение напряженного состояния материала в пластической области измерением твердости. Труды метрологических институтов СССР, выпуск 91 (151), изд. стандартов, М.—Л., 1967.