

Применение жаропрочных материалов не всегда технологически и экономически оправдано. За последнее время в Советском Союзе и некоторыми зарубежными фирмами освоена технология изготовления поршней из алюминиевого сплава с внутренними охлаждающими каналами и специальными вставками для верхнего уплотнительного кольца. Для образования охлаждающих каналов в поршнях применяются специальные водорастворимые стержни, изготовленные из соли сульфата натрия с добавлением сернистого лития, магнезия или бария или из других термостойких компонентов. По материалам этих фирм применение таких поршней позволяет увеличить мощность двигателя в 1,5 раза. Поэтому на трелевочных тракторах в данное время следует применять двигатели со скоростью поршня около 9 м/с.

Параметром, определяющим экономичность двигателя, является степень сжатия. Эта величина оказывает влияние на процесс смесеобразования. У большинства отечественных и зарубежных двигателей с непосредственным впрыском степень сжатия определена в пределах 14-17.

В настоящее время получили распространение транспортные дизели с пленочным смесеобразованием (М-процесс), при котором повышается экономичность дизеля. Исследования показали, что у дизеля с пленочным смесеобразованием удельный расход топлива составил 158-165 г/л.с.ч.

В настоящее время М-процесс осуществляется на дизелях с рабочим объемом от 3,05 л до 15 л при диаметрах цилиндра от 98 до 126 мм. Для этого процесса характерны следующие черты - мягкость и малая шумность при высокой экономичности, которые позволят усовершенствовать дизельный двигатель воздушного охлаждения.

УДК 539. 4. 434

Н.А.Долбин

## ВЫНОСЛИВОСТЬ МЕДНЫХ ТРУБОК ПРИ АСИММЕТРИЧНОМ ВЫСОКОЧАСТОТНОМ НАГРУЖЕНИИ

Известно, что трубопроводы гидросистем лесных машин подвергаются одновременному действию статических и динамических нагрузок, что приводит к их усталостному разрушению. Причем разрушение их может происходить при напряжениях ниже предела выносливости материалов, из которых они изготовлены.

В настоящей работе исследовалось влияние трехосного статического растяжения на высокочастотную прочность медных трубок ( $R = 9$ ;  $r = 7,5$  mm).

Трехосное растяжение создавалось внутренним гидростатическим давлением  $P$  от гидравлической машины. Постоянство давления на каждой ступени нагружения обеспечивалось гидравлическими аккумуляторами, рассчитанными на различные значения величины внутреннего давления. Величина последнего контролировалась манометрами, установленными на выходе гидромашины и на входе в образец-трубку. Значения давлений выбирались таким образом, чтобы пластическая деформация трубок была ограничена во избежание отклонения их размеров от резонансных.

Создав предварительное напряженное состояние в материале внутренним давлением, к образцу прикладывались высокочастотные ( $f \approx 18$  кГц) напряжения растяжения-сжатия.

При одновременном действии статических напряжений и высокочастотных вибраций трубки доводились до разрушения. Появление усталостной трещины в образце выводило из резонанса колебательную систему.

Циклические напряжения подсчитывали по формуле [1]

$$\sigma_a = \frac{2\pi f A_0 \sqrt{\rho E}}{\sin 2\pi f a \sqrt{\rho E}},$$

где  $A_0$  - амплитуда колебаний торца образца;  $\rho$ ,  $E$  - соответственно плотность и модуль Юнга материала;  $a$  - участок длины рабочей части образца от узла колебаний до торца ( $a = 37$ ).

Эквивалентные статические напряжения подсчитывали по [2]

$$\sigma_m = \sqrt{\frac{1}{2} [(\sigma_r - \sigma_\tau)^2 + (\sigma_\tau - \sigma_z)^2 + (\sigma_z - \sigma_r)^2]},$$

где  $\sigma_r$ ,  $\sigma_\tau$ ,  $\sigma_z$  - соответственно радиальное, окружное и осевое напряжения.

Для толстостенных цилиндров

$$\sigma_r = \frac{P r_b^2}{R^2 - r_b^2} \left(1 \pm \frac{R^2}{r^2}\right), \quad \sigma_z = \frac{P r}{R^2 - r^2}.$$

Так как при усталостных испытаниях наблюдается значительное рассеивание долговечности, то результаты экспериментов

обрабатывали методами математической статистики по методике [3] на ЭВМ "Мир -2".

Логарифмы чисел циклов до разрушения ( $\lg N$ ) располагали в возрастающем порядке, образуя таким образом вариационный ряд, служащий исходной информацией для построения функции распределения случайной величины. Указанную функцию строили на логарифмически нормальной вероятностной бумаге. По оси абсцисс откладывали  $\lg N$ , по оси ординат - накопленные частоты, вычисленные по формуле  $P = (i - 0,5) / n$ , где  $n$  - число образцов, испытанных при данном уровне напряжения.

Учитывая ограниченный объем выборки ( $n = 17 - 23$ ), для указания точности и надежности оценок генеральных характеристик определяли доверительные интервалы среднего и среднеквадратического отклонения из выражений:

$$\overline{\lg N} - \frac{S_{\lg N}}{\sqrt{n}} t_{\gamma} < a < \overline{\lg N} + \frac{S_{\lg N}}{\sqrt{n}} t_{\gamma};$$

$$\sqrt{\frac{n-1}{n}} z_1 S_{\lg N} \leq \sigma \leq \sqrt{\frac{n-1}{n}} z_2 S_{\lg N},$$

где  $t_{\gamma}$  - критерий Стьюдента для уровня значимости и числа степеней свободы,  $k = n - 1$ ;  $z_1, z_2$  - коэффициенты, зависящие от требуемой доверительной вероятности (принято  $P = 90\%$ ) и числа испытаний.

Результаты обработки экспериментальных данных приведены в табл. 1.

На рис. 1 представлены функции распределения долговечности. Как видно из рис. 1, экспериментальные точки при больших вероятностях разрушения и малых базах отклоняются от прямолинейной зависимости в область более высокой долговечности, т.е. наблюдается некоторое отклонение от нормального закона распределения.

Произведя сечения горизонтальными линиями, соответствующими вероятностям 2%, 10, 30, 50, 70 и 90%, функции распределения долговечности и фиксируя при этом значения  $\sigma_m$  и  $N$ , строим зависимость долговечности трубок от величины статических напряжений для указанных вероятностей разрушения. Данная зависимость представлена на рис. 2.

Как следует из табл. 1 и рис. 2 увеличение статических напряжений ведет к уменьшению долговечности при всех веро-

Таблица 1

$P$ , кгс/см <sup>3</sup>	$\sigma_m$ , кгс/мм <sup>2</sup>	$\sigma_a$ , кгс/мм <sup>2</sup>	$n$ , шт	$\overline{\lg N}$
0	0	6,5	2,3	6,6288
100	5,67	6,31	18	6,6534
200	11,3	5,96	18	6,5060
300	16,91	5,68	17	5,9621

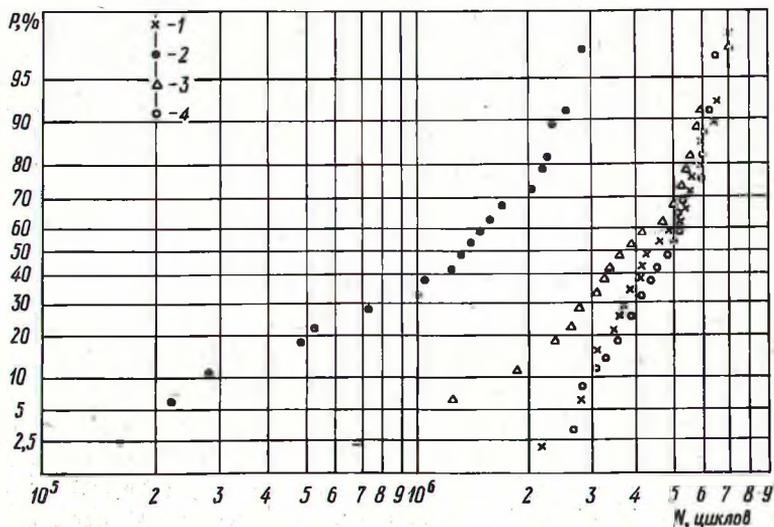


Рис. 1. Распределение долговечности образцов: 1 -  $\sigma_m = 0$ ; 2 - 5,7 кгс/мм<sup>2</sup>; 3 - 11,3; 4 - 16,9 кгс/мм<sup>2</sup>.

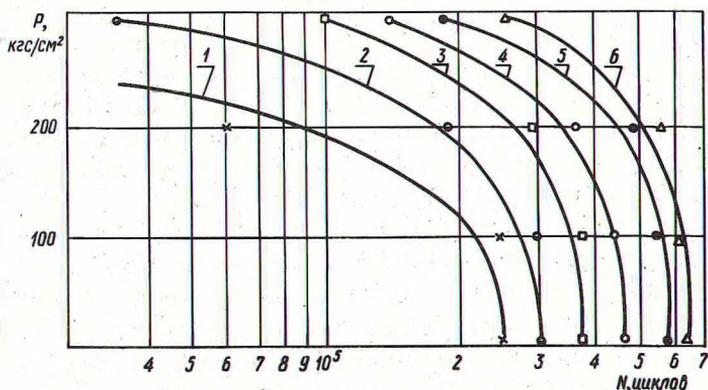


Рис. 2. Зависимость долговечности образцов от величины внутреннего давления: 1 -  $P = 2\%$ ; 2 -  $10\%$ ; 3 -  $30\%$ ; 4 -  $P = 50\%$ ; 5 -  $70\%$ ; 6 -  $90\%$ .

$S_{\lg N}$	$(\lg N)_{\max} - (\lg N)_{\min}$	$S_{\lg N}^{\max} - S_{\lg N}^{\min}$
0,156	6,6838-6,5738	0,202-0,121
0,110	6,6974-6,6094	0,148-0,083
0,248	6,6070-6,4050	0,336-1,188
0,390	6,1271-5,7971	0,535-0,294

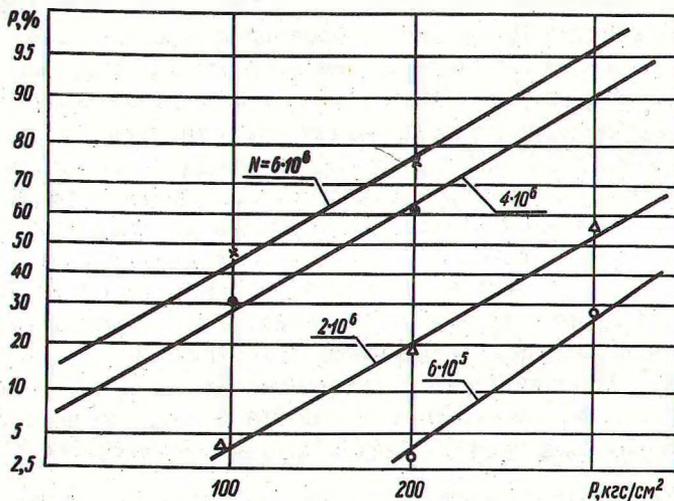


Рис. 3. Распределение предела ограниченной выносливости образцов в зависимости от величины внутреннего давления.

ятностях разрушения, даже при некотором снижении циклических напряжений.

Так, например, при вероятности разрушения 50% увеличение статических напряжений от нуля до  $11,3 \text{ кгс/мм}^2$  уменьшило число циклов до разрушения почти на 20%. В то же время переменные напряжения уменьшились в 1,1 раза. Но уже при статическом напряжении  $\sigma_m = 16,9 \text{ кгс/мм}^2$  долговечность уменьшилась почти в 4 раза, хотя циклические напряжения также уменьшились почти на 12%.

С увеличением асимметрии цикла (с увеличением давления) наблюдается увеличение рассеивания характеристик долговечности. Так, если при симметричном нагружении среднеквадратичное отклонение логарифма числа циклов было 0,156, то при коэффициенте асимметрии  $r = 2$  ( $\sigma_m = 16,91 \text{ кгс/мм}$ ,

$\sigma_a = 5,68 \text{ кгс/мм}^2$ ) оно увеличилось более чем в два раза.

Уменьшение долговечности трубок с ростом асимметрии цикла, очевидно, связано, с одной стороны, с увеличением общей напряженности материала, а с другой – концентрацией напряжений от давления, обусловленных микронеровностями внутренней поверхности, а также адсорбционным влиянием жидкости.

Для установления функции распределения пределов ограниченной выносливости (распределения максимальных разрушающих статических напряжений) при фиксированных числах циклов нагружения графики функции распределения долговечности рассекали вертикальными линиями, соответствующими определенной долговечности. По точкам пересечения получаем значения напряжений и вероятностей разрушения. По этим данным на рис. 3 построены графики распределения предела ограниченной выносливости в зависимости от эквивалентных статических напряжений на базах  $6 \cdot 10^5$ ,  $2 \cdot 10^6$ ,  $4 \cdot 10^6$  и  $6 \cdot 10^6$  циклов. Так как точки на этих графиках практически совпадают с прямой линией, то это говорит о возможности описания функции распределения пределов выносливости нормальным законом распределения. То обстоятельство, что линии на рис. 3, соответствующие различным базам испытания, параллельны, показывает о совпадении дисперсии разрушающих напряжений для этих баз.

Среднее (совпадающее с медианным в данном случае) значение  $P_{\max}$  получаем при вероятности 50%, а именно  $P_{\max} = 115 \text{ кгс/см}^2$  при  $N = 6 \cdot 10^6$ ;  $P_{\max} = 165 \text{ кгс/см}^2$  при  $N = 4 \cdot 10^6$ ;  $P_{\max} = 320 \text{ кгс/см}^2$  при  $N = 2 \cdot 10^6$  циклов.

#### Л и т е р а т у р а

1. Троян И.А., Цимбалысты Я.И. Расчет напряжений в колеблющемся ступенчатом образце. – Проблемы прочности, 1973, №9.
2. Феодосьев В.И. Сопротивление материалов. М., 1974.
3. Степнов М.Н. Статистическая обработка результатов механических испытаний. М., 1972.