

Академик АН УССР Г. В. КАРПЕНКО, Р. Г. ПОГОРЕЦКИЙ

О МАСШТАБНОМ ЭФФЕКТЕ ПРИ УСТАЛОСТИ И КОРРОЗИОННОЙ УСТАЛОСТИ СТАЛИ

Многочисленными исследованиями установлено, что сопротивление усталости стали в значительной степени зависит от абсолютных размеров детали. Так, например, было показано (¹, ²), что выносливость гладких стальных образцов при изменении их диаметра от 8—10 до 100 мм снижается на 25—38%. Еще более сильное влияние абсолютных размеров проявляется на образцах с концентраторами напряжений (³).

При испытании стальных образцов в поверхностно-активной среде влияние абсолютных размеров образцов на сопротивление усталости уменьшается (⁴). В коррозионной среде сопротивление усталости гладких образцов и образцов с концентраторами напряжения повышается с увеличением их размеров (⁴, ⁵).

Таким образом, масштабный эффект в значительной мере зависит от условий эксперимента и в связи с этим может проявляться по-разному как количественно, так и качественно.

Многие детали машин находятся в сопряжении с другими, причем часто номинально неподвижно. Известно, что сопротивление усталости и коррозионной усталости валов под влиянием сопряженных деталей резко снижается. Оценка масштабного фактора в этом случае и явилась основной задачей настоящей работы.

Исследования проводили на цилиндрических образцах диаметром 5, 12, 27, 50 и 200 мм из стали 35 ($\sigma_B = 57$ и $\sigma_T = 29$ кг/мм²), в рабочую часть которых были запрессованы цилиндрические втулки из нормализованной стали 45 с наружным диаметром и длиной, равной двум диаметрам рабочего сечения образца. Испытания проводили на машинах чистого изгиба с вращением при нагружении постоянными силами по методике, описанной в работе (⁶). Частота нагружения 400—500 циклов в минуту. База испытаний в воздухе 10⁷ циклов, а в коррозионной среде (3% раствор NaCl в воде) 300 час. Для сравнительной оценки были проведены также испытания образцов без втулок.

Результаты исследования показывают (рис. 1, I), что увеличение диаметра гладкого образца (без втулки) от 5 до 200 мм приводит к снижению предела выносливости на 33%. Если эту кривую проэкстраполировать на диаметр 1000 мм, то можно получить масштабный фактор

$$\varepsilon = \sigma_{-1}^{200} / \sigma_{-1}^5 = 0,59,$$

где σ_{-1}^{200} и σ_{-1}^5 — пределы выносливости образца диаметром 200 и 5 мм соответственно.

При коррозионной усталости (рис. 1, I') увеличение размера таких же образцов приводит к значительному повышению выносливости ($\varepsilon = 2,89$). Это указывает на то, что коррозионная среда обуславливает тем большую потерю выносливости, чем меньше диаметр образца. Повышение сопротивления коррозионной усталости с увеличением размера обусловлено более сильным относительным разупрочняющим воздействием среды на образцы меньшего размера.

Исследования сопротивления усталости образцов с напрессовками показывают, что их выносливость под влиянием втулок резко снижается

(рис. 1, 2). При этом чем больше диаметр образца, тем большее снижение, т. е. чувствительность к отрицательному воздействию напессовки возрастает. Масштабный фактор при изменении размера от 5 до 200 мм в этом случае равен 0,34. Если проэкстраполировать кривую 2 на размер 1000 мм, то $\epsilon \approx 0,1$. Таких низких значений ϵ до настоящего времени

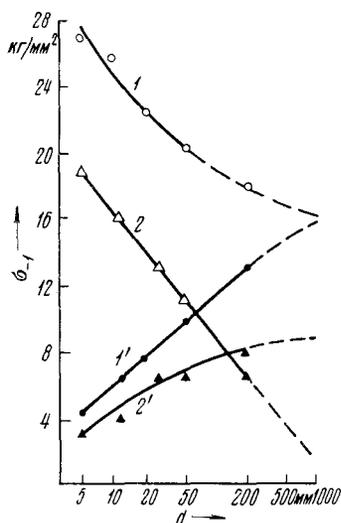


Рис. 1. Зависимость предела выносливости от диаметра образца. 1, 1' — без напессовки, 2, 2' — с напессовкой; 1, 2 — испытания в воздухе, 1', 2' — в коррозионной среде

не удалось обнаружить никому. Это указывает на то, что около 90% работоспособности материала потеряно за счет изменения размера. Кроме того, обращает на себя внимание низкий уровень сопротивления усталости вала диаметром 100 мм, который составляет лишь около 2 кг/мм².

Исследования показывают, что снижение сопротивления коррозионной усталости под действием напессованных втулок усиливается, в связи с чем кривая 2' расположена ниже кривой 1'. Увеличение размера образца также вызывает повышение его выносливости.

Следует отметить, что кривые изменения предела усталости в зависимости от диаметра образца с напессовкой пересекаются (кривые 2, 2'). Это указывает на то, что, начиная с некоторого значения диаметра (~150 мм и выше), выносливость при принятой продолжительности испытаний в коррозионной среде выше, чем в воздухе. Более высокая выносливость образцов крупного диаметра в коррозионной среде, чем в воздухе, объясняется охлаждающим действием ее на циклически нагруженный металл. Кроме того, наличие жидкой среды в паре образец — втулка должно уменьшать циклическое трение, которое оказывает существенное влияние на процессы фреттинг-коррозии.

Приведенные факты указывают, что недостаточно обоснованное увеличение размера вала с целью обеспечения несущей способности в целом приводит к нерациональным расходам материалов и к чрезмерному повышению веса конструкции. Такой путь может только привести к большим потерям в экономике определенной отрасли промышленности.

При оценке несущей способности крупных валов необходимо учитывать наряду с масштабным фактором уровень предельных напряжений, разработка методов повышения которого должна являться повседневной задачей научных исследований в этой области. Оценка масштабного фактора в каждом конкретном случае должна иметь экспериментальное обоснование.

Физико-механический институт
Академии наук УССР
Львов

Поступило
19 VI 1972

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- ¹ Д. И. Тарасенко, Изв. высш. учебн. завед., Черная металлургия, № 5 (1956).
² E. Lehr, Techn. Zbl. f. Prakt. Metallbearbeitung, № 17/18 (1937). ³ С. В. Серенсен, Вестник машиностроения, № 5—6 (1946). ⁴ Г. В. Карпенко, А. В. Карлашов, ДАН, 92, № 3 (1953). ⁵ Р. Г. Погорельский, Г. В. Карпенко, Физ.-хим. мех. матер., 3, № 6 (1967). ⁶ Р. Г. Погорельский, М. М. Мадейко и др., там же, 4 (1968).