

## К ВОПРОСУ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ПРЕДЕЛА ВЫНОСЛИВОСТИ ПРИ ИЗГИБЕ С ОТРИЦАТЕЛЬНОЙ АСИММЕТРИЕЙ ЦИКЛА

Реальные конструкции работают в условиях нецентрированных эксплуатационных процессов нагружения (гармонический, случайный, смешанный) [1], то есть, в условиях симметричного процесса, но с некоторым смещением оси ординат, которое называется асимметрией. Экспериментально доказано, что асимметрия цикла нагружения существенно влияет на характер кривой усталости, при этом с увеличением асимметрии долговечность снижается.

Для получения характеристик сопротивления усталости с учётом асимметрии нагружения проводят усталостные испытания при различных значениях асимметрии и по их результатам строят диаграмму предельных напряжений цикла. Эта диаграмма показывает зависимость между максимальным предельным напряжением, равным пределу выносливости при симметричном цикле, откладываемым по оси ординат и математическим ожиданием – средним напряжением цикла, откладываемым по оси абсцисс (рис. 1) [2].

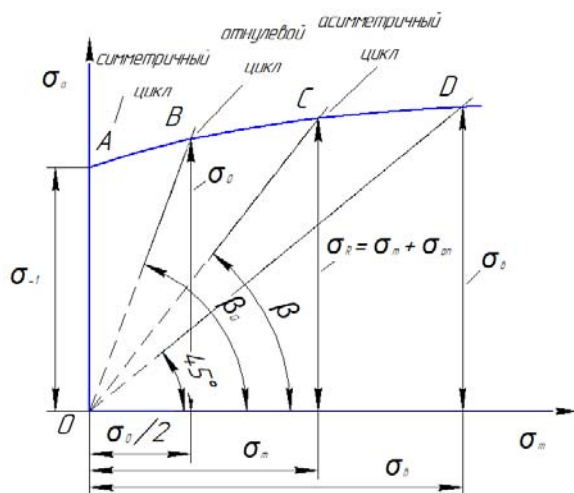


Рис. 1. Общая схема диаграммы предельных напряжений

Диаграммы усталости строят на основании результатов испытания стандартных образцов при определённом виде нагружения (растяжении, сжатии, изгибе, кручении), постоянных параметрах цикла (при постоянном значении коэффициента асимметрии цикла  $R$ ) и заданной базе испытаний  $N$ .

В практических расчётах ресурса конструкций при асимметричных циклах нагружения пользуются диаграммой предельных амплитуд цикла (рис. 2), которая характеризует зависимость между предельной амплитудой  $\sigma_{га}$  (ось ординат) и математическим ожиданием  $\sigma_{гм}$  напряжений цикла (ось абсцисс).

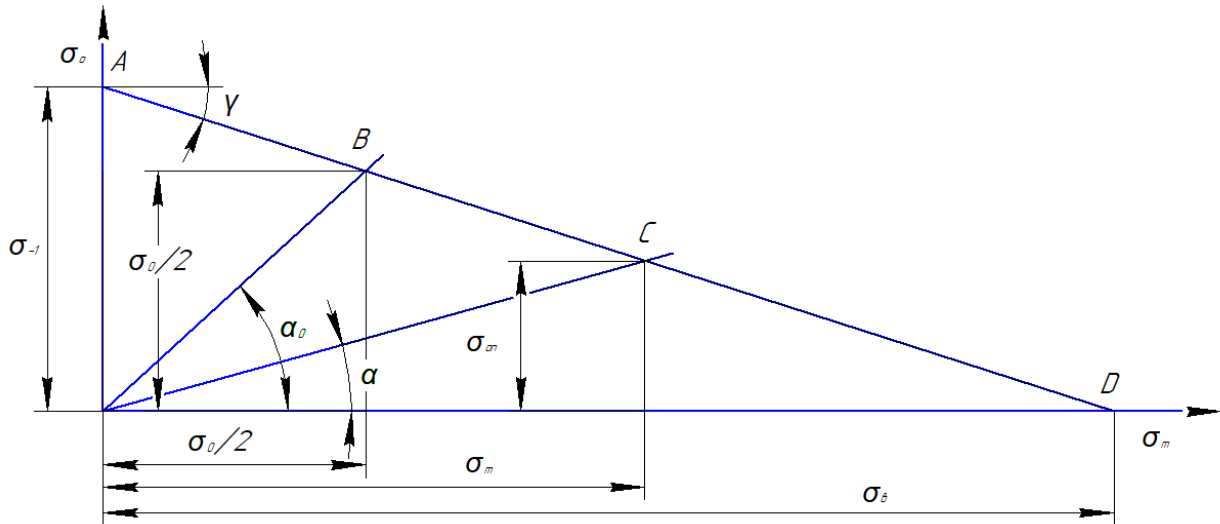


Рис. 2. Общая схема диаграммы предельных амплитуд

Для описания экспериментальных данных диаграммы предельных амплитуд цикла  $\sigma_{га} = f(\sigma_{гм})$  в общем виде используется зависимость типа:

$$\left(\frac{\sigma_{га}}{\sigma_{-1}}\right)^n + \left(\frac{\sigma_{гм}}{\sigma_{\kappa}}\right)^m = 1. \quad (1)$$

На основании (1) исследователями были предложены различные диаграммы. Наиболее распространёнными считаются следующие зависимости:

- $n = 1, m = 1$  – линейная зависимость Гудмана (Goodman);
- $n = 1, m = 2$  – параболическая зависимость Гербера (Gerber);
- $n = 2, m = 2$  – эллиптическая зависимость Петерсона.

Следует отметить, что указанные диаграммы предельных амплитуд цикла были разработаны для положительных, то есть, растягивающих средних напряжений цикла.

При расчёте ресурса конструкций часто требуется знать всю кривую усталости материала, по которой производится экспресс-анализ долговечности при заданных значениях знакопеременной нагрузки.

Поскольку большая группа деталей работает при знакопеременном изгибе как с положительными так и с сжимающими средними напряжениями цикла,

важно иметь в этом случае достоверные методики оценки предела выносливости деталей, особенно с концентраторами напряжений.

При проведении литературного обзора было установлено, что к вопросу влияния отрицательной асимметрии цикла на предел выносливости обращались многие исследователи, например, Зеегер, Хейг, Мур, Ли и Буджен [4]. Первые исследования были проведены ими еще в 1930-х годах, когда изучалось влияние начальных сжимающих напряжений на стандартные образцы из чугуна, латуни и нержавеющей стали [3].

В качестве примера на рис. 3 приведена диаграмма предельных напряжений для чугуна [3]. Из диаграммы видно, что с ростом среднего сжимающего напряжения на некотором участке имеет место увеличение предельной амплитуды, а, следовательно, и предела выносливости.

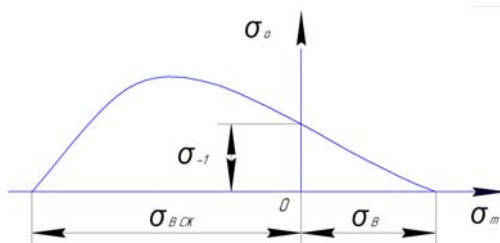


Рис. 3. Диаграмма предельных напряжений Хейга для чугуна

Результаты, полученные Хейгом, подтверждают тот факт, что чугун при переменных напряжениях, как и при постоянных, лучше работает на сжатие, чем на растяжение.

Маттаес при проведении испытаний использовал специальные образцы несимметричной формы, что позволяло при изгибе получать большие значения напряжений в сжатой зоне [5].

Зеегер проводил испытания образцов как гладких, так и с надрезом. Исследуемые образцы представляли собой втулку, в которую без зазора вставлялась резьбовая шпилька. При затягивании гаек шпильки в исследуемых образцах создавалось начальное сжимающее напряжение [3].

Ограниченный объём статьи не позволяет привести все работы, относящиеся к попыткам исследования предела выносливости в условиях отрицательной асимметрии цикла. Отмечены лишь первые опубликованные экспериментальные данные.

В результате проведенного обширного литературного обзора установлено следующее:

- имеется значительное количество работ, посвященных оценке предела выносливости деталей в области отрицательной асимметрии цикла;
- представленные результаты относятся к исследованию, в основном, гладких образцов;
- имеются лишь единичные исследования определения предела выносливости образцов с концентраторами в области сжимающих средних напряжений цикла;
- отмеченные результаты часто противоречивы;
- не имеется данных о построении диаграмм предельных амплитуд цикла в области сжимающих средних напряжений.

Между тем в конструкциях современных машин имеется большое количество деталей, в том числе, с концентраторами напряжений, работающих при знакопеременных нагрузках как в области положительных, так и в области отрицательных средних напряжений.

**Вывод.** Представляет интерес как в научном плане, так и с практической точки зрения проведение экспериментальных исследований при изгибе с сжимающими средними напряжениями цикла и разработка методики оценки предела выносливости деталей с концентраторами напряжений в этой области.

### **Библиографический список**

1. Жук, Н. П. Курс теории коррозии и защиты металлов / Н.П. Жук. – М.: Металлургия, 1976. – 476 с.
2. Атапин, В.Г. Механика. Сопротивление материалов / В.Г. Атапин, Д.А. Красноруцкий. – Новосибирск, 2017. – 148 с.
3. Гликман, Л.А. Влияние начальных сжимающих напряжений на сопротивляемость усталости / Л.А. Гликман // Журнал технической физики. – 1937. – Том 7. – С. 1417–1433.
4. Moore H.F., Lyon S.W., Inglis N.P. Tests of the fatigue strength of cast steel: a report of an investigation. – University of Illinois at Urbana Champaign, College of Engineering. Engineering Experiment Station., 1927.
5. Matthes K. Über die Abhängigkeit der Dauerfestigkeit von Kristallorientierung // Metallwirtschaft. – 1933. – №34. – С. 58–60.