

УДК 539.432.620

## ВИЗНАЧЕННЯ ЗАПАСУ МІЦНОСТІ ДЛЯ ВУГЛЕЦЕВИХ СТАЛЕЙ ПРИ ЦИКЛІЧНОМУ НАВАНТАЖЕННІ

Черниш О.М., к.т.н.

*Національний університет біоресурсів і природокористування України*

Тел. (044) 527-82-33

**Анотація** - для вуглецевих сталей розроблено метод визначення коефіцієнта запасу міцності при циклічному навантаженні із застосуванням діаграми граничних напружень в координатах коефіцієнт асиметрії  $R$  – максимальне напруження циклу  $\sigma_{max} = \sigma_R$ .

**Ключові слова** – навантаження сталей, запас міцності, циклічне навантаження.

*Постановка проблеми.* В залежності від призначення машин і споруд їх деталі можуть працювати при різних режимах пружного стану під дією змінних навантажень певного закону, інтенсивності, частоти і асиметрії циклу. Умови експлуатації суттєво впливають на характеристики опору втомлюваного руйнування і це необхідно враховувати як при розробці матеріалів, так і при розрахунках на міцність.

*Аналіз останніх досліджень.* Вплив асиметрії циклу навантаження на границю витривалості як правило описують діаграмою граничних напружень циклу (діаграмою Сміта) або діаграмою граничних амплітуд циклу (діаграмою Хейя).

У першому випадку діаграма будується в координатах середнє напруження  $\sigma_m$  – максимальне напруження циклу  $\sigma_{max}$ , у другому – в координатах середнє напруження  $\sigma_m$  – амплітуда циклу  $\sigma_a$  за відомими коефіцієнтами асиметрії циклу і експериментально отриманими відповідними значеннями границі витривалості. Визначення коефіцієнта запасу міцності в таких випадках базується на апроксимації даних діаграм, вимагає значної втрати часу і відносно складно. При цьому складність пов'язана не з самим виводом формули коефіцієнта запасу міцності, а із аналізом зон діаграми та її схематизацією.

*Формулювання цілей статті.* Метою дослідження було визначення коефіцієнта запасу міцності при циклічному навантаженні для вуглецевих сталей.

*Основна частина.* Якщо відмовитись від традиційного використання діаграми граничних напружень або амплітуд і перейти до діаграми граничних напружень в координатах коефіцієнт асиметрії  $R$  – максимальне напруження циклу  $\sigma_{max} = \sigma_R$ , можна отримати аналогічний результат, але простішим і наглядним способом.

Після випробувань серії зразків при різних значеннях коефіцієнта асиметрії циклу  $R$  згідно отриманих кривих Веллера і відповідних значень границь витривалості  $\sigma_{-1}$ ,  $\sigma_{-0,5}$ ,  $\sigma_0$  ... (рис. 1, а) побудуємо криву  $\sigma_R = f(R)$ , вид якої показаний на рис. 1, б. Практично для вуглецевих сталей ця крива при нормальних умовах середовища майже не відрізняється від прямої. Тому в подальших розрахунках діаграму будемо вважати прямолінійною. Для легованих сталей кривизна діаграми значно відчутніша, але в першому наближенні її також можна рахувати прямолінійною.

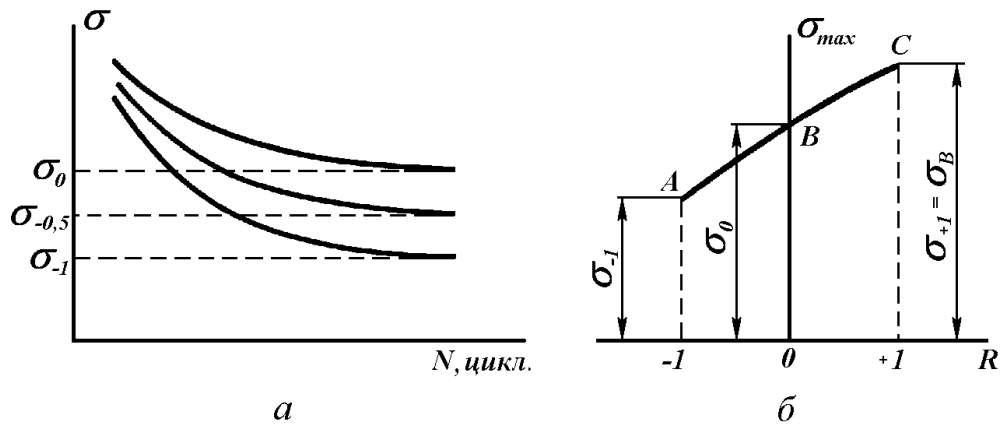


Рис. 1. Побудова діаграми  $\sigma_R = f(R)$ .

Треба відмітити, що значення точки  $C$  на цій діаграмі відповідає границі міцності, отриманої при статичних випробуваннях. При деяких значеннях коефіцієнта асиметрії циклу навантаження границя витривалості може бути більша границі текучості. Для таких циклів відповідно коефіцієнт запасу опору малим пластичним деформаціям  $n_T$  (по відношенню до границі текучості  $\sigma_T$ ) буде меншим, ніж коефіцієнт запасу втомлювальної міцності  $n$  (по відношенню до границі витривалості  $\sigma_R$ ).

Обмежимо цикли із  $\sigma_R > \sigma_T$  горизонтальною прямою. Для вуглецевих сталей із  $\sigma_0 > \sigma_T$  діаграма має вигляд на рис.2.

За даними [4, 5] можна рахувати, що перетин лінії граничних напружень і лінії границі текучості тут спостерігається при  $R = -0,4$ .

При цьому коефіцієнт запасу міцності являє собою відношення максимального напруження граничного циклу, тобто границі витривалості до максимального напруження робочого циклу:

$$n = \frac{\sigma_{max}^{zp}}{\sigma_{max}} = \frac{\sigma_R}{\sigma_m + \sigma_a}, \quad (1)$$

де вплив експлуатаційних факторів поки не враховані.

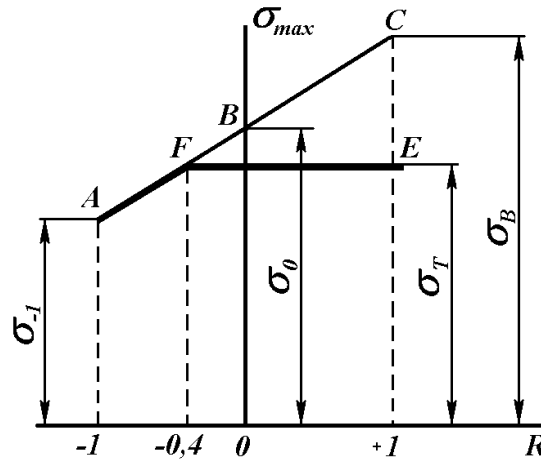


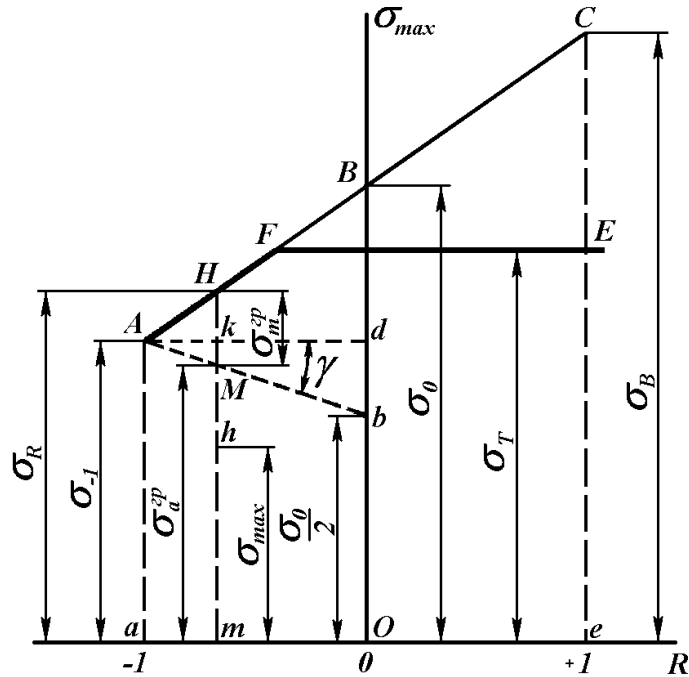
Рис. 2. Діаграма  $\sigma_R = f(R)$  для вуглецевих сталей.

Позначимо на діаграмі точкою  $h$  робочий цикл, для якого визначається коефіцієнт запасу міцності, а точкою  $H$  - відповідний граничний цикл (рис. 3). Як правило розрахунок проводиться із умови подібності робочого і граничного циклів (при однакових значеннях коефіцієнта циклу навантаження  $R$ ).

Тоді коефіцієнт запасу міцності буде дорівнювати відношенню відрізків даної діаграми:

$$n = \frac{mH}{mh}. \quad (2)$$

Для отримання формули Серенсена – Кінасошвілі, що визначає коефіцієнт запасу міцності в загальновідомій формі, зробимо наступні перетворення. Для зручності розрахунків прийемо, що відрізок  $ae$  осі абсцис діаграми дорівнює відрізку  $OB$  осі ординат і, відповідно, відрізки  $Oa = Ob = \frac{\sigma_0}{2}$ .

Рис. 3. Робочий і граничний цикл на діаграмі  $\sigma_R = f(R)$ .

Проведемо допоміжну пряму  $Ab$ , що відсікає на осі ординат відрізок  $Ob$ , який дорівнює  $\frac{\sigma_0}{2}$ .

Тоді

$$\operatorname{tg} \gamma = \frac{bd}{Ad} = \frac{\sigma_{-1} - \frac{\sigma_0}{2}}{\frac{\sigma_0}{2}} = \frac{2\sigma_{-1} - \sigma_0}{\sigma_0}. \quad (3)$$

Вираз (3) позначимо через  $\psi_\sigma$ , тобто

$$\psi_\sigma = \frac{2\sigma_{-1} - \sigma_0}{\sigma_0}. \quad (4)$$

Необхідність у перетворенні залежності (1) пов'язана з тим, що експериментальні данні величини  $\sigma_R$  не завжди відомі, але відомі величини  $\sigma_{-1}$  і  $\sigma_B$ . При цьому при лінійній залежності  $\sigma_R = f(R)$  величина  $\sigma_0$  дорівнює

$$\sigma_0 = \frac{\sigma_{-1} + \sigma_B}{2}. \quad (5)$$

Пряма  $Ab$  ділить любую ординату, в тому числі і  $mH$ , на відрізки, які дорівнюють амплітуді і середньому напруженню граничного циклу (рис.3).

Тоді

$$n = \frac{\sigma_{max}^{zp}}{\sigma_{max}} = \frac{\sigma_m^{zp} + \sigma_a^{zp}}{\sigma_m + \sigma_a}. \quad (6)$$

При подібності робочого і граничного циклів

$$n = \frac{\sigma_m^{zp}}{\sigma_m} = \frac{\sigma_a^{zp}}{\sigma_a}. \quad (7)$$

Із діаграми (рис.3)  $Ak = HM$ , тобто

$$\sigma_a^{zp} = \sigma_{-1} - \sigma_m^{zp} \psi_\sigma = \sigma_{-1} - \sigma_m n \psi_\sigma. \quad (8)$$

Відповідно цьому

$$n = \frac{\sigma_m n + \sigma_{-1} - \sigma_m n \psi_\sigma}{\sigma_m + \sigma_a}, \quad (9)$$

звідки після елементарних перетворень

$$n = \frac{\sigma_{-1}}{\sigma_a + \psi_a \sigma_m}, \quad (10)$$

Із врахуванням впливу концентрації напружень, масштабного ефекту і якості обробки поверхні вираз (10) має вигляд

$$n = \frac{\sigma_{-1}}{K_{\sigma D} \sigma_a + \psi_a \sigma_m}, \quad (11)$$

де  $K_{\sigma D}$  – загальний коефіцієнт зниження границі витривалості при симетричному циклі.

Для вуглецевих сталей  $\sigma_{-1} \approx 0,43 \sigma_B$  і в даному випадку

$$\sigma_0 = \frac{\sigma_{-1} + \sigma_B}{2} \approx 0,715 \sigma_B = 0,715 \frac{\sigma_{-1}}{0,43} \approx 1,66 \sigma_{-1}, \quad (12)$$

$$\psi_\sigma = \frac{2\sigma_{-1} - 1,66 \sigma_{-1}}{1,66 \sigma_{-1}} \approx 0,2. \quad (13)$$

Більш точні значення  $\psi_\sigma$  містяться в довідковій літературі.

*Висновки.* Використання діаграми граничних напружень в координатах коефіцієнт асиметрії  $R$  – максимальне напруження циклу  $\sigma_{max} = \sigma_R$  замість діаграми граничних напружень циклу (діаграми Сміта) або діаграми граничних амплітуд циклу (діаграми Хейя) дає наглядне і просте рішення задачі визначення коефіцієнта запасу міцності при циклічному навантаженні порівняно з традиційним способом. Даний метод найбільш придатний для дослідження вуглецевих сталей.

## Література

1. *Биргер И.А.* Сопротивление материалов./ *И.А.Биргер, Р.Р. Мавлютов* – М.: Наука, 1986. – 560 с.
2. *Ицкович Г.М.* Сопротивление материалов./ *Г.М. Ицкович* – М.: Высшая школа, 1970. – 520 с.
3. *Коцаньда С.* Усталостное разрушение металлов./ *С. Коцаньда* – М.: Металлургия, 1976. – 453 с.
4. *Серенсен С.В.* Несущая способность и расчет деталей машин на прочность./ *С.В.Серенсен, В.П. Козаев, Р.М. Шнейдерович* – М.: Машгиз, 1976.– 286 с.
5. *Троценко В.Т.* Сопротивление усталости металлов и сплавов. / *В.Т.Троценко, Л.А. Сосновский* – К.: Наукова думка, 1987, т.1. – 510 с.

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЗАПАСА ПРОЧНОСТИ ДЛЯ  
УГЛЕРОДИСТЫХ СТАЛЕЙ ПРИ ЦИКЛИЧЕСКОМ  
НАГРУЖЕНИИ**

О.Н. Черныш

*Аннотация* - для углеродистых сталей разработан метод определения коэффициента запаса прочности при циклическом нагружении с применением диаграммы предельных напряжений в координатах коэффициент асимметрии  $R$  – максимальное напряжение цикла  $\sigma_{max} = \sigma_R$ .

**MARGIN SAFETY COEFFICIENT DETERMINATION AT  
CYCLIC LOADING**

O. Chernysh

*Summary*

Margin safety coefficient determination method is resulted at cyclic loading using maximum tensions diagram in the frame asymmetry coefficient  $R$  – cycle maximal tension  $\sigma_{max} = \sigma_R$ .