UNIVERZA V LJUBLJANI

Fakulteta za strojništvo

OBRATOVALNA TRDNOST

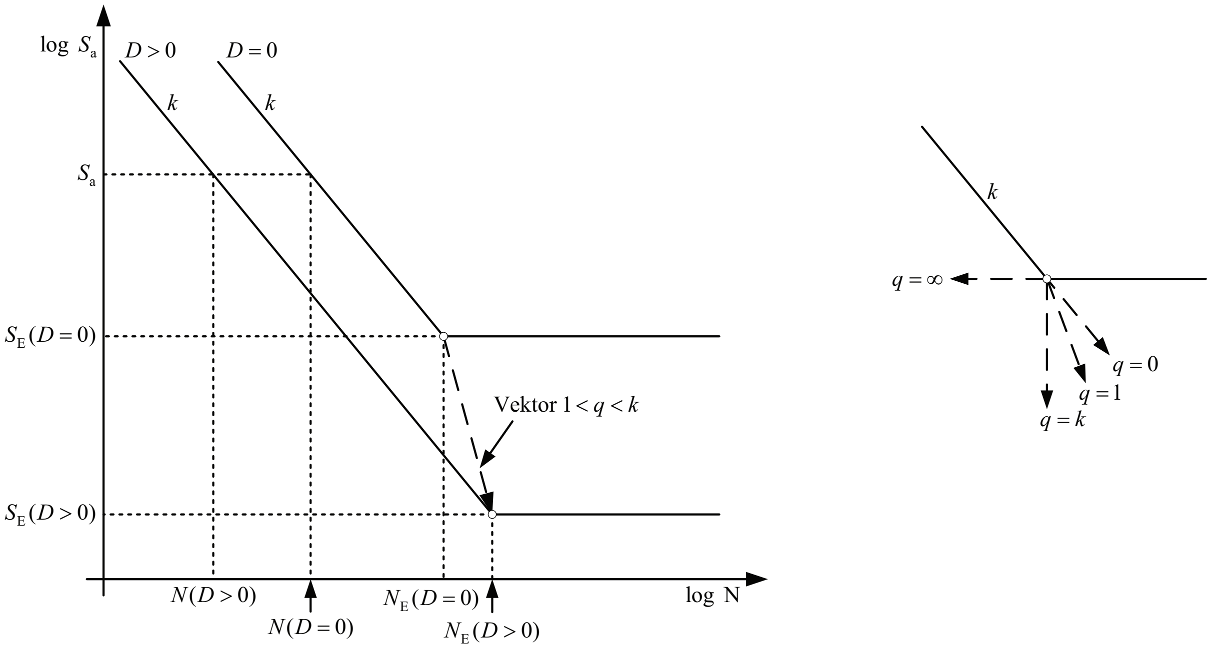
Predloge k predavanjem

3. del

prof. dr. Marko Nagode, Mitja Franko

Ljubljana, 2014

1 Haibachovo pravilo o linearni akumulaciji poškodbe



Slika 1: Wöhlerjeva krivulja za poškodovani $(D > 0)$ *in nepoškodovani* $(D = 0)$ *preizkušanec*

Če je naklonski kot Wöhlerjeve krivulje k znan, je iz

$$\log N(D = 0) = a - k \cdot \log(S_a) \tag{1}$$

ob upoštevanju robnih pogojev razvidnih iz Sl.1 mogoče izpeljati enačbi za nepoškodovani $(D = 0)$ in poškodovani $(D = 0)$ preizkušanec.

$$N(D = 0) = N_E(D = 0)\left(\frac{S_a}{S_E(D = 0)}\right)^{-k} \tag{2}$$

$$N(D > 0) = N_E(D > 0)\left(\frac{S_a}{S_E(D > 0)}\right)^{-k} \tag{3}$$

V primerjavi s številom ciklov nepoškodovanega preizkušanca $D = 0$ je število ciklov predhodno poškodovanega preizkušanca $D > 0$ zmanjšano za funkcijo poškodbe D (4).

$$N(D > 0) = (1 - D) \cdot N(D = 0) \tag{4}$$

Haibach je dokazal, da je vpliv poškodbe na trajno dinamično trdnost mogoče izraziti kot

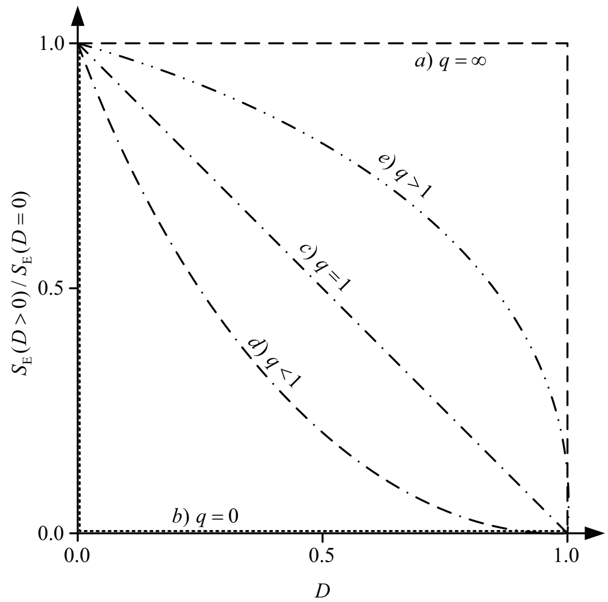
$$\frac{S_E(D > 0)}{S_E(D = 0)} = (1 - D)^{1/q} \tag{5}$$

kjer je vpliv parametra q razviden iz Sl.2. Z ustrezno izbiro parametra q (Sl.3) je lahko vpliv poškodbe na trajno dinamično trdnost enak originalnemu Minerjevemu pravilu

($q = \infty$; linija a)), elementarnemu Minerjevemu pravilu ($q = 0$; linija b)), vpliv pa je lahko tudi linearen ($q = 1$; linija c)), degrasiven ($q < 1$; linija d)) ali progresiven ($q > 1$; linija e)). Pripadajoče število obremenitvenih ciklov do kritične poškodbe $N_E(D > 0)$ je mogoče izpeljati iz (3), če upoštevamo naslednje: enačbo (5), $N(D > 0) = (1 - D) \cdot N_E(D = 0)$ in $S_a = S_E(D = 0)$.

$$N_E(D > 0) \quad = \quad N_E(D = 0)(1 - D)^{1-k/q} \tag{6}$$

$$N_E(D > 0) \quad = \quad N_E(D = 0)\left(\frac{S_E(D > 0)}{S_E(D = 0)}\right)^{-(k-q)} \tag{7}$$



Slika 2: Vpliv poškodbe na trajno dinamično trdnost

Trajna dinamična trdnost z naraščanjem poškodbe postopno pada. Obremenitveni cikli (glej Sl.3) pod $S_E(D = 0)$ ne prispevajo k rasti poškodbe v celoti. Na povečanje poškodbe vplivajo le tisti cikli, ki se zgodijo, ko trajna dinamična trdnost poškodovanega preizkušanca $S_E(D > 0)$ doseže ali pade pod amplitudo obremenitve S_a.

Pri popolnoma naključnih obremenitvenih ciklih $S_{ai} < S_E(D = 0)$ se cikli n_i v povprečju približno enakomerno porazdelijo skozi celotno dobo trajanja preizkušanca, oziroma za posamezen obremenitveni cikel S_{ai} v celotni dobi trajanja preizkušanca velja enakomerna porazdelitev verjetnosti. Na poškodbo tako vpliva le $(1 - D_i)$-kratnik dobe trajanja preizkušanca. Zaključiti je mogoče, da se prispevek poškodbe obremenitvenih ciklov pod mejo trajne dinamične trdnosti ne določi na podlagi polnega števila ciklov n_i, ampak na podlagi korigiranega števila ciklov $h_i = n_i(1 - D_i)$.

$$D_i = \begin{cases} \frac{n_i}{N(D=0)} & S_{ai} \geq S_E(D=0) \\ \frac{n_i(1-D)}{N(D=0)} & S_{ai} < S_E(D=0) \end{cases} \tag{8}$$

V področju pod trajno dinamično trdnostjo za $D = 0$ vpeljemo fiktivno število ciklov do kritične poškodbe

$$N_f = \frac{N(D=0)}{1-D} \tag{9}$$

ter število ciklov $N(D = 0)$ nadomestimo z (2). Odtod sledi

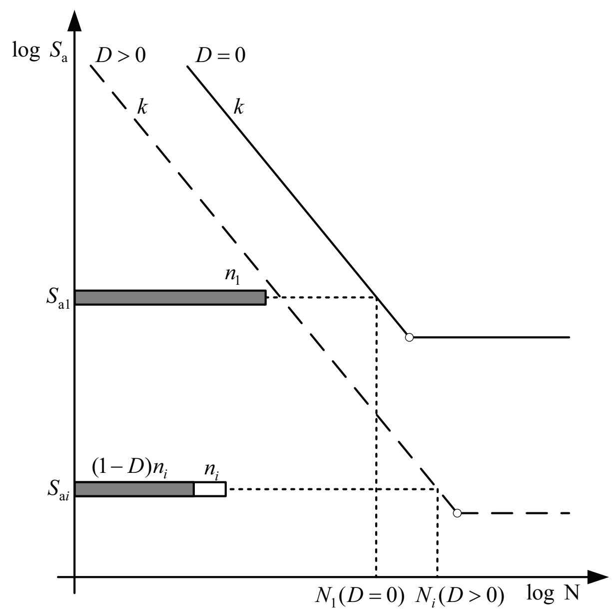
$$N_f = \frac{1}{1-D} N_E(D=0)\Big(\frac{S_a}{S_E(D=0)}\Big)^{-k} \tag{10}$$

Ob upoštevanju (5) lahko zapišemo

$$N_f = \Big(\frac{S_E(D>0)}{S_E(D=0)}\Big)^{-q} N_E(D=0)\Big(\frac{S_a}{S_E(D=0)}\Big)^{-k} \tag{11}$$

Enačbi (2) in (11) imata skupno točko E za $D = 0$, za katero velja, $N_f = N_E(D = 0)$ in $S_a = S_E(D = 0) = S_E(D > 0)$. Odtod sledi

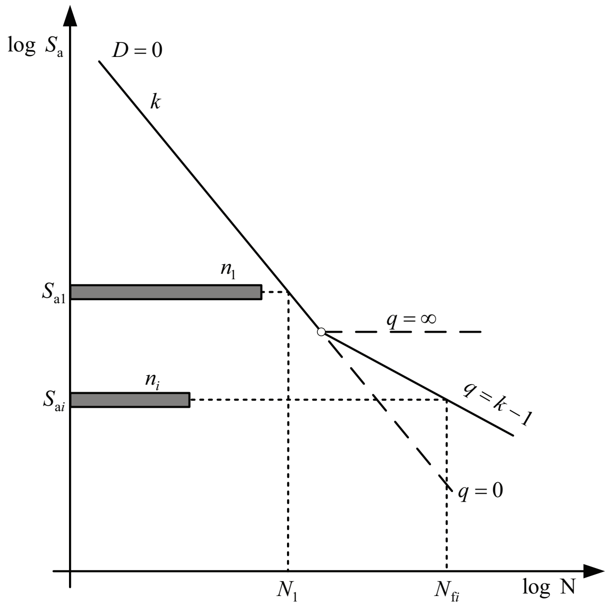
$$N_f = N_E(D=0)\Big(\frac{S_a}{S_E(D=0)}\Big)^{-(k+q)} \tag{12}$$



Slika 3: Vpliv amplitude ciklov na poškodbo nad in pod $S_E(D = 0)$

Če je koeficient $q = 0$, potem (12) ustreza elementarni obliki Minerjevega pravila, če je koeficient $q = \infty$, potem (12) ustreza originalni obliki Minerjevega pravila, za ostale vrednosti q pa (12) ustreza Haibachovemu pravilu o linearni akumulaciji poškodbe (Sl.4). Gatts je za q predlagal $q = k - 1$.

$$N_f = N_E(D=0)\Big(\frac{S_a}{S_E(D=0)}\Big)^{-(2k-1)} \tag{13}$$



Slika 4: Haibachovo pravilo o linearni akumulaciji poškodb