

## HODNOCENÍ VÝSLEDKŮ ZKOUŠEK NÍZKOCYKLOVÉ ÚNAVY OCELI ČSN 11 455

Josef Kučera, Ivan Talpa, Hynek Brázda  
Výzkumný ústav hutnictví železa Dobrá

Důležitým parametrem pro návrh ocelových konstrukcí je odolnost materiálů proti únavovému poškození. Základním předpokladem pro výpočet je znalost výpočtových hodnot. U konstrukcí navrhovaných ze svařitelných konstrukčních ocelí jsou tyto hodnoty uváděny většinou pro určitou tavbu a mohou se značně lišit od hodnot dosahovaných u materiálu skutečně použité tavby. Proto bylo v uplynulém období provedeno ve VÚHŽ Dobrá zjišťování parametrů životnosti v podmínkách nízkocyklové únavy u vybraných svařitelných konstrukčních ocelí.

Jako příklad celého postupu zkoušek, tzn. odběru materiálu, vlastního provedení zkoušek a hodnocení výsledků je uvedeno hodnocení pro materiál ČSN 11 455. Zkušební vzorky byly vyrobeny z tlustých plechů tloušťky 30 mm ze 4 taveb a odběr byl proveden vždy z hlavy a paty ingotu. Zkoušky byly realizovány na zkušebním stroji MTS 500 kN řízeném procesorem PDP 11 při teplotě okolí a konstantním rozkmitu deformace.

Hodnocení jednotlivých zkoušek bylo potom prováděno následujícím způsobem. Jako směrodatné hodnoty napětí a deformace u každého vzorku byly vzaty interpolované veličiny odpovídající hysterezní smyčce v polovině životnosti. Rozkmit elastické deformace byl vypočten jako podíl naměřeného rozkmitu napětí a středního modulu pružnosti v tahu  $2 \cdot 10^5$  MPa. Rozkmit plastické deformace byl potom vypočten jako rozdíl rozkmitu celkové deformace a vypočtené deformace elastické.

Další postup využíval známé empirické vztahy popisující křivky životnosti  $\epsilon_{ac} = \epsilon_{ae} + \epsilon_{ap} = \frac{\sigma_f'}{E} (2N_f)^b + \epsilon_f (2N_f)^c$   
a cyklický diagram  $\sigma_a = k \cdot \epsilon_{ap}^n$ .

Pro praktické použití uvedených vztahů se provádí logaritmická transformace převádějící tyto vztahy do lineární závislosti. Při zpracování výsledků jsme nejdříve provedli logaritmickou transformaci naměřených hodnot a v této transformaci metodou lineární regrese určili jednotlivé koeficienty. Zjištěné regresní koeficienty vykazují velmi dobrou shodu naměřených hodnot s teoretickými závislostmi.

Křivky získané tímto způsobem nám udávají hodnoty pro 50% pravděpodobnou životnost. Při praktickém použití nás zajímá počet cyklů, které konstrukce vydrží s menší pravděpodobností porušení než je 50%. Proto jsme přistoupili k statistickému hodnocení výsledků, při kterém jsme vyšli z předpokladu, že aritmetické odchylky  $\Delta \log(\epsilon_{ac})$  a  $\Delta \log(\epsilon_a)$  od regresních křivek vyhovují Gaussovu normálnímu rozdělení. Tento předpoklad jsme ověřovali Kolmogorovým-Smirnovovým testem pro hladinu významnosti 0,05.

Postup statistického zpracování popíšeme pro případ závislosti  $\log(2N_f) - \log(\epsilon_{ac})$ . Pro každou dvojici naměřených hodnot jsme vypočetli odchylku  $\Delta \log(\epsilon_{ac})$  od regresní křivky v bodě  $\log(2N_f)$ . Takto utvořený soubor jsme uspořádali vzestupně a každé hodnotě přiřadili kumulativní četnost  $P_1$  dle vztahu

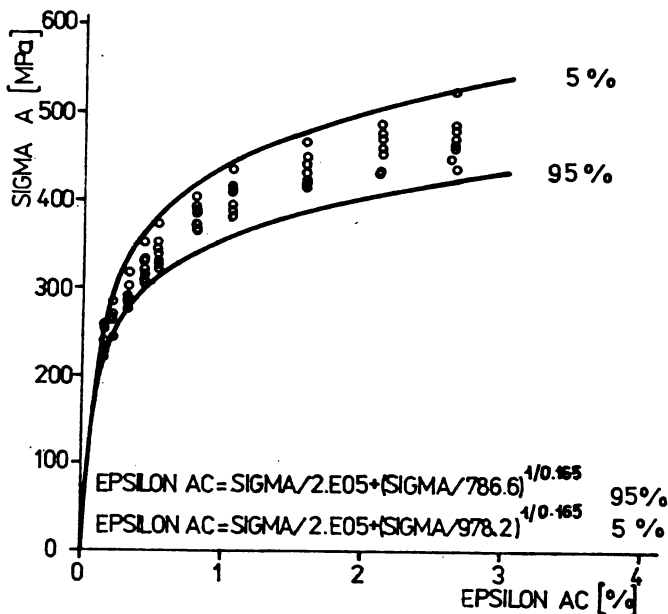
$$P_1 = \frac{i - 3/8}{n + 1/4}$$

kde  $i$  je pořadí hodnoty v uspořádaném souboru a  $n$  je celkový počet hodnot. Kolmogorovův-Smirnovův test jsme provedli grafickou metodou na pravděpodobnostním papíru, jak vidíme na obr. 3. Vynesenými body byla proložena přímka a zakresleny meze, které určují pro případ bodů ležících uvnitř, že příslušný soubor je s nejistotou 5% normálně rozdělen. Pro relativní kumulativní četnosti 0,05 a 0,95 jsme odečetli příslušné hodnoty odchylek  $\Delta \log(\epsilon_{ac})$  a vypočetli příslušné koeficienty pro pravděpodobnost 5% a 95%. Postup pro zpracování cyklického diagramu je shodný.

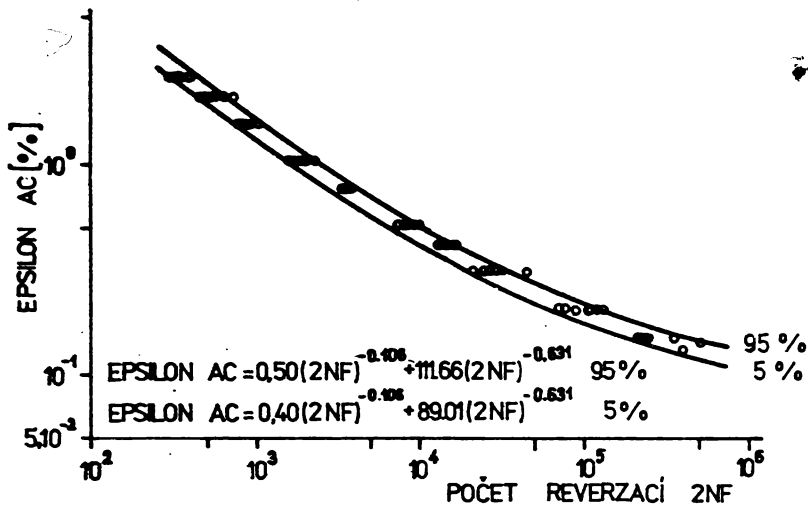
Souhrnné výsledky pro materiál ČSN 11 455 jsou uvedeny graficky. Obr. 2 zobrazuje křivky celkové životnosti a obr. 1

cyklický diagram pro celý soubor. Praktická interpretace výsledků je následující. Jakákoliv další naměřená hodnota bude mezi vyznačenými mezemi ležet s pravděpodobností 90%. Křivka pro pravděpodobnost 5% určuje, že každá další naměřená hodnota bude (co do počtu reverzací) nižší s pravděpodobností pouze 5%. Tímto postupem je možno stanovit meze životnosti pro libovolnou pravděpodobnost.

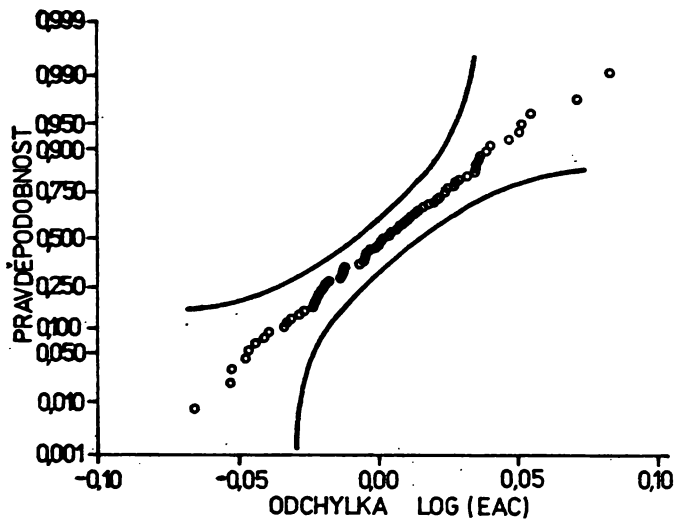
Jak plyne z výše uvedeného textu, parametry ocelí získané na větším počtu taveb a z různých míst dobře reprezentují daný materiál. Statisticky zpracované výsledky je možno aplikovat ve výpočtářské praxi. Výsledky umožňují stanovit, při únosném riziku poruchy, počet reverzací do vzniku trhliny v ostrých koncentrátorech napětí a také počet cyklů do lomu částí, namáhaných při konstantním rozkmitu deformace.



obr. 1 Celkový cyklický diagram materiálu ČSN 11 455 pro hladiny pravděpodobnosti 5% a 95%.



obr. 2 Celkové křivky životnosti materiálu ČSN 11 455 pro pravděpodobnost 5% a 95%.



obr. 3 Odchylky celkové deformace v pravděpodobnostním papíru.