

Rudolf J a n d a, Václav M e n t l, Slavo j K a p i t á n
ÚVZÚ Škoda Plzeň

PEVNOST ČOČKOVÝCH KOMPENZÁTORŮ PŘI OPAKOVANÉM NAMÁHÁNÍ ZA VYSOKÝCH TEPLOT

Nejrozšířenějšími konstrukčními elementy používanými pro kompenzaci teplotních dilatací parovodů velkých průměrů jsou čočkové kompenzátory, jejichž potřeba v posledním období výrazně vzrůstá. Pracovní podmínky kompenzátorů (opakované plastické deformace, vysoká teplota, popř. agresivní prostředí) jsou natolik komplikované, že obvykle prováděné výpočty na statickou pevnost nejsou dostatečnou zárukou provozní spolehlivosti těchto součástí. Většina kompenzátorů pracuje v režimu opakovaného zatěžování, přičemž místní opakované plastické deformace 0,5 - 1%, které se u nich připouští, nejsou z hlediska statické pevnosti nebezpečné, ale mohou způsobit porušení za několik tisíc nebo dokonce jen stovek cyklů. Tento počet cyklů odpovídá např. počtu spuštění energetických nebo technologických zařízení, jejichž součástí parovody s kompenzátory jsou. Z toho vyplývá, že návrh přípustných deformací takovýchto kompenzátorů musí vycházet především z hodnocení jejich spolehlivosti z hlediska malocyklové únavy.

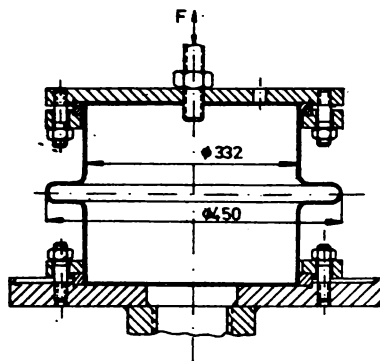
Vypracování přesné metody pevnostního výpočtu kompenzátorů s uvažováním cyklického zatěžování nad mezí kluzu, teplotními a časovými faktory je i při současném stavu výpočetní techniky velmi náročné. Z toho vyplývá aktuálnost vypracování jednoduché a dostatečně spolehlivé metody určení životnosti kompenzátorů použitelné pro inženýrské výpočty. Nemožnost přepočtu parametrů malocyklové únavy, zjištěných na jednoduchých zkušebních tělesech, si tak vynutila zkoušet přímo hotové kompenzátory.

Místo sledování jejich životnosti v závislosti na velikosti lokální plastické deformace byla experimentálně stanovena prakticky použitelná závislost počtu cyklů do

lomu N na celkové osové deformaci kompenzátorů Δ ve tvaru $N = f(\Delta)$. Kompenzátory se ve většině případů vyrábí z cyklicky stabilních materiálů a lze tedy předpokládat, že tato závislost bude analogická Coffinově vztahu

$$\epsilon_{pl} \cdot N^{\infty} = \text{konst.}$$

Zkoušky byly provedeny na šesti modelech kompenzátorů, viz obr.1, které byly zatěžovány při teplotě 600°C míjivým tlakem konstantní amplitudou deformace, frekvencí 0,1-0,25Hz.

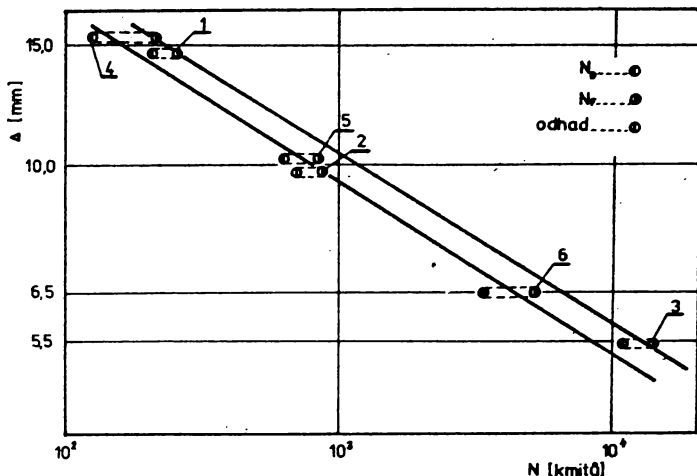


Obr.1. Schema upnutí kompenzátoru v zátěžném stroji

Zkoušky byly provedeny ve zkušebním stroji Instron 1117, 500 kN, ve speciálním upínacím přípravku, který umožňoval ohřev a izolaci modelů a pozorování exponovaných míst po celém obvodu kompenzátoru. Za okamžik porušení kompenzátoru bylo považováno objevení první trhliny délky 5 mm. Zkouška pokračovala do vzniku další trhliny (anebo rozšíření původní) ve vzdálenosti alespoň 30° .

Zkušební kompenzátory byly vyrobeny z oceli 12CH18N10T ($R_m = 720 \text{ MPa}$, $R_{p0,2} = 370 \text{ MPa}$, $A = 35\%$). Ke snížení vnitřních pnutí po lisování a svaření byly kompenzátory žíhány podle režimu: $870^{\circ}\text{C}/10\text{hod/pec}$. Kvalita všech svarů byla kontrolována prozářením rtg.

Získané výsledky jsou grafickou formou závislosti počtu cyklů na celkové osové deformaci uvedeny na obr.2. Počet cyklů N_0 odpovídá délce trhliny 5 mm, N_f počtu cyklů do vzniku další trhliny, jak bylo uvedeno výše.



Obr.2. Závislost počtu cyklů do porušení na celkové osové deformaci kompenzátorů

Z diagramu je zřejmé, že experimentální body vyhovují vztahu

$$\Delta \cdot N^n = M,$$

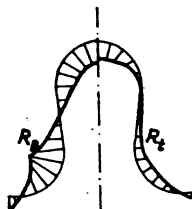
přičemž konstanty n a M nabývají v našem případě následujících hodnot: $n_o = 0,2496$, $M_o = 52,23$

$$n_f = 0,2503, \quad M_f = 56,59.$$

U všech zkoušených kompenzátorů se únavové trhliny iniciovaly v přechodu válcové části do vlny kompenzátoru, a to konkrétně v TOZ svaru na straně vlny v obvodovém směru. V jednom případě byly trhliny nalezeny ve vzdálenosti 3 - 5 mm od svaru směrem k vlně, elektronová mikroskopie však v tomto případě prokázala v oblasti dolomení silně vyřádkované karbidy (v ostatních případech jemně rozptýlené ve struktuře bez zvýraznění hranic zrn), které jsou pravděpodobně příčinou vzniku trhlín v těchto místech. Obecně se únavové trhliny šířily prakticky současně z vnějšího i vnitřního povrchu, ve středu tloušťky stěny zůstal úzký pás náhlého dolomení. Přestože únavový proces probíhal za relativně vysoké teploty, na povrchu únavových trhlín

bylo patrné typické únavové pásování. Únavové brázdy (striace) byly zvláště zřetelné v oblastech přechodu únavového lomu do pásma dolomení.

Metalografické hodnocení prokázalo austenitickou strukturu s lehce leptatelnými hranicemi. V oblasti přechodu svar - základní materiál bylo nalezeno zhrubnutí základní struktury na stupeň 6, základní materiál prokázal velikost zrna 10 (podle ČSN).



Obr.3. Průběh napětí podél vlny kompenzátoru

Na obr.3 je nakreslen průběh osového a tečného napětí podél vlny kompenzátoru při zatížení geometricky podobného případu v elastické oblasti při osovém stlačení /1/.

Z uvedeného průběhu je patrné, že místa iniciace únavových trhlin se nachází v oblasti nejvyšších hodnot napětí.

Na základě získaných výsledků je možno formulovat následující závěry:

1. Při opakovaném osovém stlačování kompenzátorů dochází k iniciaci únavových trhlin v místech maximálního napětí, a to v přechodu válcové části do vlny. Iniciaci podporuje zkřehnutí základního materiálu v TOZ svaru.
2. U kompenzátorů z oceli 12CH18N10T (a pravděpodobně i pro jiné cyklicky stabilní materiály) je možné pro odhad životnosti využít závislost počtu cyklů na celkové deformaci.
3. Dále je možno vyslovit předpoklad, že u mnoha cyklicky namáhaných složitých konstrukčních dílů v pružně-plastické oblasti lze nalézt podobnou jednoduše experimentálně stanovenou závislost, založenou na využití integrálních deformačních charakteristik, což není tak obtížné jako určení napětíového a deformačního pole a jeho porovnání s parametry stanovenými na jednoduchých zkušebních tělesech.