

METODIKY ODHADU TECHNICKÉ DOBY ŽIVOTA TRUBEK PARNÍCH  
GENERÁTORŮ S UVÁŽENÍM VLIVU KOROZNÍHO PROSTŘEDÍ

Ing. Jindřich M a c h e k ,  
Ing. František J a r o š, CSc.  
SVÚSS Praha

V referátu je uvažován vliv korozního prostředí horké tlakové vody sekundárního okruhu jaderných elektráren s rychlými reaktory na životnost teplosměnných trubek výparníku parního generátoru sodík-voda v oblasti krize varu vody druhého druhu. Je diskutována jednak problematika korozní únavy materiálu trubek, jednak problematika šíření malých technologických defektů v korozním prostředí

1. Úvod

Poměrně dlouhodobé zkušenosti z provozu jaderných elektráren s tlakovodními a varnými reaktory /4/ a první zkušenosti z provozu elektráren s rychlými reaktory ukazují, že problematika korozního napadení teplosměnných trubek parních generátorů rychlých reaktorů (PGRR) je velmi závažná a její řešení je vysoce aktuální. Ve SVÚSS je proto těmto otázkám věnována již řadu let značná pozornost /1/. Ve spolupráci s VÚEZ Brno a FEI Obninsk byly vyvinuty dvě metodiky odhadu životnosti trubek výparníku PG sodík-voda. První je založena na přístupu safe-life a výpočet vychází ze znalosti korozně-únavové křivky materiálu trubky. Druhá metodika je založena na přístupu fail-safe. Za předpokladu existence počátečního technologického defektu se životnost určuje integrací rychlosti šíření od počáteční do kritické velikosti.

Vzhledem k omezenému rozsahu referátu vynecháme popis metodik (viz /1/) a zaměříme se na způsob ovlivnění procesu únavy materiálu korozním prostředím vodního okruhu PG.

## 2. Teplosměnné trubky

Za kritické místo teplosměnných trubek PG RR se považuje jejich vnitřní povrch v oblasti výparníku. V důsledku krize varu vody 2. druhu zde vznikají teplotní a v důsledku toho i napěťové fluktuační, které za určitých provozních parametrů mohou vyvolat proces korozní únavy materiálu, resp. vést k šíření defektů ve stěně trubky a tím vyčerpat technickou dobu života dříve, než je to ekonomicky únosné.

Pro výparník PG RR se předpokládá použití trubek malých rozměrů (např. 16/2,5 mm) z oceli typu 2 1/4 Cr 1 Mo (sovětská ocel 1KH2M, ČSN 15 313). Tento materiál vykazuje v prostředí vodního okruhu dobrou odolnost vůči rovnoměrné korozi i vůči koroznímu praskání pod napětím. Nebezpečné korozní napadení vzniká pod vrstvami usazenin. V /2/ se např. uvádí alarmující údaj o tom, že již po cca 12 000 hodinách provozu byla ve výparníku PG typu BN-600 pozorována vrstva usazenin o síle až 1 mm, pod kterou se objevil pitting až do hloubky 350 um.

## 3. Korozní úrava

Úrava materiálu v korozním prostředí má svá význačná a dosud ne zcela objasněná specifika. Křivka životnosti (Manson-Coffinova a Wöhlerova křivka) je v závislosti na agresivitě prostředí a odolnosti materiálu snížena až na cca 50 % původních hodnot zatížení. Na křivce životnosti nelze definovat oblast trvalé pevnosti a křivka je buď plynule klesající nebo v oblasti  $10^6 - 10^8$  kmitů zmenšuje svůj sklon. Protože křivky životnosti materiálu 2 1/4 Cr 1 Mo v korozním prostředí vodní strany PG RR nejsou u nás zatím dostupné, uvádíme na obr. 1 analogickou křivku pro nerezavějící ocel AISI 316 L.

Konkrétní tvar křivky životnosti je výrazně ovlivňován zejména těmito faktory:

### A. Zatížení

Z charakteristik zatížení hraje důležitou roli

frekvence, asymetrie, druh (tvrdé - měkké) a při velmi nízké frekvenci i tvar kmitu (poměr mezi dobou s maximálním a minimálním zatížením). Zejména frekvenční ovlivnění v souvislosti s dobou působení korozní prostředí je značné. Zkoušky korozní únavy se proto provádějí s frekvencí zatížení pod 1 Hz a často i s frekvencí výrazně nižší.

#### B. Prostředí

Omezíme-li se na prostředí vodní strany PG RR, hrají zde důležitou roli teplota (a velikost tepelného toku), pH, obsah příměsí a skupenství. Z hlediska skupenství se jako nejagresivnější prostředí jeví oblasti, kde se střídá voda a pára (zejména výparník). Z příměsí ve vodě hraje škodlivou roli zejména obsah  $O_2$ , iontů  $Cl^-$ ,  $Na^+$  a  $Cu^{2+}$ . Z hlediska tvorby úsad je velmi důležitá i celková tvrdost, kterou je v daném případě třeba minimalizovat.

#### 4. Šíření únavových trhlin v korozním prostředí

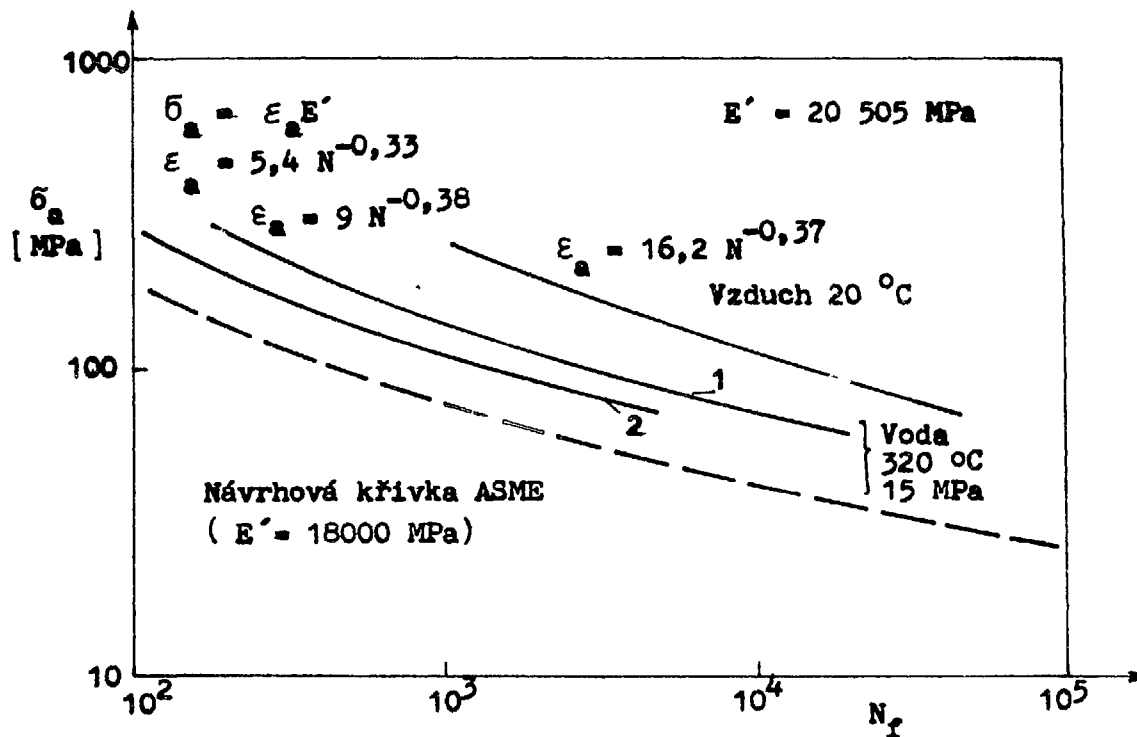
Podobně jako klasicky chápaný proces únavy materiálu má i šíření únavových defektů v korozním prostředí vodního okruhu PG RR svá specifika. V korozním prostředí obdobně jako mez únavy nelze spolehlivě definovat tzv. prahovou hodnotu faktoru intenzity zatížení. Na křivce rychlosti šíření únavových defektů se sice objevuje přelom v oblasti, která patrně vzhledem k nízkým frekvencím zatížení souvisí s hodnotou  $K_I$  SCC, avšak i pod bodem zlomu, při velmi nízkých zatíženích, se únavové trhliny pomalu šíří (viz obr. 2). Měření rychlosti šíření v těchto technicky důležitých oblastech zatížení je experimentálně velmi náročné. Navíc kromě již uvedených faktorů, ovlivňujících proces šíření únavových trhlin, je rychlost ovlivňována různými přechodovými jevy (včetně historie zatížení), jejichž podstata není dosud objasněna /3/.

## 5. Závěr

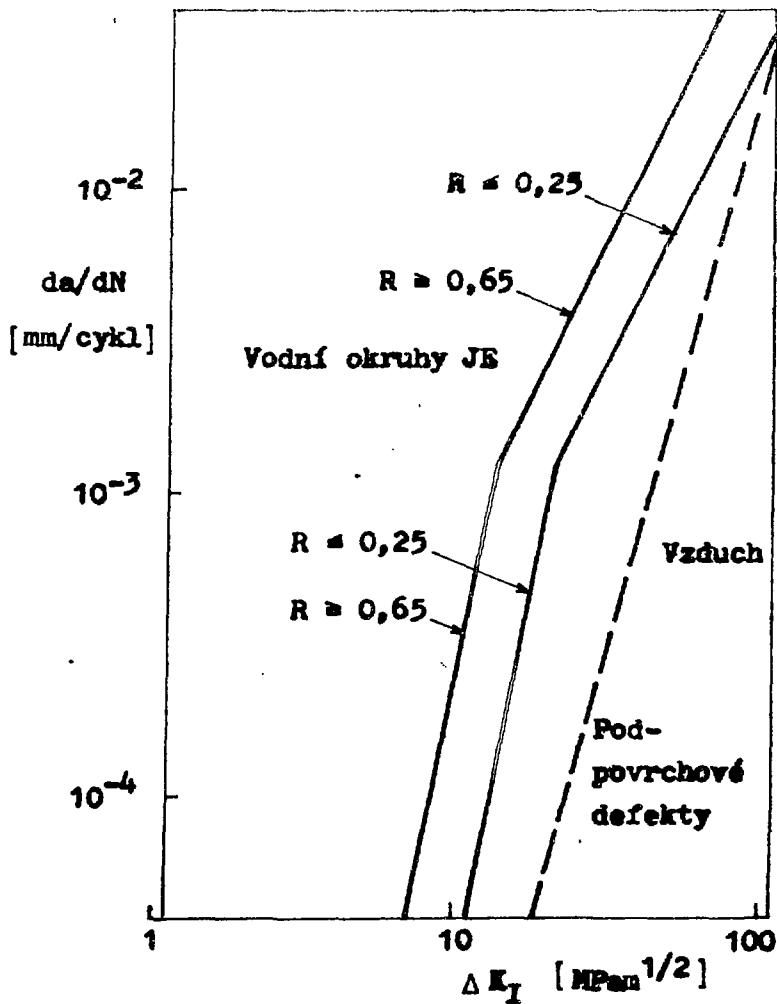
Z naznačené problematiky zřetelně vyplývá důležitost získání poznatků o únavových vlastnostech materiálu 2 1/4 Cr 1 Mo (a zejména trubek PG RR z něho zhotovených) při působení korozního prostředí. Tato skutečnost byla rovněž několikrát konstatována v zápisech o jednání sovětských a československých specialistů v rámci dvoustranné vědecko-technické spolupráce GKAE SSSR a ČSKAE na téma "Reaktory s rychlými neutrony a se sodíkovým teplosměnitелеm". Pro ČSSR, jako potencionálního dodavatele PG RR, se tak stává řešení těchto otázek velmi důležitým úkolem.

### Literatura

- /1/ Předběžná metodika výpočtu odhadu životnosti teplosměnných trubek průtláčného parního generátoru sodík-voda, výzkumná zpráva SVÚSS-80-02004 spolu s FEI Obninsk a VÚZES Brno
- /2/ Zima, G. E.: On the Corrosion Adequacy of the 2 1/4 Cr 1 Mo Steel for LMFBR Steam Generation System Service. Zpráva NUREG / CR-0808, Richland, květen, 1980
- /3/ Plant Materials Program Progress Report: June 1980 to May 1981. Special Report EPRI, Palo Alto, California, November 1981
- /4/ Valenta, J. - Machek, J. - Strachota, A.: Posouzení životnosti teplosměnných trubek pro parní generátory, výzkumná zpráva SVÚSS-82-02009



Obr. 1 Korozní únava oceli AISI 316 L v prostředí tlakovodních reaktorů ( 1 -  $\text{Cl}^- \leq 200\ \text{ppb}$ , 2 -  $\text{Cl}^- = 1450\ \text{ppb}$ )  
 Čárkovane vyznačena návrhová křivka ASME pro vysoko-  
 legované oceli



Obr. 2 Křivky rychlosti šíření únavových trhlin pro uhlíkové a nízkolegované oceli ve vodním prostředí (ASME Code, Sekce XI, 1980)