

**KONSTRUKČNÍ MATERIÁLY POUŽITÉ PRO PG BOR I
Z HLEDISKA KOROZNÍ ODOLNOSTI V KAPALNÉM SODÍKU
A ZBYTKOVÉ ŽIVOTNOSTI PO 40 000 HODINOVÉ EXPLOATACI**

Ing. Miroslav F r e s l , Ing. Boleslav
E r e m í á š , CSc., Ing. Jaroslav R o s y p a l ,
Ing. Adolf R o ž u m b e r s k ý
SVŮM Praha

Na celostátním semináři v Brně v roce 1977 byl přednesen referát [1], ve kterém byla uvedena informace o 10 000 hodinovém korozním experimentu konstrukčních materiálů, použitých pro výrobu PG BOR I. V předkládaném příspěvku bude tato informace rozšířena o výsledky, získané po 40 000 hodinové exploataci resp. po 35 715 hodinovém provozu tohoto parogenerátoru v Dimitrovgradu v SSSR.

1. Použité konstrukční materiály

Experimentální parogenerátor pro BOR I byl vyroben ze švédských materiálů firmy Sandvik chemického složení, uvedeného v tab. č. 1.

Tabulka č. 1: Chemické složení materiálů

Označení materiálu	Obsah prvků v hmotnostních %							
	C	Mn	Si	Cr	Mo	Ni	Nb	N
HT8X6	0,071	0,45	0,25	2,21	0,93	0,55	1,05	0,001
3R12	0,038	1,21	0,57	18,6	0,18	10,6	-	0,037
S 31	0,04	0,55	0,55	21,0	-	31,0	-	-

U vlásenek byl ve styku se sodíkem vnější povrch trubek, u ostatních povrch vnitřní.

2. Hmotnostní změny

V PG BOR I nebyly uloženy žádné vzorky pro sledování hmotnostních změn použitých konstrukčních materiálů. Je však k dispozici řada údajů z expozičních materiálů v konvekčních sodíkových smyčkách ve SVŮM. Za významné hodnoty lze považovat výsledky získané v průběhu 10 000

hodinového korozního experimentu při teplotě 550° C. Na obr. 1 jsou zachyceny hmotnostní změny v závislosti na poloze vzorků ve smyčce /dále LSE/. Naměřené hodnoty jsou uvedeny v odstavci 7.

3. Změny mechanických vlastností

Pro hodnocení mechanických vlastností byly použity dva rozdílné typy trhaček, což ovlivnilo mechanické vlastnosti a jejich změny v závislosti na čase.

Grafické znázornění jejich změn přesahuje rozsah přednášky, pro přehlednost je uvádíme alespoň formou tabulky.

Tabulka č. 2: Změny mechanických vlastností

Vzorek	Mat.	R_m /MPa/	$R_{p\ 0,2}$ /MPa/	A_5 /%/	Teplota /°C/	Doba expozice /h/
108	S31	43,95	164,2	40,0	-	neexp.
128	"-	671,1	228,65	37,2	420	17 000
126	"-	705,75	227,7	36,4	480	17 000
113	"-	673,85	230,35	37,2	420	40 000
108	"-	717,75	276,25	37,2	480	40 000
125	HT8X6	582,2	184,75	28,5	--	neexp.
123	"-	574,25	208,6	29,3	320	40 000
119	"-	598,8	234,5	24,5	410	40 000
120	HT8X6- sv.spoj	473,0	79,15 ^x	31,9	360	40 000
114	3R12- HT8X6 sv.spoj	548,6	83,95 ^x	40,8	415	40 000
103	3R12 sv.spoj	569,4	109,5 ^x	65,4	500	40 000
6	3R12	653,5	213,0	46,7 ^{xx}	450	40 000

- Hodnoty uvedené v tabulce jsou průměrem ze dvou měření
- x neobvyklý charakter diagramu, mez $R_{p\ 0,2}$ nejasná
- xx A_{10} /%/

4. Změny koncentrace uhlíku u konstrukčních materiálů ze strany sodíku

S cílem zjištění rozsahu nauhličení byl proveden odběr vzorků konstrukčních materiálů po 25 μm vrstvách a v nich stanovena koncentrace uhlíku.

Bylo zjištěno, že u všech sledovaných materiálů došlo v podmínkách sodíkového okruhu PG BOR I k nauhličení, jehož hloubka a intenzita byla ovlivněna některými experimentálně proměnnými faktory /teplota, tloušťka stěny atd./. Výsledky analyz jsou uvedeny v tab. č. 3 a v grafech č. 3, 4 a 5.

Tabulka č. 3: Koncentrace uhlíku při postupném úběru vrstev
o tloušťce 25 μm

Ozn. mater.	Tloušťka / μm /	Teplota Na / $^{\circ}\text{C}$ /	Hloubka odběru / μm /					
			0-25	25-50	50-75	75-100	100-125	125-150
3R12	4000	480	0,508	0,311	0,169	0,087	0,048	0,034
"-	7100	477	0,496	0,298	0,158	0,081	0,046	0,033
S 31	2500	474	0,485	0,286	0,149	0,075	0,043	0,032
"-	2500	456	0,419	0,217	0,099	0,049	0,032	0,028
HT8X6	7100	400	0,100	0,093	0,083	0,085	0,073	-
"-	3000	400	0,220	0,160	0,135	0,135	0,140	-

Ze všech výše uvedených grafů vyplývá, že nauhličení všech použitých konstrukčních materiálů proběhlo pouze v povrchových vrstvách t.j. do hloubky 100-150 μm .

5. Sklon materiálů k mezikrystalové korozi /dále MKK/

S cílem zjištění změn náchylnosti k MKK byly provedeny zkoušky dle ČSN 038169 /3R12 a S31/ a dle ČSN 038135 /HT8X6/. U materiálů 3R12 a HT8X6 nebylo zcitlivění k MKK zjištěno. U vzorků z materiálu S31 došlo po expozici dle ČSN 038135 ke zcitlivění, které je patrné z tabulky č. 4. Z provedených měření vyplývá, že hloubka zcitlivění je závislá na teplotě a délce expozice.

konstrukčních materiálů.

a/ Odhad z rovnoměrných hmotnostních změn

Za předpokladu, že životnost parogenerátoru bude 210 000 hodin, t.j. 30 let při 80% využití, je možno přistoupit k přibližnému odhadu hmotnostních změn z 10 000 hodinového korozního experimentu v Na při teplotě 550° C za podmínek konvekčního proudění, t.j. $v_{Na} \div 0,2 \text{ m.s}^{-1}$, které bude činit u materiálu HT8X6 - $4,12 \text{ } \mu\text{m.rok}^{-1}$, u materiálu 3R12 - $0,39 \text{ } \mu\text{m.rok}^{-1}$ a u S31 + $0,51 \text{ } \mu\text{m.rok}^{-1}$. Za reálných podmínek, t.j. při $v_{Na} = 2,0 - 8,0 \text{ m.sec}^{-1}$, kdy se předpokládá zvýšení rovnoměrné koroze 3-5 x, budou hmotnostní změny za 30 let činit

u HT8X6 - 0,62 mm
3R12 - 0,06 mm
S31 + 0,08 mm

Na obr. 2 je znázorněn průběh rovnoměrné koroze v závislosti na čase, ze kterého vyplývá, že rychlost koroze se bude postupně zmenšovat, takže výše uvedené hodnoty by neměly být překročeny. Lze říci, že rovnoměrná koroze ze strany sodíku neovlivní plánovanou životnost použitých konstrukčních materiálů.

b/ Odhad změn obsahu uhlíku

Z grafů 3, 4 a 5 vyplývá, že při provozu parogenerátoru došlo u všech tří typů konstrukčních materiálů ze strany sodíku k nauhličení povrchu a podpovrchových vrstev do hloubky max. $150 \text{ } \mu\text{m}$.

Z provedených měření vyplývá, že proces oduhličování resp. nauhličování konstrukčních materiálů v okruzích PG probíhá u vybraných konstrukčních materiálů do malých hloubek a je ovlivněn podmínkami v daném okruhu. Může se na základě změn parametrů výrazně lišit. Při periodických kontrolách obsahu aktivního uhlíku v sodíku by nemělo docházet k výraznějšímu ovlivnění povrchových a podpovrchových vrstev konstrukčních materiálů působením uhlíku a tím degradaci jejich vlastností a ovlivnění jejich životnosti.

c/ Odhad strukturních změn

Jak je uvedeno v odstavci 5, u materiálu 3R12 a HT8X6 nebylo zjištěno zcitlivění k MKK. Odlišná situace byla u vysoce legované slitiny S31, kde bylo zjištěno zcitlivění k MKK, které bylo závislé na teplotě a délce expozice. Toto zcitlivění podmíněné strukturními změnami, které proběhly na vstupu do přehříváku / $t = 480^\circ \text{ C}$ / až do hloubky $600 \text{ } \mu\text{m}$ ze strany vody a $100 \text{ } \mu\text{m}$ ze strany sodíku, by mohly být po iniciaci

Tabulka č. 4: Hloubka zcitlivění materiálu S31 k MKK

Místo odběru	Teplota /°C /	Doba exp.	Hloubka zcitlivění v / μm /	
			H ₂ O	Na
přehřívák vstup	480	35715	600 /630/ ^x	100 /140/
" výstup	410	35715	30 /35/	30 /30/
" vstup	480	17000	400 /560/	100 /150/
" výstup	410	17000	15 /20/	10 /10/
srovnávací mat.	20	0	0 +/ °/	0 +/ °/

x hodnoty v závorce jsou z opakovaného testu

6. Strukturní změny

Po expozici v parogenerátoru BOR I byly zjištěny následující strukturní změny:

U materiálu HT8X6 se na vnějším povrchu vyskytovaly nerovnosti ve tvaru plochých důlků do hloubky 50-100 μm . Oblast od povrchu do hloubky asi 120 μm vykazovala mírné nauhličení. Mikrostruktura byla tvořena feritem s velmi jemně rozptýlenými karbidy uvnitř zrn feritu a většími částicemi karbidů Nb.

U materiálu 3R12 byla patrna oblast struktury ovlivněné deformací za studena, která se v naleptaném stavu jevila jako důlková nerovnost povrchu do hloubky 50-100 μm . U některých vzorků došlo k vyloučení karbidických precipitátů do hloubky 100-150 μm od povrchu.

U materiálu S31 byla struktura tvořena austenitem se stabilními karbonitridy Ti a s karbidy vyloučenými po hranicích zrn ve značném množství. U vnějšího povrchu bylo do hloubky 70 μm pásmo se značně zmenšeným obsahem karbidů. Pak následovala 300-400 μm široká oblast s větším množstvím karbidů proti středové oblasti. Výskytem těchto strukturních změn se vyznačovala především vstupní část přehříváku /480°C/ s tím, že s délkou expozice se ovlivněná zóna rozšiřovala. Strukturní změny byly podrobněji popsány ve zprávách SVÚOM [2, 3].

7. Zbytková životnost PG BOR I

Na základě údajů, získaných ze vzorků po exploataci materiálů v PG BOR I ve spojení s výsledky z korozních zkoušek provedených ve SVÚOM, je možno přistoupit k předběžnému odhadu zbytkové životnosti použitých

na př. při odstávce a čištění parogenerátoru zdrojem jeho havárie.

Pro úplnost zbývá dodat, že tloušťka vlásenek z S31 v parogenerátoru byla $2500\ \mu\text{m}$ a strukturní změny zasáhly do hloubky $600+100\ \mu\text{m}$, t. j. 28,0% po 35715 hod. provozu. Z naměřených dat vyplývá, že by se při dalším provozu - hlavně ze strany vody dále šířily.

Závěry

Pomocí fyzikálních a chemických metod bylo po demontáži 30MW parogenerátoru BOR I po téměř 40 000 hodinové exploataci v letech 1973-80 prokázáno, že

- konstrukční materiály HT8X6, 3R12 a S31 si za podmínek provozu parogenerátoru zachovaly poměrně dobré mechanické vlastnosti, při čemž ani u svarových spojů se neprojevíly náznaky strukturní nestability
- u všech použitých konstrukčních materiálů došlo ze strany sodíku k nauhličení do hloubek $100-150\ \mu\text{m}$
- zatím co u materiálů HT8X6 a 3R12 nedošlo k hlubším strukturním změnám, u vlásenek z materiálu S31 bylo zjištěno zcitlivění k MKK, které bylo největší na vstupu sodíku do přehříváku, t.j. při teplotě 480°C .

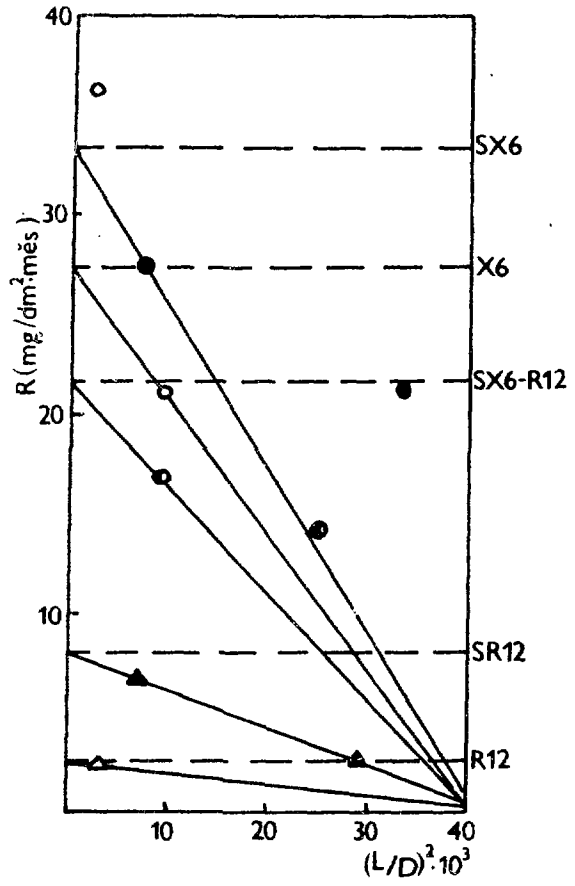
Po shrnutí výše uvedených poznatků je možno říci, že změny, které v průběhu exploatace PG BOR I proběhly, ovlivnily použité konstrukční materiály HT8X6 a 3R12 ze strany sodíku do hloubky $100-150\ \mu\text{m}$ a jsou u nich předpoklady pro využití při stavbě parogenerátorů RR v rozsahu plánované životnosti /za daných parametrů/. U materiálu S31 při daném chemickém složení a za podmínek provozu PG BOR I nelze jeho použití pro výrobu dalších PG RR doporučit, protože neskýtá záruky pro zajištění bezpečného a bezporuchového provozu parogenerátoru v rozsahu plánované životnosti.

Literatura

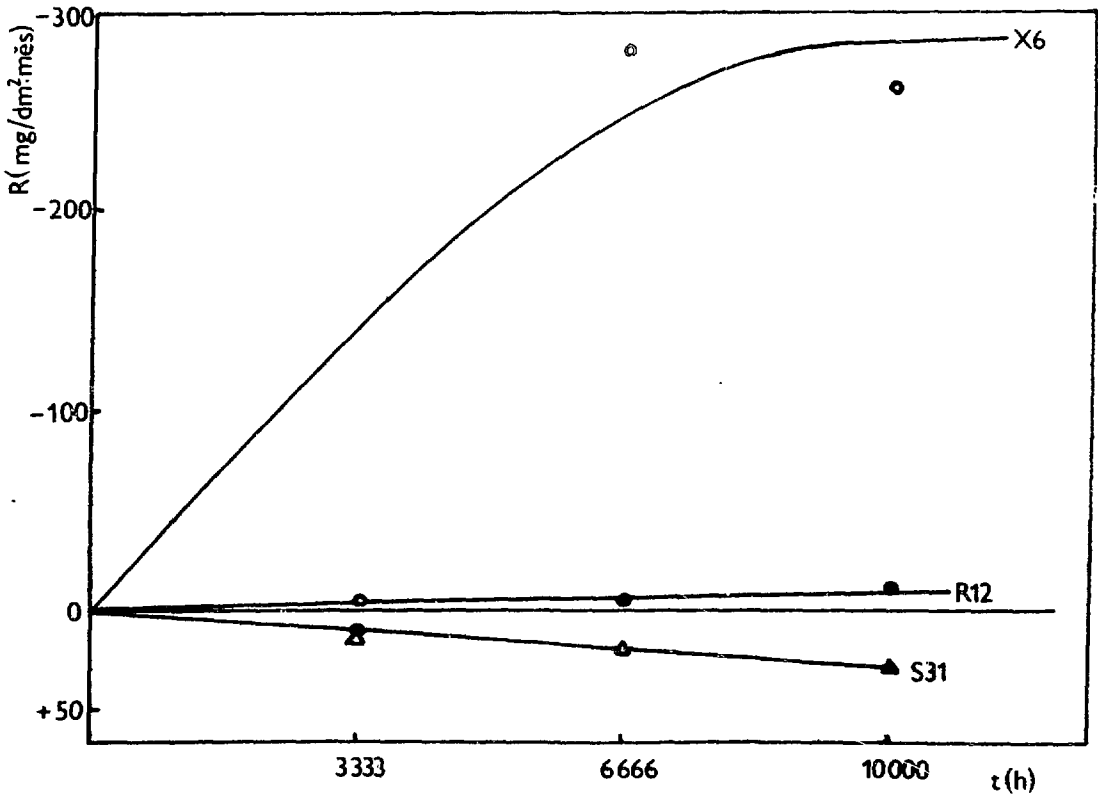
- 1/ Fresl M., Košťál M.: "Koroze konstrukčních materiálů použitých pro PG 30 MW pro BOR 60 v kapalném Na" - Celostátní seminář - Brno - duben 1977
- 2/ Fresl M. a kol. - Zpráva SVÚOM 26/76
- 3/ Fresl M. a kol. - Zpráva SVÚOM 19/81
- 4/ Golovanov V.I. a kol.: "Rabočije materialy po voprosu issledovanija materialov trub mikromodulnovo parogeneratorskoj konstrukcii ČSSR posle 30000 časov resursnyh ispitaniij na ustanovke BOR-60" -Dimitrovgrad 1983

Popis k obrázkům

- Obr. 1 - Rychlost koroze v závislosti na $[L/D]^2$
L - vzdálenost vzorku od vstupu do vysokoteplotní sekce /m/
D - hydrodynamický průměr /m/
- Obr. 2 - Rychlost koroze resp. hmotnostní změny v závislosti na čase
- Obr. 3 - Nauhličení materiálu HT8X6 po exploataci v PG BOR I
- Obr. 4 - Nauhličení materiálu 3R12 - " -
- Obr. 5 - Nauhličení materiálu S31 - " -



Obr.1



Obr.2

