Koroze konstrukčních materiálů působením kyseliny borité

The corrosion of construction materials induced by boric acid

Kobzová A.¹, Kárník D.¹, Skoumalová Z.¹, Marcinský P.²

¹ ÚJV Řež, a.s.

² JE Mochovce

E-mail: alena.kobzova@ujv.cz

V provozních podmínkách primárního okruhu jaderných elektráren nelze vyloučit kontakt primárního média s obsahem kyseliny borité s konstrukčními kovovými materiály. Obsahem experimentální práce bylo simulovat vybrané varianty expozice konstrukčních materiálů primárnímu médiu a kvantifikovat jeho korozní účinky. Základními faktory ovlivňujícími korozi byly teplota povrchu materiálu, koncentrace kyseliny borité a možnost odvodu vodní páry od povrchu. Vrstva páry se tvoří při vysoké teplotě a chrání povrch před kontaktem s kyselinou boritou a brání koroznímu poškození. Odpařování kyseliny borité závisí také na množství vody (koncentraci kyseliny borité). Přebytek vody umožňuje destilaci kyseliny borité a přebytek kyseliny borité má za následek vznik neškodné sklovité vrstvy z taveniny kyseliny borité.

A contact between the primary medium containing boric acid and construction metallic materials cannot be avoided in production conditions of the primary circuit of nuclear power plants. The goal of this experimental project was to simulate selected exposures of construction materials to the primary medium and quantify its corrosion impacts. The basic factors affecting corrosion include the temperature of the material surface, acid concentration and the possibility of steam suction from the surface. The steam layer forms at a high temperature and protects the surface from the contact with boric acid and prevents corrosion. Evaporation of boric acid also depends on the quantity of water (boric acid concentration). The excess of water enables distillation of boric acid and the excess of boric acid results in formation of a harmless glasslike layer from the boric acid melt.

ÚVOD

VVER typ reaktoru je ruskou verzí PWR reaktorů. Oba typy reaktoru používají kyselinu boritou k moderování toku neutronů v primárním okruhu, a která v případě úniku může způsobit korozi konstrukčních materiálů. Korozní rychlosti konstrukčních ocelí nejsou příliš vysoké, ale zvýšená teplota hraje významnou roli [1]. Jiným efektem zvyšujícím korozní rychlost je vyvěrání, které má za následek rychlý úbytek materiálu. Je nutné brát v úvahu vhodné hodnocení chemie, materiálové složení a mechanické vlastnosti materiálu. Je mnoho prací shrnující tyto poznatky pro materiály používané pro PWR reaktory, ale pro materiály užívané pro VVER reaktory stále chybí. Zevrubný přehled korozních rychlostí za statických podmínek byl již publikován [2], ale za podmínek zahrnující dynamické působení bylo publikováno jen minimum informací.

Z chemického úhlu pohledu je kyselina boritá velmi slabou kyselinou, jež velmi neochotně odštěpuje proton ($pK_a = 9.25$) [3] a to tak, že se molekula H_3BO_3 hydratuje dvěma molekulami vody a odštěpí proton za vzniku

tetrahydroxoboritanového aniontu [4]. Z toho plyne, že pro uplatnění kyselých vlastností kyseliny borité je nutná přítomnost vody.

Za zvýšených teplot (nad 100 °C [5]) kyselina boritá (H_3BO_3) odštěpuje vodu za vzniku kyseliny monohydrogenborité (metaboritá, HBO_2), jejíž chemické chování se od H_3BO_3 takřka neliší. Kyselina monohydrogenboritá okamžitě kondenzuje na cyklickou strukturu $H_3B_3O_6$ [4]. Při dalším zvýšení teploty na 450 °C vzniká oxid boritý [4], který má polymerní charakter a je málo těkavý. Při teplotách mezi 104 a 200 °C jsou kyseliny boritá (H_3BO_3) i metaboritá (HBO_2) v přítomnosti vody značně těkavé. Těkavost kyseliny borité za přítomnosti vody respektive v parním prostředí je popsána distribučním koeficientem [6], který je při 230 °C 0.049, pro 265 °C je 0.070 a pro 297 °C dosahuje hodnoty 0.112. Při poslední teplotě je tedy hmotnostní koncentrace kyseliny borité v parní fázi 11.2 %, což při neustálém toku čerstvé páry znamená, že se roztok kyseliny borité odpařuje. V závislosti na konkrétním uspořádání a podmínkách proudění vzduchu může docházet ke zpětné kondenzaci roztoku kyseliny na chladnějších částech zařízení.

Cílem práce bylo:

- Stanovit hodnotu korozní rychlosti konstrukčních ocelí v prostředí roztoků kyseliny borité při teplotě 297 °C.
- Stanovit hodnotu korozní rychlosti konstrukčních ocelí při kontaktu zahřátých povrchů s kapalným médiem s obsahem kyseliny borité.
- Stanovit hodnotu korozní rychlosti konstrukčních ocelí s povrchem kontaminovaným kyselinou boritou včetně návrhu opatření, která je nutné realizovat při kontaminaci kovových povrchů.

EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST

Zkušební vzorky

Pro experimentální práce byly zadavatelem určeny tři typy v provozu často využívaných konstrukčních ocelí pro VVER 440/213:

08Ch18N10T	Korozivzdorná austenitická ocel
15Ch2MFA	Bainitická ocel
22K	Uhlíková ocel

Vzorky materiálů určených k experimentům byly podrobeny chemické analýze metodou optické emisní spektrometrie (OES) prostřednictvím mobilního analyzátoru ARCMET MobileLab SP (výrobce Oxford Instruments). Výsledky analýz jsou souhrnně uvedeny v Tab. 1.

Z materiálů byly následně vyrobeny sady zkušebních plochých korozních vzorků o rozměrech 15 × 60 × 1 mm (po 8 vzorcích z každého materiálu) a 30 × 60 × 1 mm (po 6 vzorcích z každého materiálu).

Vzorky byly z důvodu následných gravimetrických hodnocení zváženy.

Statická část zkoušek – expoziční zkouška v roztoku kyseliny borité

Pro korozní zkoušky v roztocích kyseliny borité byla zvolena varianta expozice plochých korozních vzorků rozměru 15 × 60 × 1 mm po dobu 1000 hodin na teplotě 297.0 ± 0.5°C s následným gravimetrickým hodnocením korozních úbytků.

Jako korozní prostředí byly zvoleny dva následující roztoky kyseliny borité:

Prostředí A: 14 g/kg H₃BO₃ v demineralizované vodě

Prostředí B: 5 g/kg H₃BO₃ + KOH na pH₍₃₀₀₎ 7.2 v demineralizované vodě

Pro expozici vzorků byly vyrobeny dvě korozní ampule s devíti místy na vzorky (schéma na Obr. 1).

Dynamická část zkoušek – zkoušky periodického vlhčení a kontaminace

Pro ohřev plochých korozních vzorků byla použita měděná temperovaná plotna se zabroušeným povrchem pro zlepšení přestupu tepla do materiálu vzorku. Na tomto zařízení byla provedena následující řada experimentů. Každý experiment byl opakován třikrát.

Prvním byla zkouška korozní odolnosti materiálů při periodickém smáčení povrchu kovu roztokem kyseliny borité (I). Tento základní test byl proveden na všech vybraných typech materiálů a za všech vybraných teplot. Dávkování korozního prostředí B bylo realizováno peristaltickým mikročerpádlem a odkapávání média bylo z konstantní výšky 20 mm přes kovovou kapiláru. Průtok korozního média byl po dobu experimentu konstantní na úrovni 10 ml/hodinu po dobu 150 hodin.

Druhým typem experimentu (II) byla zkouška korozní odolnosti materiálů při kontaminaci povrchů kyselinou boritou na úrovni 10 mg H₃BO₃/cm² v suchém

Tab. 1. Složení materiálu experimentálních vzorků / Chemical composition of samples

Prvek	Ocel					
	08Ch18N10T		15Ch2MFA		22K	
	Norma	Analýza	Norma	Analýza	Norma	Analýza
C	max. 0,08	0,076	0,18	0,165	0,19-0,26	0,237
Si	max. 1,00	0,438	0,31	0,145	0,2-0,4	0,235
Mn	max. 2,00	1,129	0,50	0,322	0,75-1,00	0,811
Cr	17,0-19,0	19,42	2,80	2,779	max. 0,4	0,244
Ni	9,5-12,0	9,61	0,07	0,135	max. 0,3	0,379
S	–	0,014	0,016	0,011	max. 0,025	0,007
P	–	0,019	0,014	0,023	max. 0,025	0,021
Cu	–	0,046	0,10	0,078	max. 0,3	0,056
Ti	min. 5×C	0,457	–	–	–	–

prostředí. Tento typ testu byl proveden na všech vybraných typech materiálů za vybrané teploty. Na vzorcích byla vymezena kruhová oblast, na které byla modelována požadovaná kontaminace vyloučením kyseliny borité z etanolového roztoku. Takto kontaminované vzorky byly exponovány na požadované teplotě.

Třetí typ experimentu (III) byla zkouška korozní odolnosti při kontaktu povrchu materiálu s krystalickou kys. boritou v prostředí s přítomností vodních par. Vzorky byly připraveny stejným postupem jako pro experiment II, jen zahřívání na požadovanou teplotu bylo provedeno v uzavřeném boxu, do kterého bylo parní prostředí generováno kapáním demineralizované vody na odpařovací plochu mimo samotný exponovaný vzorek.

Čtvrtý typ experimentu (IV) představoval korozní test, kdy materiál je v kontaktu s vysokým množstvím suché kys. borité. Krystalická kyselina boritá o množství 0,1 g byla umístěna na vzorek, který byl následně zahřát po dobu 150 hodin.

Obr. 1. Ampule pro expoziční korozní zkoušku
Fig. 1. The capsule for autoclave test

Poslední pátý typ experimentu (V) byl stejný jako typ IV, jen proběhl v boxu jako test III.

Souhrn všech experimentů je uveden v následující Tab. 2.

Výpočet korozní rychlosti

Metodou gravimetrických měření byla vypočtena rychlost rovnoměrné koroze a na optickém mikroskopu indikována korozní poškození. Pro jeho detailní popis byla u vybraných vzorků provedena metalografická analýza v místě poškození, orientovaná na určení největší hloubky korozního poškození. Hodnota největší hloubky korozního poškození byla použita pro výpočet korozní rychlosti.

VÝSLEDKY

Statická část zkoušek

Ve všech případech byla po expozici zjištěna na povrchu vzorků kompaktní oxidická vrstva bez přítomnosti viditelných nehomogenit. Vrstva měla velmi dobrou přilnavost k povrchu. Moření povrchu vzorků před gravimetrickým stanovením korozních úbytků bylo provedeno dle normy ČSN ISO 8407, samotný výpočet korozní rychlosti podle normy ČSN 03 8104. Výsledky gravimetrického hodnocení korozní rychlosti jednotlivých materiálů v expozičním testu jsou uvedeny v Tab. 3.

Tab. 3. Výsledky gravimetrického hodnocení koroze / Gravitimetric evaluation of static exposition test

Materiál	Prostředí	Korozní rychlost* [mm/rok]
15Ch2MFA	A	0.0078 ± 0.0002
	B	0.0083 ± 0.0015
22K	A	0.0047 ± 0.0002
	B	0.0046 ± 0.0001
08Ch18N10T	A	0.0011 ± 0.0001
	B	0.0019 ± 0.0007

*) směrodatná odchylka je stanovena z měření tří vzorků

Tab. 2. Souhrn provedených dynamických experimentů / Summary of dynamic exposition tests

Materiál	Teplota / typy testů			
	297 °C	265 °C	230 °C	160 °C
08Ch18N10T	I.	I., II., III., IV., V.	I.	I.
22K	I.	I.	I., II., III., IV., V.	I.
15Ch2MFA	I.	I.	I., II., III., IV., V.	I.

Dynamická část zkoušek – zkoušky periodického vlhčení a kontaminace

Podle očekávání bylo potvrzeno, že korozní účinky periodického smáčení povrchu závisí v rozhodující míře na teplotě povrchu kovu.

Při teplotách vzorku do přibližně 150 °C docházelo k relativně pomalému odpařování roztoku a trvalému zvlhčení povrchu. Tento interval teplot nebyl cílem práce a nebyl dále studován.

Při zvýšení teploty nad 150 °C docházelo k relativně rychlému odpaření vody, ale teplotní závislost rozdělovacího koeficientu kyseliny borité neumožnila úplné odpaření kyseliny borité s vodní párou. Z tohoto

Obr. 2. Vzhled vrstvy krystalů kyseliny borité na vzorku po testu I. při 160 °C (materiál 15Ch2MFA, 150 hodin, rychlost kapání 10 ml/hod)

Fig. 2. The crystals of boric acid on the surface of mild steel (15Kh2MFA, 150 hours, 160°C, 10ml/h)

důvodu vznikla na povrchu vzorku vrstva jemných krystalů kyseliny borité, jejíž charakteristická okrová barva byla způsobena korozními produkty materiálu vzorku (Obr. 2). Na všech vzorcích byl pozorován výkvět krystalů kyseliny borité v okolí dopadu kapky korozního prostředí. Po odstranění krystalů bylo patrné výrazné lokální korozní poškození v případě vzorků materiálu 22K a 15Ch2MFA (Obr. 3). Metalografická analýza potvrdila poškození povrchu uvedených materiálů (Obr. 4).

Při zvýšení teploty nad přibližně 230 °C se dopadající kapka korozního roztoku nad povrchem vzorku vznáší na parním polštáři bez přímého kontaktu korozního prostředí s materiálem vzorku. Za těchto podmínek dochází k úplnému odpaření použitého korozního roztoku ve vzhledu a povrch vzorku je bez zjištělého korozního poškození. Kapka kyseliny borité není v přímém kontaktu s povrchem materiálu. Hmotnostní úbytky jsou nižší než u vzorků exponovaných při nižší teplotě 160 °C. Metalografické hodnocení povrchu je na Obr. 5.

Vliv zbytkové povrchové kontaminace kyselinou boritou na korozi vzorku byl zjišťován pro úroveň 10 mg/cm² kyseliny borité. Zkouška teplotní expozice kontaminovaných vzorků byla provedena jak ve standardním prostředí laboratoře, tak v prostředí za zvýšené přítomnosti vodní páry v atmosféře. Přítomnost vodní páry v atmosféře má za následek postupné odpaření kyseliny borité s vodní parou a tedy faktickou dekontaminaci povrchu. Pro komplexnost hodnocení byl proveden shodný experiment i s masivní kontaminací kyselinou boritou formou zásypu povrchu vzorku 0.1 g krystalické kyseliny borité.

Povrch vzorků v oblasti kontaminace i mimo ni po typu zkoušky II, III (kys. boritá na úrovni 10 mg H₃BO₃/cm² v suchém prostředí a s přítomností vodních

Obr. 3. Vzorky po expozici variantu I., teplota 160 °C

Fig. 3. Samples after exposition (test I, 160°C)

par) nevykazoval zjiitelné rozdíly. Povrch vzorku byl beze stop koroze.

Po zkoušce s krystalickou kys. boritou v suchém prostředí (typ IV) byl povrch kontaminován krystalickou kyselinou boritou pokryt vrstvou bílé průsvitné taveniny kyseliny metaborité, po jejím odstranění zůstal povrch vzorku pod vrstvou lesklý bez pokryvu vrstvou oxidů.

Po zkoušce s krystalickou kys. boritou v prostředí s přítomností vodních par (typ V) nebyla přítomna kyselina metaboritá – vlivem parního prostředí došlo k jejímu odpaření. Povrch vzorku nebyl korozně poškozen, pouze charakter oxidické vrstvy v místě původní vrstvy kyseliny borité se mírně lišil od okolního povrchu vzorku.

Vzorky po expozicích při 265 °C pro všechny typy zkoušek nevykazovaly žádné stopy korozního napadení. Na povrchu vzorku byly jen nezřetelné stopy lokality dopadu kapky – kontakt povrchu vzorku s korozním médiem byl eliminován vzniklým parním polštářem.

Po zkoušce korozní odolnosti při kontaktu povrchu materiálu s krystalickou H_3BO_3 v suchém prostředí byla patrná vrstva taveniny kyseliny metaborité, po jejím následném odstranění nebyly zjištěny stopy koroze. Patrná

je pouze absence oxidické vrstvy (změna zbarvení vzorku v místě přítomnosti kyseliny metaborité – Obr. 6).

08Ch18N10T

Korozní úbytek : <0.0005 g

Obr. 6. Vzorek po expozici varianta IV., teplota 265 °C
Fig. 6. Sample of 08Kh18N10T after the test IV, 265°C

a) 22K

b) 15Ch2MFA

Obr. 4. Příčný řez exponovaným vzorkem materiálu 22K (a) a 15Ch2MFA (b) s uvedenými hloubkami korozního poškození při teplotě 160 °C

Fig. 4. Sample cut of 22K (a) and 15Ch2MFA (b) at 160 °C

a) 22K

b) 15Ch2MFA

Obr. 5. Příčný řez exponovaným vzorkem materiálu 22K (a) a 15Ch2MFA (b) s uvedenými hloubkami korozního poškození při teplotě 230 °C

Fig. 5. Sample cut of 22K (a) and 15Ch2MFA (b) at 230 °C

Po zkoušce korozní odolnosti při kontaktu povrchu materiálu s krystalickou H_3BO_3 v prostředí s přítomností vodních par byl povrch bez taveniny kyseliny metaborité, patrná byla pouze stopa po původně přítomné tavenině, překrytá částečně oxidickým filmem vzniklým až po odpaření HBO_2 .

Na vzorcích exponovaných při teplotě 297 °C při periodickém smáčení povrchu kovu roztokem kyseliny borité není patrné místo dopadu kapek korozního média, protože povrch vzorků byl před účinky kyseliny borité chráněn vznikem parního polštáře na rozhraní kapka – vzorek.

DISKUSE

Otevřený korozní systém obsahující vodné roztoky kyseliny borité za teplot nad bodem varu je značně komplikovaný především z důvodu schopnosti kyseliny borité přecházet ve značné míře do parní fáze. Tato skutečnost akcentuje vliv zvoleného konstrukčního řešení korozí ohrožené komponenty, zvláště co se týká možnosti odvětrávání uzavřených prostor a přítomnosti teplotního gradientu v korozním systému (ochranné kryty, tepelná izolace atd.).

Vlastní mechanismus korozního působení kyseliny borité není jednoznačně popsán, významný vliv

má nepochybně schopnost taveniny rozpouštět jinak chemicky stabilní oxidy tvořící se na povrchu konstrukčních ocelí.

Agresivita vodného roztoku kyseliny borité v uzavřeném systému za podmínek, které byly testovány v první části experimentálních prací je velmi nízká. Ani v případě uhlíkové oceli 22K a bainitické oceli 15Ch2MFA nepřesáhla korozní rychlost hodnotu 0,01 mm/rok a z hlediska konstrukčně-bezpečnostního je nevýznamná. Hodnoty korozních rychlostí, uvedené v Tabulce 1 je nutné i přes nízké absolutní hodnoty považovat za silně konzervativní, a to z důvodu krátké doby expozice. Oxidická vrstva vzniklá jako výsledek interakce mezi kovem a korozním roztokem má zvláště v případě korozivzdorné oceli 08Ch18N10T velmi dobrý ochranný účinek, který v experimentu nebylo možno z důvodu krátké expoziční doby zohlednit. Je vysoce pravděpodobné, že dlouhodobější expozice by se projevila dalším snížením korozní rychlosti především u korozivzdorné oceli. I na základě konzervativních výsledků experimentu lze konstatovat, že absolutní hodnoty korozních rychlostí jsou ve všech případech velmi nízké u obou testovaných korozních prostředí a z pohledu konstrukční bezpečnosti nepředstavují provozní riziko.

Při zkoušce periodického vlhčení povrchu metodou kapání korozního roztoku na definovaně ohřátý volný povrch zkoušeného materiálu se zásadním způsobem projevil vliv schopnosti kyseliny borité a metaborité přecházet s vodní párou do plynné fáze. Za zadavatelem definovaných podmínek hraje významnou úlohu chování kapalného korozního média při dotyku s povrchem vzorku. Při teplotě povrchu vyšší než cca 230 °C dojde před vlastním kontaktem kapky s povrchem ke tvorbě parního polštáře mezi povrchem vzorku a kapkou korozního média a korozní roztok se i s kyselinou boritou zcela odpaří bez korozních účinků na materiál. Při nižší teplotě (v testovaném případě v intervalu teplot cca 160 °C až 230 °C) dojde při kontaktu korozního média s povrchem k jeho lokálnímu ochlazení a intenzivnímu odpařování roztoku na povrchu vedoucímu k silnému koroznímu poškození. V závislosti na teplotě povrchu a koncentraci kyseliny borité v korozním médiu dochází

ke krystalizaci kyseliny borité a tvorbě masivních úsad (při nižší teplotě a vysoké koncentraci kyseliny borité), nebo jsou přítomny pouze korozní produkty a přebytková kyselina boritá odejde s vodní parou (při vyšší teplotě a nižší koncentraci kyseliny borité). Korozní rychlost je v obou případech vysoká (Tab. 4).

Korozivzdorná austenitická ocel 08Ch18N10T nebyla za zvolených podmínek korozně poškozena.

Na základě dosažených výsledků lze s vysokou pravděpodobností předpokládat, že podmínky pro odpařování kyseliny borité se radikálně změní v případě, kdy bude volný povrch kovu stíněn například ochrannými kryty nebo tepelnou izolací. Kondenzace vlhkosti a přítomné kyseliny borité v objemu porézních tepelně-izolačních materiálů s teplotním gradientem a s komplikovanou ventilací může vyvolat podmínky vhodné pro průběh korozních procesů i za teplot převyšujících 230 °C.

Zkouška koroze na definovaně kontaminovaných volných površích (10 mg/cm²) při zvolených teplotách proběhla na všech vybraných materiálech. Byla testována kontaminace volných povrchů v suchém prostředí a v prostředí zvýšeného obsahu vodních par. Na žádném z exponovaných vzorků se nepodařilo prokázat jakékoli projevy koroze, a to jak hodnocením metalografickým, tak i gravimetrickým. Pro ověření výsledku byla provedena expozice materiálů s vysokým stupněm kontaminace (na povrchu bylo roztaveno 0.1 g krystalické H₃BO₃) v suchém a ve vlhkém prostředí. Po 150 hodinách expozice v suchém prostředí byla na povrchu vzorku vrstva transparentní taveniny kyseliny metaborité, po jejím odstranění nebylo kromě rozpuštění oxidické vrstvy zjištěno korozní napadení povrchu vzorků. Experiment v prostředí zvýšeného obsahu vodní páry také neprokázal přítomnost koroze, došlo pouze k oddestilování kyseliny borité s vodní párou. Z experimentu je zřejmé, že kontaminace volného povrchu zbytkovou kyselinou boritou (například po asanaci úniku primárního média otěrem) nepředstavuje z korozního hlediska riziko.

ZÁVĚR

Na základě experimentálních zkoušek za daných podmínek lze konstatovat:

- Korozní rychlost materiálů 08Ch18N10T, 22K a 15Ch2MFA v uzavřeném prostoru v prostředí vodného roztoku kyseliny borité o složení 14 g/kg H₃BO₃ a 5 g/kg H₃BO₃ + KOH na pH₍₃₀₀₎ 7.2 a při teplotě 297 °C se pohybuje v řádu jednotek mikrometrů za rok a z konstrukčního a provozního hlediska nepředstavuje bezpečnostní riziko.
- Koroze materiálu 08Ch18N10T nebyla prokázána v žádném z experimentů periodického vlhčení povrchu

Tab. 4. Korozní rychlosti pro uhlíkovou a bainitickou ocel po experimentu periodického vlhčení povrchu metodou kapání korozního roztoku / Comparison of corrosion rates for both temperatures and all materials

160°C	22K	9,58 mm/rok
	15Ch2MFA	4,63 mm/rok
	08Ch18N10T	bez poškození
230°C	22K	4,73 mm/rok
	15Ch2MFA	4,21 mm/rok
	08Ch18N10T	bez poškození

metodou kapání korozního roztoku na definovaně ohřátý povrch oceli a materiál lze za použitých zkušebních podmínek považovat za rezistentní.

- Pro uhlíkovou ocel 22K a bainitickou ocel 15Ch2MFA bylo během experimentu periodického vlhčení povrchu metodou kapání korozního roztoku prokázáno výrazné korozní napadení při teplotách povrchu 160 °C a 230 °C, a to řádově v jednotkách mm za rok. Stejná zkouška při teplotě 265 °C a 297 °C neprokázala korozní napadení z důvodu vzniku parního polštáře jako bariéry pro korozní procesy.
- Zkouška korozní rychlosti při kontaminaci povrchu ocelí kyselinou boritou v plošné koncentraci 10 µg na centimetr čtvereční neprokázala při žádné ze zvolených teplot korozní napadení některé z testovaných ocelí, a to jak v suché, tak i vlhké atmosféře.
- Zkouška masivní kontaminace povrchu ocelí krystalickou kyselinou boritou (0.1 g H₃BO₃ na ploše cca 1 cm²) vedoucí k tvorbě souvislé vrstvy taveniny

kyseliny metaborité neprokázala při žádné ze zvolených teplot průběh korozních procesů ani v suché, ani ve vlhké okolní atmosféře.

LITERATURA

1. Boric Acid Corrosion Evaluation (BACE) program phase L-Task 1 report: Industry experience reference and available test data summary, 1993.
2. Timofeev B.: Assessment of the first generation RPV state after designed lifetime. *International Journal of Pressure Vessels and Piping* **2004**, 81, 703-712.
3. Jursík F.: Anorganická chemie nekovů. VŠCHT Praha, 2001.
4. Klikorka J., Hájek B., Votinský J.: Obecná a anorganická chemie. SNTL: Praha, 1989.
5. Kocakusak S., Köroglu H.J., Tolun R.: Drying of wet boric acid by microwave heating. *Chemical Engineering and Processing* **1998**, 37, 197-201.
6. Kukuljan J.A., Alvarez J.L., Fernández-Prini R.: Distribution of B(OH)₃ between water and steam at high temperatures. *The Journal of Chemical Thermodynamics* **1999**, 31, 1511-1521.