

VÝVOJ A VÝROBA VALIVÝCH KOROZIVZDORNÝCH LOŽISEK S KLECEMI Z TERMOPLASTICKÉHO POLYMERU PEEK PRO POUŽITÍ V SESTAVĚ REGULAČNÍCH POHONŮ PRO A PRO-M PRO JE VVER 440.

DEVELOPMENT AND MANUFACTURE OF ROLLING BEARINGS MADE OF STAINLESS STEELS WITH CAGES MADE OF THERMOPLASTIC POLYMER PEEK FOR USAGE IN NUCLEAR REACTOR VVER 440 CONTROL ROD DRIVE MECHANISM PRO AND PRO-M GROUP.

Martin Poledna

ŠKODA JS a.s.

Abstrakt

Vývoj nových valivých ložisek pro použití v sestavách regulačních pohonů vyráběných firmou ŠKODA JS a.s. (dále jen ŠJS) a firmou SLB spol. s r.o. (dále jen SLB) byl realizován v důsledku závislosti na unikátním výrobcí těchto komponent z ruské federace. Jedním z cílů vývoje byla optimalizace materiálového složení jednotlivých komponent s ohledem na provozní podmínky ložisek. U klecí ložisek došlo k záměně původní ruské korozivzdorné martenzitické oceli 14Ch17N2, austenitické oceli 08CH18N10T (08X18H10T) dle předpisů GOST a TY, bronzu a fluoroplastu za termoplastický polymer Ketron PEEK 1000 (dále jen PEEK) a u valivých těles a kroužků ložisek došlo k záměně původních ruských martenzitických ocelí 95Ch18(-Š), (95X18-III) a 110Ch18M-ŠD (110X18M-IIIД) dle předpisů GOST za obdobnou martenzitickou korozivzdornou ocel AISI 440C (1.4125) dle norem ASTM.

Pro ověření komponent při simulaci reálných podmínek provozu na zkušebním standu ŠJS byl vytvořen komplexní program kontrol a zkoušek, který imitoval pracovní podmínky ložisek v sestavě pohonu regulačního orgánu (PRO nebo PRO-M) za stavů regulace, havarijní ochrany i práce pohonu v podmínkách bez zaplavení vodou. Vliv radiačního a teplotní stárnutí ložisek byl simulován ve spolupráci s ÚJV Řež, a.s.

Následně provedené kontroly a zkoušky prokazatelně potvrdily, že nový materiál PEEK splňuje veškeré požadavky při jeho použití v klecích valivých ložisek regulačních pohonů a díky své nižší hmotnosti a dobrým třecím vlastnostem přispívá k velmi dobrým provozním vlastnostem nových valivých ložisek. Stejně tak se potvrdilo, že použitá obdobná korozivzdorná martenzitická ocel AISI 440C má srovnatelné vlastnosti a odolnost vůči působícím vlivům pro navržený účel použití.

Všeobecné pracovní podmínky

Ložiska i samostatně dodávaná valivá tělesa jsou vyrobena z materiálů, které umožňují jejich práci ve vodě primárního okruhu reaktoru VVER 440 v souladu s požadavky projektu reaktorového zařízení při normálních i havarijních podmínkách stanovených pro pohony typu PROⁱ⁾ a PRO-Mⁱⁱ⁾. Především se jedná o prostředí s ionizujícím zářením, zvýšených teplot, tlaku a působení vody s definovaným chemickým složením.

Požadovaným materiálem pro výrobu ložisek (kroužků, ložiskových valivých těles) a samostatně dodávaných kuliček je korozivzdorná martenzitická ocel dle ASTM A276M grade 440C. Požadovaná tvrdost pro kroužky ložisek a valivých těles se musí pohybovat až kolem hodnoty 60 HRCⁱⁱⁱ⁾. Základní materiály pro výrobu kroužků, klecí, valivých těles ložisek a samostatných kuliček musí být doloženy materiálovým inspekčním certifikátem 3.1

dle EN 10204. Kroužky ložisek musí procházet tepelným zpracováním pro stabilizaci pro pracovní teploty do 350 °C (tj. popuštěno při teplotě 400 °C ÷ 420 °C). Stejný postup se doporučuje i u valivých těles, včetně samostatně dodávaných, pokud je to technicky možné. Způsob provedení tepelného zpracování nesmí negativně ovlivnit požadovanou tvrdost a finální povrchy dílů, zvláště pak ve smyslu ovlivnění korozní citlivosti.

Rozsah programu kvalifikace

Zkoušky korozní odolnosti a odolnosti proti účinkům dekontaminačních roztoků prokázaly, že vhodnost zvolených ekvivalentních materiálů do provozních podmínek je vyhovující. Z hlediska vizuální a makroskopické kontroly povrchu, hmotnostních úbytků, tvrdosti a drsnosti se ložiska SLB chovají ve zkušebním prostředí obdobně jako původní ložiska.

Zkoušky základní dynamické únosnosti, provedené výrobcem ložisek SLB na zkušebním stendu ZKL a.s. prokázaly, že požadovaná dynamická únosnost uvažovaná ve výpočtovém ověření pohonů PRO a PRO-M je dosažena (a dostatečná) na všech typech použitých ložisek. Zkoušky tvrdosti současně prokázaly, že požadované hodnoty tvrdosti lze na zvoleném materiálu zajistit při dodržení přesně definovaného postupu tepelného zpracování. Byla vypracována analýza rizik, která hodnotila veškerá rizika spojená s realizací vývoje ložisek. Analýza je zpracována od fáze volby vhodných základních materiálů, přes určení požadavků na základní provozní vlastnosti, určení požadavků na výrobní procesy a zkoušky u výrobce, až po určení požadavků na balení a konzervaci, požadavků na příjem a uskladnění komponent v ŠJS nebo na JE, v případě jejich dodávky jako samostatného náhradního dílu, dále požadavků na montáž do pohonů regulačních orgánů a požadavků na provozní kontroly a zkoušky, včetně procesů dekontaminace prováděných na JE. Analýza rizik současně posoudila rozsah programu ověřovacích zkoušek s ohledem na požadavky a provozní podmínky těchto komponent.

Výpočtové hodnocení trvanlivosti a statické únosnosti všech typů ložisek od firmy SLB zkušebních ve zkušebním pohonu PRO-M bylo provedeno s kladným závěrem. Ložiska splňují podmínky dle norem ČSN ISO 76 a ČSN ISO 281 i dle metodiky standardního programu FAG.

Pro posouzení vlivu radiačního stárnutí byly zkušební vzorky vyrobené z materiálu PEEK i kompletní ložiska s namontovanými klecemi z tohoto materiálu ozařovány v ÚJV Řež a.s. zářičem gama ze zdroje tyčového zářiče ⁶⁰Co při průměrném dávkovém příkonu cca 0,64 kGy/h po dobu čistého času 238 hodin, včetně jednorázového ozáření integrální dávkou 1,5 kGy, jejíž působení je předepsáno projektem jako havarijní stav. Celková integrální dávka během ozařování tak dosáhla úrovně cca 153±19 kGy, což odpovídá požadované projektové životnosti ložisek 25 let.

Po provedení radiačního stárnutí byly stejné vzorky podrobeny zrychlenému teplotnímu stárnutí, jehož průběh byl stanoven ve spolupráci s ÚJV Řež a.s. na základě Arrheinova vztahu. Pro požadovanou životnost 25 let bylo zrychlené stárnutí provedeno při teplotě 180 °C a tlaku 12,3 MPa po dobu 50 dnů, včetně simulace krátkodobého zvýšení teploty během havarijních stavů na hodnotu 200 °C po dobu 40 hodin. Jako limitní materiál pro stanovení programu zrychleného stárnutí byl uvažován nový materiál klecí ložisek, tedy materiál PEEK a byla použita konzervativní hodnota aktivační energie o hodnotě $E_A = 0,95$ eV.

Funkčnost všech typů ložisek po provedení radiačního i teplotního stárnutí a samostatných valivých kuliček byla ověřena zkouškou ve zkušebním pohonu konstrukčního uspořádání PRO-M ve zkušebním kanále na stendu v ŠJS simulací tlakově-teplotních parametrů reaktoru VVER 440 za stavů regulace, havarijní ochrany i práce bez vody (bez zaplavení vodou).

Hodnocení programu kvalifikace

Hodnotící materiálová zpráva Ae17085/Dok [1] byla vydána za účelem posouzení a realizace náhrady původních typů valivých ložisek a samostatných valivých těles dodávaných z Ruské federace dle původních technických podmínek TY 4300 a TY ВНИИП.080-00 za nové typy valivých ložisek a samostatných valivých těles od dodavatele SLB, které se dodávají v souladu s technickými podmínkami ŠJS. Použitelnost materiálu PEEK při všech podmínkách, které jsou definovány pro projektovou životnost regulačních pohonů PRO-M, byla ověřena kvalifikačním programem realizovaným v ÚJV ŘEŽ a.s., jehož výsledky kvalifikačních zkoušek uvádí kvalifikační zpráva materiálu PEEK DITI 2305/220 [2], jejímž obsahem jsou i protokoly z kvalifikačních typových zkoušek provedených v akreditovaných laboratořích.

Výsledky materiálových zkoušek vzorků materiálu PEEK jednoznačně potvrdily, že tento materiál je vhodný pro daný účel použití a z hlediska vlivu působení možných degradačních činitelů, kterými jsou v daných podmínkách ionizující záření, zvýšená teplota, tlak a působení vody primárního okruhu reaktoru, nedochází k negativnímu ovlivnění jeho výchozích mechanických vlastností ani k ovlivnění jeho povrchové struktury.

Výsledky zkoušek v sestavě zkušebního pohonu na standu ŠJS pak prokázaly, že ložiska SLB s klecemi z materiálu PEEK a samostatně dodávané kuličky jsou schopny plnit projektovou funkci pohonu při jeho požadované projekční životnosti 25 let (v případě přerušovaného provozu až 30letý) za normálních podmínek a za podmínek LOCA havárie na jaderné elektrárně VVER 440.

Zjištěné hmotnostní úbytky jednotlivých ložisek jsou téměř nezatelné a výsledky kontrol jejich opotřebení splnily očekávané předpoklady a limity stanovené ŠJS pro hodnocení jejich provozu v sestavě pohonu typu PRO nebo PRO-M. Ložiska i po dokončení předepsaných zkoušek byla schopná dalšího provozu, vykazovala velmi plynulý a rovnoběžný chod a to je i dobrým předpokladem jejich použití pro případy dalšího zvyšování nároků na chod pohonů PRO nebo PRO-M v režimu regulace jaderného reaktoru.

Celkové hodnocení výsledků všech provedených zkoušek, které je souhrnně uvedeno v hlavní kvalifikační zprávě ŠJS vydané pod číslem Ae15511/Dok [3], potvrdilo, že technické parametry dodávaných ložisek a samostatných kuliček od firmy SLB odpovídají projektovým požadavkům kladeným na tyto komponenty s ohledem na účel jejich použití a splňují veškeré nároky kladené na jejich bezpečný provoz v sestavách pohonů typu PRO a PRO-M vyráběných ve společnosti ŠKODA JS a.s.



Obr. 1: Samostatná klec (nalevo); Jednořadé kuličkové radiální ložisko (napravo)



Obr. 2: Vzorky samostatných klecí



Obr. 3: Jednořadé radiální kuličkové ložisko, typ 6214, vnější Ø: 125 mm; pohled z přední (otevřené nalevo) a zadní (uzavřené napravo) strany klece.



Obr. 4: Jednosměrné kuličkové axiální ložisko

Literatura

- [1] Poledna, M.,(2017): *Ae17085/Dok: Hodnotící zpráva záměny použitých materiálů valivých ložisek a samostatných kuliček v sestavě pohonů PRO a PRO-M. Plzeň: ŠKODA JS a.s.*
- [2] Fencel, Z., Plaček, V., Ernestová, M.,(2017): *DITI 2305/220: Zkoušky materiálu Ketron PEEK 1000 pro použití na klece valivých ložisek v prostředí vody primárního okruhu reaktoru VVER 440/V-213. Husinec: ÚJV Řež, a.s.*
- [3] Poledna, M.,(2017): *Ae 15511/Dok: Kvalifikační zpráva valivých ložisek a samostatných valivých těles od výrobce SLB pro použití v sestavě pohonů PRO a PRO-M. Plzeň: ŠKODA JS a.s.*

- i) PRO – pohon regulačního orgánu
- ii) PRO-M – pohon regulačního orgánu modernizovaný
- iii) HRC – zkouška tvrdosti dle Rockwella (indentorem je diamantový kužel)