

**STRESS OF FLANGE BOLTED JOINT OF THE CONTAINER
FOR TRANSPORT OF BURNED-UP NUCLEAR FUEL****NAMÁHÁNÍ PŘÍRUBOVÉHO ŠROUBOVÉHO SPOJE KONTEJNERU
PRO PŘEPRAVU VYHOŘELÉHO JADERNÉHO PALIVA**

Dolhoř V., JÍLEK M.

In the contribution the results and experience from tightening of the container flange bolted joint, from static strain gauge measurements during tests of a cover tightness and from dynamic strain gauge measurements in the course of container drop tests are described.

1. ÚVOD

Práce se uskutečnily ve ŠKODA Plzeň, a.s., závod Jaderné strojírenství, v rámci programu montážního a funkčního vyzkoušení kontejneru pro přepravu vyhořelého paliva. Kontejner jako celek se sestává z několika konstrukčních podskupin, které jsou ve vzájemné rozměrové a funkční vazbě. V tomto příspěvku je pozornost věnována podskupině příruba šroubového spoje. Šroubový spoj je vytvářen pevnou přírubou víka kontejneru, která je s pevnou přírubou tělesa spojena 16 závrttnými šrouby M30 x 2 ... 275 mm s průměrem dříku 25 mm a délkom dříku 180 mm. Materiál šroubů byl ČSN 17 027.6 s mezi R_{o,2} = 495 MPa. Těsnost kontejneru je zajištěna stažením dvou gumových těsnění, mezi kterými je umístěno kovové těsnění kruhového průřezu, uložené v drážce.

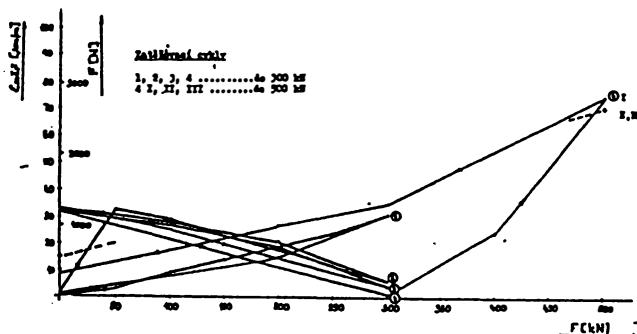
2. Utahování přírubového šroubového spoje

Na základě našich praktických zkušeností s rozptylem součinitele tření f v závitech, který může výslednou sílu ve šroubech ovlivnit o 30 a více %, byla zvýšena pozornost vřnována čistotě a mazání závitů a třech ploch podložek i matic speciálním mazadlem se sínkem molybdeničitým. Navíc byly vybrány a výrobně upraveny 4 šrouby pro tenzometrické měření předpří rozmístěné po obvodě přírubového spoje po 90°. Na každém měřeném šroubu byl ze 4 tenzometrů HBM 6/120 LY 11, lepených Schnellklebstoffem Z 70, vytvořen tenzometrický celomost s citlivostí 2,6 ε. Vyvedení signálu se uskutečnilo čtyřzilovým stíněným kablíkem MK 4 × 0,15 připraveným osově orientovaným otvorem o \varnothing 6 mm. Zabezpečení tenzometrické instalace proti mechanickému poškození při montáži a rovněž proti účinkům vzdušné vlhkosti bylo provedeno silikonovým tmelem HBM SG 250.

Postup utahování momentovým klíčem TONA spočíval v následujících krocích: 1) utažení čtyř šroubů s tenzometry na hodnotu 200 Nm (zajištění stlačení gumového těsnění a zamezení pohybu víka), 2) utažení všech šroubů klíčem momentem 170 Nm (včetně čtyř měřených), dále všech šroubů klíčem momentem 250 Nm a 370 Nm (2x dokola). Výsledné předpří v měřených šroubech činilo 92,5 MPa s rozptylem hodnot napětí ± 5 MPa. Lze předpokládat, že rozptyl hodnot napětí při použití uvedeného způsobu utahování byl v mezích $\pm 5\%$.

3. Tenzometrické měření při statické zatěžovací zkoušce.

Po úspěšném vykonání zkoušky těsnosti heliem se uskutečnila statická zatěžovací zkouška těsnosti v elektrohydraulickém zkušebním stroji MTS 2000 kN při stupňovitém zatěžování do 300 kN ve třech cyklech a poté opět ve třech zatěžovacích cyklech do 500 kN. Byly měřeny přírůstky sil ve šroubech tenzometrickým můstkem Manuell Kompenzator fy HBM. Naměřené hodnoty poměrných deformací a vyhodnocené přírůstky sil pro šroub č. 1 jsou uvedeny na obr. 1.

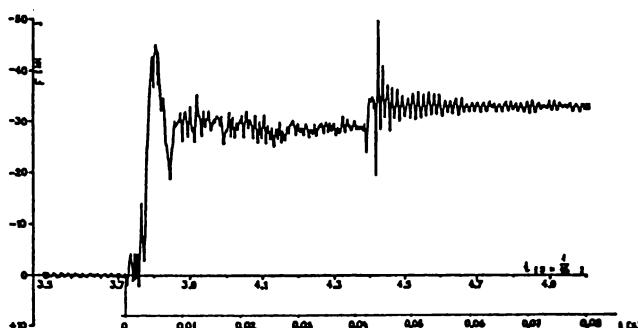


Obr. 1.

Abnormální chování soustavy šroubového spoje lze hypoteticky vysvětlit pravděpodobnými mikroposuvy v dosedacích plochách těsnící drážky i kovového těsnění po obvodě těsnícího ocelového kroužku. Ze stanovených průměrných přírůstků sil při 300 a 500 kN při statické zatěžovací zkoušce bylo zpracováno zobrazení šroubového spoje s předpětím. Znalost těchto experimentálně určených charakteristik byla velmi užitečná pro výpočtárské i konstruktérské kontejneru. V průběhu celé statické zatěžovací zkoušky probíhala úspěšně rovněž zkouška těsnosti šroubového spoje heliem.

4. Dynamická měření při pádové zkoušce

Rozhodujícím kritériem pro prověření kvality a funkce kontejneru byly pádové zkoušky s tlumičem a bez tlumiče z výše 9m na ocelovou podložku. Utahování šroubového spoje kontejneru probíhalo ve shodných krocích jako utahování modelového zařízení. Po dohodě s výpočtařem a konstruktérem byl pouze zvýšen utahovací moment na 400 Nm. Zkouška těsnění heliem však nevyhověla a bylo nutno uskutečnit ještě utažení momentem 500 Nm. Poté heliová těsnící zkouška vyhověla. Pro dynamická měření sil a odezvy dopadové šaboty byl v blízkosti prostoru pádové zkoušky přistaven měřicí skřínový vůz AVIA, ve kterém byly rozmištěny měřicí a záznamové přístroje. Původní vedení od šroubů s tenzometry k měřicím přístrojům s rezervou na pádovou zkoušku z výše 9 m bylo dlouhé 30 m. Vzorkovací rychlosť s využitím transformace rychlosti posuvu magnetofonu činila 64 000 vzorků/s. Dynamický účinek při dopadu kontejneru bez tlumiče, vyjádřený v průběhu síly F [kN] pro šroub 1, je znázorněn na obr. 2. Na záznamu jsou charakteristické dvě, velikosti téměř shodné, špičkové hodnoty v čase 0,005 s a 0,043 s. Vysvětlení lze podat na základě studia videozáznamu pádové zkoušky. Po dopadu hrany přírub kontejneru na zakřivený povrch šaboty došlo k jeho sklouznutí, což se projevilo druhou odezvou. Obdobný průběh se dvěma maximy byl zjištěn rovněž při měření odezvy šaboty dvěma akcelerometry. Vlastní dynamický ráz se odehrál a odezněl v čase do 0,1 s, dále po cca 0,3 s došlo k dopadu na boční plochu kontejneru.



Obr. 2.

Následovalo přeplenění na protilehlou stranu kontejneru, při kterém po celkovém trvání děje v čase 0,4 až 0,5 s došlo k přerušení vývodních kabelů od šroubů ke svorkovnici. Svorkovnice a vývodní kabely na měřicí stanoviště zůstaly neporušeny. Vlivem dopadu kontejneru bez tlumiče na šabotu došlo k překročení meze úměrnosti materiálu šroubů v místech koncentrace napětí v závitech, což mělo za následek pokles reálného předpětí ve všech šroubech. Tento pokles předpětí byl potvrzen statickým měřením při povolování šroubů.

5. Závěr

Na základě tenzometrických měření a vyhodnocení všech experimentů lze učinit následující závěry:

- a) Aplikace tenzometrické analýzy napětí se ukázala jako nezbytná. Výpočtem určený utahovací moment 170 Nm byl nedostatečný. Experimentálně stanovený utahovací moment 370 Nm, zajistující těsnost spoje modelového zařízení, nebyl dostatečný pro utěsnění spoje reálného kontejneru. Utahovací moment bylo nutno zvýšit na 500 Nm. Lze předpokládat, že utahovací moment, potřebný pro utěsnění přírubového spoje, bude výrazně závislý na skutečných rozměrech kruhového těsnění a kónické drážky pro těsnění.
- b) Pádovou zkouškou s tlumičem nebyly zjištěny žádné plastické deformace dílku měřených šroubů a nedošlo ke změně předpětí měřených šroubů. Požadavek těsnosti ověřovaný heliovou zkouškou byl splněn.
- c) Pádovou zkouškou bez tlumiče byla způsobena plastická deformace dílku šroubu č.4, která činila 460 $\mu\text{m}/\text{m}$. Následkem pádu došlo k výraznému snížení předpětí všech měřených šroubů o cca 45 až 66 %. Obdobný pokles předpětí po pádu nastal zřejmě i ostatních neměřených šroubů. Požadavek těsnosti přírubového spoje ověřovaný heliovou zkouškou nebyl splněn.
- d) Pro přepravu vyhořelého jaderného paliva lze použít pouze kontejner s tlumičem, který v případě pádu absorbuje převážnou část deformační energie a zajistí předepsanou kvalitu a funkci kontejneru. Na základě Technických podmínek pro výrobu a kompletaci, Programu montážního a funkčního vyzkoušení a výkresové dokumentace bylo vydáno osvědčení Institutem technické inspekce Praha, pracoviště Plzeň a rozhodnutí o schválení jeho provozování Státním úřadem pro jadernou bezpečnost v Praze.

Václav Dolhoř/Ing., CSc.
ŠKODA, VÝZKUM, Plzeň, s.r.o., Tylova 57, 316 00 Plzeň
TEL: 019 - 504 4861/ FAX: 019 - 533358
Miroslav Jílek/Ing.
ŠKODA, Jaderné strojírenství, Plzeň, s.r.o.
TEL: 019 - 5042831/ FAX: 019 - 5042305