

SILIKONOVÉ REPLIKY – NEPŘÍMÁ METODA HODNOCENÍ POŠKOZENÍ KOMPONENT

SILICONE REPLICAS – INDIRECT METHOD TO EVALUATE DAMAGE OF COMPONENTS

Petr Brabec

ÚJV Řež, a. s.

Abstrakt

Odběr silikonových replik umožňuje inspekci povrchu komponent provozovaných energetických zařízení nedestruktivní cestou, bez zásahu do jejich integrity. Charakteristiky originálních povrchů jsou následně hodnoceny laboratorně bez omezení daných specifiky provozních prostředí. Vysoká rozlišovací schopnost silikonové hmoty zachycuje detaily v rozměrech od méně než 0,1 mikrometru. Využití replik je prezentováno na příkladech dokumentace nálezů na komponentách JE typu VVER.

The silicone replica sampling allows non-destructive assessment of engineering surfaces without any affect to the integrity of operated systems. The characteristics of the original surfaces could be evaluated via replicas in the laboratory, without any limitation by the specifics of the field condition. The two-part polymer materials are able to replicate detail with dimensions less than 0.1 micrometer. The application of silicone replica method is presented on examples from inspection of VVER-type NPP components.

Úvod

Při řešení projektů z oblasti hodnocení stavu komponent provozovaných energetických zařízení je velmi často nežádoucí použití metod, které představují jakýkoliv mechanický zásah do posuzovaného tělesa nebo metod, které představují riziko chemické kontaminace povrchu nebo provozního prostředí. V oblasti hodnocení kvality povrchu komponent, dokumentace vad a provozních defektů má ÚJV Řež, a. s. dlouholeté zkušenosti s využitím metody silikonových replik. Jednou z důležitých výhod metody snímání otisků zájmových oblastí povrchu komponenty je zkrácení pracovního času potřebného pro řešení úkolu přímo v provozním prostředí, což vedle vlivu na zefektivnění odstávkového času vede i ke snížení expozice pracovníků v případě zdraví škodlivého prostředí. Metoda replik částečně umožňuje přesunutí detailního hodnocení stavu komponent do prostředí laboratoře.

Popis metody silikonových replik

K odběru replik s vysokým rozlišením detailů otisku je používána komerčně dodávaná aplikační sada, skládající se z ručně ovládané dávkovací pistole, do které se vkládá zásobník dvousložkové hmoty. Standardně jsou dostupné aplikační sady pro zásobníky o objemu 50 ml, 265 ml a 495 ml. Při aplikaci hmoty dochází ve slučovači k promíchání hmoty s katalyzátorem. Podle okolností odběru můžeme zvolit typ směsi s různou dobou aplikovatelnosti a vytvrditelnosti. V praxi je možné využít spektra směsí s možností sejmutí vytvrzené repliky po 4 až 210 minutách. Složení směsí odráží různé požadavky na jejich vlastnosti dané specifiky prostředí a geometrií odběru. Díky tomu lze odebírat repliky z hlubokých dutin, svislých stěn i z lokalit umístěných nad hlavou operátora. Překážkou nejsou ani povrchy spočívající pod vodní hladinou. Rozsah teplotní aplikovatelnosti metodiky replik sahá od -10°C po +180°C. Rychlost polymerace směsí se zvyšuje s rostoucí teplotou, což je třeba mít na zřeteli při výběru směsi vhodné pro předpokládanou teplotu prostředí odběru. Podle okolností odběru, tedy dle specifik povrchů nebo jejich obtížné dostupnosti, je možné odběr umožnit, případně usnadnit použitím rozličných nástavců na aplikační trysku, které například pomáhají aplikaci hmoty v úzkých dutinách nebo uvnitř trubek.

Rychle tuhnoucí polymerní silikonová hmota byla navržena speciálně pro účely odběru replik. Směsi o různé viskozitě a době polymerace umožňují široký rozsah použití. Vlastnosti pozvolna se rozlévající hmoty minimalizují nežádoucí záchyt vzduchových bublin ve výsledné replice a umožňují snadnou aplikaci i na rozměrných plochách. Silikonová směs má schopnost přenést topografii pevného povrchu v rozlišení až 0,1 mikrometru do podoby pružné a stabilní repliky. Výsledkem je tak 3D kopie původního povrchu, umožňující mikroskopická hodnocení a přesná měření v laboratorním prostředí. Repliky vykazují po plném vytvrzení dlouhodobou rozměrovou stabilitu bez smršťování. Po vytvrzení se silikonové repliky snadno oddělují od dokumentovaných povrchů. Díky vysoké odolnosti vůči roztržení a elasticitě je možné sejmout otisk i z dutin, které se pod povrchem mírně rozšiřují do stran. Dočasná deformace repliky při snímání z členitých povrchů neovlivňuje díky elastomerním vlastnostem hmoty výsledný tvar otisku, který vždy odpovídá originálu.

Silikonové repliky mohou být snímány z většiny pevných neporézních povrchů. Metoda je určena především pro kovové materiály, je však aplikovatelná rovněž na keramiku, plasty a sklo. Metoda nemá omezení ohledně velikosti, tvaru ani tloušťky odebíraných otisků. Používaná hmota neobsahuje chlór, síru a neuvolňuje žádná rozpouštědla. Jedná se o metodu splňující požadavky ASTM normy E1351: „Standard Practice for Production and Evaluation of Field Metallographic Replicas“. Hmota používaná pro metodu silikonových replik je schválena pro používání v jaderných elektrárnách. Je prokázáno, že nemůže iniciovat korozní degradaci ocelových komponent.

Odběrem repliky ve skutečnosti získáváme negativní otisk originálního povrchu. Pro následné hodnocení je v řadě případů výhodou vytvoření pozitivního otisku tzv. repliky z repliky. Pozitivní otisk může být vytvořen ze silikonového materiálu nebo jako epoxidový odlitek.

V případech, kdy není požadováno maximální rozlišení repliky a v situacích, kde je třeba vytvořit rozměrnější otisk, je možné použít alternativní komerčně nabízený produkt v podobě ručně mísitelné dvousložkové hmoty (max. rozlišení 10 mikrometrů). Výhodou obou směsí je, že po aplikaci drží pohromadě v pevném spojení, což dovoluje obě hmoty vhodně kombinovat.

Metoda silikonových replik dovoluje rovněž metalografické hodnocení materiálů komponent a představuje tak alternativu k odběru klasických metalografických replik typu Transcopy. Pro tento účel je určena speciální směs s rozlišením 0,05 mikrometru, která je dodávána ve standardních zásobnících pro aplikační pistoli a nanášena na náležitě připravený povrch komponenty.

Vlastnosti silikonových replik umožňují hodnocení oblastí zájmu reálných komponent energetických zařízení pomocí laboratorních přístrojů. Repliky jsou dokumentovány pomocí stereomikroskopie, odrazové mikroskopie, rastrovací elektronové mikroskopie a dalších zobrazovacích metod. 3D hodnocení a měření je možné pomocí bezkontaktních např. laserových metod. Měřicí přístroje s kontaktní sondou mohou být vzhledem k pružnosti replik aplikovány pouze na pevné otisky z epoxidové pryskyřice, vytvořené metodou repliky z repliky.

Metoda replik skýtá možnosti širokého spektra využití v oblasti kontroly kvality výroby, technických kontrol průmyslových zařízení, údržby, oprav a analýzy poškození komponent. Mezi typické aplikace metody silikonových replik patří:

- detekce a monitoring pittingu, korozního poškození, přítomnosti trhlin, dokumentace lomových ploch trhlin, výskyt creepu, deformace a provozní opotřebení komponent

- kontrola obtížně přístupných vnitřních povrchů (např. závitové otvory, kořenové svary trubek malých průměrů)
- rozměrová kontrola kvality (hrany, tloušťky, úhly, drsnost povrchů, profily závitů)
- hodnocení mikrostruktury a jejích změn

V následujících několika příkladech jsou demonstrovány možnosti využití metody silikonových replik při hodnocení stavu komponent provozovaných jaderných elektráren typu VVER.

Trhliny na vyjímatelné části hlavního cirkulačního čerpadla (HCČ) primárního okruhu

V několika případech byl řešen výskyt trhlin na různých místech tělesa vyjímatelné části hlavního cirkulačního čerpadla. Výběr metod hodnocení nálezu byl omezen na nedestruktivní postupy. Vedle vizuální a kapilární metody byla využita metoda silikonových a extrakčních uhlíkových replik. V oblasti indikací odhalených kapilární zkouškou byla pomocí thixotropní směsi aplikovatelné i na svislé povrchy odebrána série silikonových replik. Studium silikonových replik byl dokumentován charakter průběhu trhlin, jejich délka a tloušťka (odpovídá rozevření ústí trhliny). Na podkladě výsledků analýzy úsad (extrakční repliky), tvaru a charakteru šíření trhlin (silikonové repliky) bylo identifikováno korozní praskání jako příčina vzniku a šíření trhlin (obr. 1).

Studiem silikonových otisků čela šíření lineárních trhlin z oblasti tepelné bariéry HCČ ošetřených rázovým vtiskem byla zjištěna nežádoucí nepřesnost vtisků. Lokalizace vtisků byla primárně určena podle zobrazení průběhu trhliny kapilární metodou, která nedokáže s dostatečným rozlišením určit čelo trhliny. Bylo vydáno doporučení na používání silikonových replik, které jsou schopny čelo trhliny určit s vyhovující přesností.

Hubený kořen obvodového svaru na potrubí přívodu z kompenzátoru objemu

V rámci kontroly hubeného kořene svaru potrubní trasy světlosti DN 200 byly odebrány navazující repliky, dokumentující celý průběh svarového spoje na vnitřním obvodu potrubí. Cílem laboratorního hodnocení replik bylo stanovení maximální hloubky hubeného kořene. Nejprve bylo provedeno vyrovnání podkladové plochy originální repliky dodatkem přidavného materiálu. Výsledkem byla replika s podkladovou plochou rovnoběžnou s otiskem vnitřní stěny potrubí. Následně byly z vytipovaných oblastí originálních replik sejmuty repliky z repliky, čímž jsme získali pozitivní otisk objektu (silikonový model svaru). Pro účely měření maxim převýšení digitálním úchytkoměrem s kontaktní sondou byl ze silikonového pozitivního otisku vytvořen pevný otisk z epoxidové pryskyřice. Na epoxidovém negativním otisku svaru bylo provedeno stanovení maximálních hloubek hubeného kořenu prostřednictvím měření převýšení „hřbetu“ svaru (negativ) vůči otisku vnitřního povrchu potrubí a to z obou stran spoje (obr. 2).

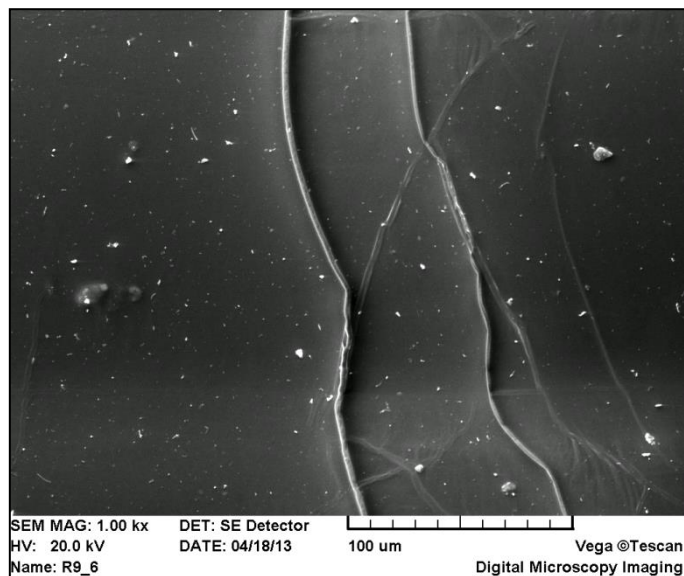
Modernizace hermetického uzávěru ochranné obálky reaktoru (HUGA)

V souvislosti s modernizací HUGA bylo třeba provést přesnou rozměrovou dokumentaci pryžového těsnění dveří. Pro tento účel byla využita manuálně mísitelná dvousložková silikonová hmota, určená pro použití na rozměrnějších objektech. Repliky byly odebrány ze série měřících míst tak, aby bylo možné na podkladě výsledků vytvořit detailní výkresovou dokumentaci těsnění.

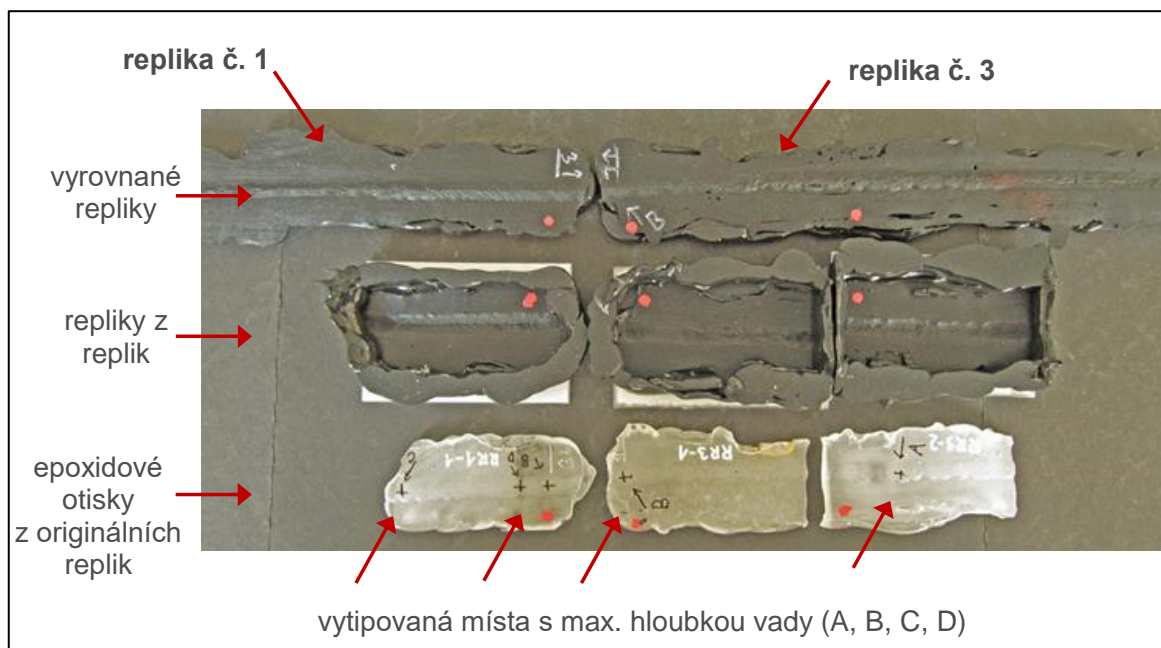
Závěr

Metoda silikonových replik při svém zavedení do praxe představila významné rozšíření možností nedestruktivního hodnocení komponent provozovaných energetických zařízení. Nezastupitelné využití má zejména při řešení úkolů, kde není nasazení ostatních metod nedestruktivního hodnocení prakticky realizovatelné. Metoda je nejčastěji využívána při

hodnocení degradace povrchu a kvality povrchové úpravy, detekce trhlin a pro metalografické aplikace. Důležitou výhodou metody replik je možnost přesunutí hodnocení vybraných charakteristik komponent do laboratorního prostředí s využitím přístrojů, jejichž výhod nelze čerpat při hodnocení v provozním prostředí.



Obr. 1. Detail otisku ústí trhlin na povrchu rozváděcího kola (zobrazeno v SEM).



Obr. 2. Fotodokumentace replik vytvořených pro hodnocení hubeného kořene svaru.