

# VYUŽITÍ METALOGRAFICKÝCH REPLIK PŘI NEDESTRUKTIVNÍ IDENTIFIKACI MATERIÁLU CHLADÍCÍCH KROUŽKŮ PRO DIESELGENERÁTORY JE DUKOVANY

## USE OF METALLOGRAPHIC REPLICA METHOD IN THE NONDESTRUCTIVE MATERIAL IDENTIFICATION OF COOLING INSERTS FOR DIESEGENERATORS IN DUKOVANY NPP

Petr Brabec a Dana Tonarová

ÚJV Řež, a. s.

### Abstrakt

Na základě výsledků hodnocení dvou případů ztráty integrity chladících vložek pístu motoru při provozním zatížení dieselgenerátoru na EDU byla identifikována potřeba nedestruktivního ověření materiálového složení série náhradních chladících vložek. Úspěšně byla odzkoušena možnost rozlišení materiálů na základě mikrostrukturních charakteristik pomocí metalografických replik v případě, kdy posuzované materiály nelze jednoznačně rozlišit analýzou chemického složení. Metodika založená na bázi silikonových replik umožnila jednoznačnou identifikaci vyhovujících náhradních dílů.

### Abstract

The results of failure analysis of two cases of cooling insert damage inside dieselgenerator's engines, operated in Dukovany NPP, induced a need of positive material identification of spare parts by nondestructive evaluation method. Material identification on the base of microstructure, using metallographic replica method, was verified for these cases, when considered materials have similar chemical composition. The silicone metallographic replica method ensured secure positive material identification of spare parts.

### Úvod

V roce 2013 a 2017 došlo během periodického kontrolního spuštění záložního dieselgenerátorového napěťového zdroje k závadě motoru. Poškození motoru spočívalo v dezintegraci litinového chladícího kroužku koruny pístu. Analýza příčin poškození, prováděná ve Zkušební laboratoři oddělení Podpora provozu energetických zařízení ÚJV Řež, a. s., zjistila, že při výrobě havarovaných komponent byla použita litina s nízkými parametry mechanických vlastností. V rámci řešení problému bylo provedeno destruktivní materiálové hodnocení několika dalších provozně nepoškozených a záložních chladících kroužků. U všech srovnávacích vzorků bylo zjištěno použití litiny, příp. oceli s výrazně vyššími hodnotami pevnosti v tahu. Závěry analýzy vyvolaly potřebu ověření a zavedení metodiky pro nedestruktivní pozitivní materiálovou identifikaci (PMI) záložních a nově dodávaných chladících kroužků. Pro kontrolu litinových i ocelových kroužků byla využita metoda metalografických replik [1, 2].

### Hodnocení mikrostruktury pomocí replik

Mikrostruktura je jedním ze základních parametrů charakterizujících kovové materiály. Tradiční cestou ke studiu mikrostruktury materiálu je mikroskopické pozorování laboratorně připraveného leštěného výbrusu vzorku, který je z původního celku vyjmut destruktivní cestou. Pro situace, kdy není možné porušit integritu komponenty destruktivním odběrem vzorku, byla vyvinuta metoda metalografických replik. K odběru replik se vybírají místa, která nejsou ve funkčním kontaktu s jinou komponentou sestavy. Při přípravě povrchu pro odběr repliky dochází k nepatrnému zásahu do povrchové vrstvy. Povrch se připravuje standardizovanými postupy metalografického broušení, leštění (s využitím ruční rotační brusky) a leptáním [3]. Před samotným odběrem repliky je vhodné kvalitu přípravy povrchu kontrolovat přenosným metalo-

grafickým mikroskopem. Komerčně jsou dostupné dva odlišné typy sestav pro odběr metalografických replik. V obou případech je základním principem otisk topografie metalograficky připraveného povrchu do plastické vrstvy odběrové substance.

### **Metalografická replika typu „Transcopy“**

Odběrová sestava pro tradiční metodu přípravy metalografických replik je dostupná pod komerčním názvem „Transcopy“. Tenká fólie na bázi celulózy, opatřená z druhé strany odraznou hliníkovou vrstvičkou, se před aplikací aktivuje rozpouštědlem a přitiskne na vyleštěný a naleptaný povrch komponenty. Po ustálení se sejmutá replika nalepí na podložní sklíčko a je tak připravena k mikroskopickému hodnocení.

### **Silikonová metalografická replika**

Metoda silikonových replik, vyznačující se vysokým rozlišením detailů otisku, má široké uplatnění v oblasti kontroly kvality výroby, technických kontrol průmyslových zařízení, údržby, oprav a analýzy poškození komponent [4]. Speciální materiál „Microset 202“, určený pro odběr metalografických replik, dosahuje dle technické specifikace výrobku rozlišení detailu otisku 0,05 mikrometru. Dvousložková silikonová hmota je v tekutém stavu nanášena na zájmový povrch pomocí speciální dávkovací pistole. Polymerní hmota je mechanismem pistole ze zásobníku o objemu 50 ml vytlačována do slučovače, kde se před aplikací mísí s katalyzátorem. Rovinnou plastovou podložkou potaženou speciálním papírem se aplikovaná hmota přitiskne k odběrové ploše. Po několikaminutové polymeraci je možné repliku sejmout.

### **PMI litinových chladících kroužků**

Destruktivní analýza chladících kroužků, vyrobených z litiny, byla založena na hodnocení mikrostruktury, stanovení mechanických vlastností a chemického složení materiálu. Materiálová analýza posuzovaných chladících kroužků identifikovala několik typů litiny s odlišnou mikrostrukturou a rozdílnými mechanickými vlastnostmi. Chemické složení zjištěných typů litiny bylo velmi obdobné a nebylo jej možné použít jako rozlišovací znak pro nedestruktivní PMI záložních kroužků. Pro potřebu nedestruktivního rozlišení vyhovujícího a nevyhovujícího materiálu záložních chladících kroužků bylo využito metody metalografických replik.

Litina havarovaných kroužků, která se vyznačuje nízkými hodnotami mechanických parametrů, se z metalografického hlediska mimo jiné odlišuje přítomností grafitu v podobě lupínek (litina s lupínkovým grafitem – LLG). Litiny nepoškozených provozovaných a záložních chladících kroužků s výrazně vyššími parametry mechanických vlastností v mikrostruktuře obsahují grafit červíkovitý či kuličkový (vermikulární litina s červíkovitým grafitem – LVG, tvárná litina s kuličkovým grafitem – LKG). Z hlediska PMI bylo důležité zvolenou nedestruktivní metodou spolehlivě identifikovat, že se v konkrétním případě materiálu posuzovaného kroužku nejedná o strukturu s lupínkovým grafitem, která odpovídá litině s nevyhovujícími mechanickými vlastnostmi.

Při testování metody metalografických replik na vzorcích litin byly pro srovnání odebrány otisky odběrovou sestavou Transcopy i Microset. Otisky byly sejmuty z leštěných metalografických výbrusů v neleptaném stavu a po naleptání Nitalem. Porovnáním výsledných replik v odrazovém světelném mikroskopu byla konstatována vyšší kvalita otisků odebraných silikonovou hmotou Microset 202. Tvar grafitových zrn, jakožto hlavní markant pro odlišení jednotlivých typů litiny, byl na silikonových replikách patrný i na neleptaných metalografických výbrusech na rozdíl od replik Transcopy (obr. 1). Po naleptání výbrusů zachycovaly tvar grafitu oba typy replik.

Pro další fázi testování, kdy byly repliky odebrány z povrchu chladících kroužků, byla vybrána silikonová replikační hmota. Polní metalografický výbrus byl na kroužcích prováděn na svislé vnější straně, kde není komponenta v sestavě motoru v kontaktu s jinou komponentou. Kvalita replik z ploch, které není možné připravit standardními postupy broušení a leštění na

stabilních laboratorních zařízeních je nižší, avšak je stále dostatečně průkazná z hlediska identifikace vyhovujícího typu litiny.

PMI záložních litinových kroužků byla provedena podle validovaného pracovního postupu. Při kontrole nebyla zjištěna ani v jednom případě litina s lupínkovým grafitem (LLG). Litina s nízkými parametry mechanických vlastností LLG byla v rámci všech analýz identifikována pouze u dvou havarovaných chladících kroužků provozovaných 30 let.

### **PMI chladících kroužků z oceli značky C45**

V rámci úkolu na řešení PMI chladících kroužků byly prověřovány materiálové specifikace nově vyrobených ocelových chladících kroužků, uvedené v jejich průvodním certifikátu. Pro destruktivní hodnocení byl k dispozici referenční vzorek deklarované tavby konstrukčního materiálu kroužků. Na referenčním vzorku bylo provedeno hodnocení mikrostruktury, stanovení chemického složení a měření tvrdosti materiálu.

Chemické složení vzorku bylo měřeno metodami optické emisní spektrometrie (OES) a rentgenfluorescenční analýzy (XRF). Chemická analýza potvrdila složení deklarované předloženým inspekčním certifikátem.

Mikrostruktura referenčního vzorku oceli značky C45 byla dokumentována ve třech navzájem kolmých směrech. K vyvolání mikrostruktury bylo použito chemického leptání roztokem Nital. Lamelární perlitická mikrostruktura s protáhlým feritickým zrnem vykazovala určité odlišnosti v obsahu a šířce zrn feritu v závislosti na orientaci řezu metalografických výbrusů. Z metalografických výbrusů byly sejmuty repliky metodou silikonových otisků. Z obr. 2 je patrná velmi dobrá reprodukce mikrostrukturních rysů na replice ve srovnání s originálním metalografickým výbrusem. Porovnání je usnadněno skutečností, že oba obrázky zachycují identickou oblast.

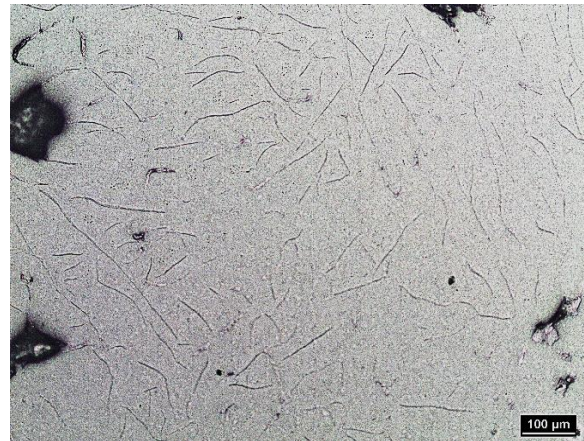
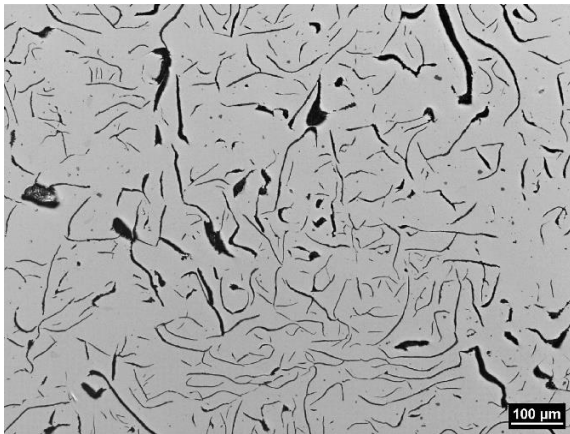
Pozitivní materiálová identifikace dle validovaného postupu byla prováděna na osmi kusech nových chladících kroužků. PMI byla založena na analýze chemického složení metodou XRF (nevyžaduje hrubé broušení povrchu na rozdíl od OES), odběru metalografických replik a měření tvrdosti přenosným tvrdoměrem. Data a obrazová dokumentace byla porovnána s referenčními charakteristikami, získanými ze srovnávacího vzorku. Výsledky byly dostatečně průkazné pro konstatování, že posuzované náhradní chladící kroužky byly vyrobeny z deklarované tavby materiálu a zjištěné materiálové charakteristiky odpovídají předloženému inspekčnímu certifikátu.

### **Závěr**

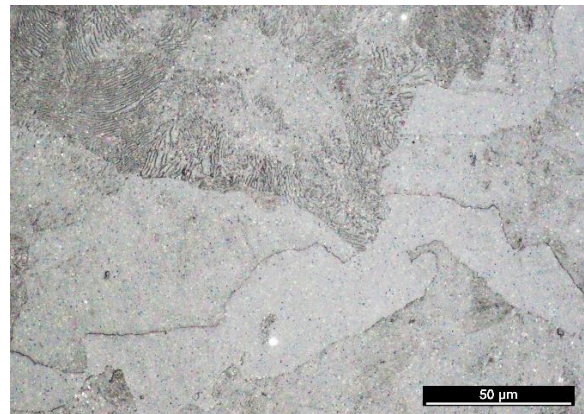
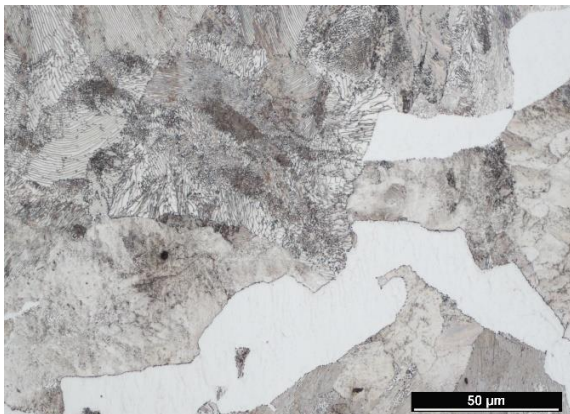
Metoda metalografických replik je tradičně využívána pro ověření nebo zjištění mikrostrukturních charakteristik kovových materiálů komponent, u kterých je zásah do jejich integrity destruktivním odběrem vzorku nežádoucí. V rámci řešení projektu hodnocení provozního poškození chladících kroužků motoru dieselgenerátoru JE Dukovany byly odzkoušeny a aplikovány nedestruktivní metodiky, zahrnující odběr metalografických replik pro pozitivní materiálovou identifikaci náhradních dílů. Nedestruktivní materiálová kontrola záložních chladících kroužků, vyrobených z litiny, byla vzhledem k obdobnému chemickému složení posuzovaných litin založena výhradně na mikrostrukturních markantech silikonových replik. V případě nových chladících kroužků vyrobených z oceli C45 byl odběr metalografických replik součástí metodiky PMI společně s analýzou chemického složení XRF a měřením tvrdosti přenosným tvrdoměrem. Pozitivní materiálová identifikace s využitím metalografických replik v případě litinových i ocelových chladících kroužků umožnila jednoznačné určení materiálové shody.

## Literatura

- [1] Krpec, M., Ernestová, M., Brabec, P., Tonarová, D. (2018): *Hodnocení mikrostruktury, mechanických vlastností a chemického složení chladících vložek z DG 6ZL40/48 EDU*, zpráva ÚJV DITI 2302/547.
- [2] Ernestová, M., Krpec, M., Brabec, P., Tonarová, D., Čančura, Z. (2018): *Hodnocení poškození chladících kroužků diesegenerátoru 6ZL40/48 NA JE DUKOVANY*. Zvyšování životnosti komponent energetických zařízení v elektrárnách – příspěvek na 13. konferenci. Srní.
- [3] ASTM E 1351 – 01: *Standard practice for production and evaluation of field metallographic replicas*.
- [4] Brabec, P. (2017): *Silikonové repliky – nepřímá metoda hodnocení poškození komponent*. Zvyšování životnosti komponent energetických zařízení v elektrárnách – sborník z 12. konference. Srní: VZÚ Plzeň, ZČU Plzeň.



Obr. 1: Dokumentace mikrostruktury litiny s lupínkovým grafitem z metalografického výbrusu (vlevo) a silikonové repliky metalografického výbrusu (vpravo) – nelept



Obr. 2: Dokumentace mikrostruktury oceli C45 z metalografického výbrusu (vlevo) a silikonové repliky metalografického výbrusu (vpravo)