



## NEDESTRUKTIVNÍ HODNOCENÍ SOUČÁSTÍ ENERGETICKÝCH ZAŘÍZENÍ POMOCÍ METODY METALOGRAFICKÝCH REPLIK

### NONDESTRUCTIVE EVALUATION OF POWER PLANT PARTS USING METHOD OF METALLOGRAPHIC REPLICAS

Zbyněk BUNDA\*, Josef VOLÁK\*, Václav MENTL\*

\*Regionální technologický institut, FST, ZČU, Univerzitní 8, Plzeň 306 14  
Contact e-mail: bunda@rti.zcu.cz

#### **Abstrakt**

*Příspěvek se zabývá nedestruktivní metalografií, sahající do oblasti povrchových a optických metod, která je výjimečná především díky své operativnosti a rychlosti. Její využití je velmi rozsáhlé. Článek pojednává především o aplikacích z oblasti energetiky, tj. kotlové trubky, parovody, turbínové rotory a lopatky a také turbínová tělesa. Nachází se zde velké množství aplikací, kde je možné využít hodnocení materiálu využitím metod nedestruktivní metalografie. Součásti energetických zařízení jsou vystaveny extrémním podmínkám, díky kterým materiál degraduje. Ke zjištění míry degradace se hojně využívá metoda replik. Na základě výsledků je možné toto poškození identifikovat a následně učinit nápravná opatření, která zabrání možným haváriím energetických zařízení. Tento článek popisuje princip hodnocení součástí pomocí metalografických replik a ukazuje jejich možné využití v reálných aplikacích.*

**Klíčová slova:** nedestruktivní metalografie, repliky, kontrola mikrostruktury

#### **Abstract**

*The article deals with non-destructive metallography. This method is useful for its speed and simplicity. Its range of applications is very wide. This contribution discusses mainly the utilization of this promising method in the field of power plant components e.g. boiler tubes, steam piping, pressure vessels, turbine rotors and also stator casings. There is a large number of applications where it is possible to use the evaluation of the material by using non-destructive metallography. Power plant parts are exposed to extreme conditions, thanks to which the material degrades. The replica method is useful for the determination of the degradation degree of the material. On the basis of the results of this method the damage extent of material can be identified and corrective measures can then be taken, which prevents possible accidents of power plant parts. This article describes the principle of components evaluation by using metallographic replicas and shows their possible use in real applications.*

**Key words:** nondestructive metallography, replicas, microstructure inspection

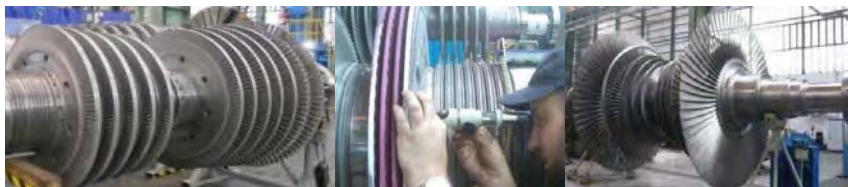
## 1. Úvod

V současném energetickém průmyslu je kladen největší zřetel zejména na maximální bezpečnost a ekonomičnost provozu. Náklady spojené s odstávkami zařízení, následnou kontrolou stavu jednotlivých částí a popř. opravou vadných komponent, jsou značné. Tyto náklady se zvětšují s prodlužováním doby odstávky, ať už z jakéhokoli důvodu. Na jedné straně je tendence ušetřit co nejvíce finančních prostředků, což vede k tomu, že např. nejsou provedeny všechny potřebné kontroly soustrojí, na druhé straně potom stojí otázka bezpečnosti zařízení a hlavně lidských životů. Z tohoto hlediska je naopak nutné provést co nejvíce materiálových analýz a kontrol, aby se vyloučilo selhání zařízení. Je třeba najít optimální řešení mezi těmito dvěma mantinely, které se bohužel v převážné většině odvíjí od množství finančních prostředků provozovatele zařízení.

## 2. Metoda replik

Tato metoda se nachází na rozhraní nedestruktivních až semidestruktivních zkoušek. Toto tvrzení se opírá o fakt, že je potřeba před hodnocením povrch součástí vhodným způsobem připravit, a to zpravidla broušením a leštěním, což je určitý zásah do materiálu. Pokud si ale uvědomíme, jak velké součásti se touto metodou v elektrárnách kontrolují, pak můžeme směle považovat tuto metodu za prakticky nedestruktivní. Odbroušení několika desetin milimetru materiálu na ploše 1 cm<sup>2</sup> u výrobků, jako jsou tělesa turbín, parovodní potrubí nebo parovodní ventily nehraje ve své podstatě žádnou roli. Touto metodou se hodnotí struktura a nehomogenity, které se nacházejí v hodnoceném materiálu. Po sejmutí repliky, se tento negativ následně analyzuje v laboratoři na metalografickém mikroskopu.

## 3. Příklady kontrolovaných dílů



*Obr. 1 Rotor*

*Obr. 2 Kontrola mikrostruktury*

*Obr. 3 NT rotor*

*Fig.1 Rotor*

*Fig.2 Microstructure inspection*

*Fig. 3 Low pressure rotor*

Kontrolu mikrostruktury je možné provést jak na discích rotorů a lopatkách parních turbín, viz obr. 1 až obr. 3, tak i na vnějších skříních (horní i spodní díl), viz obr 4 až obr. 6. Dále také na regulačních a rychlozávěrných ventilech, které jsou zobrazeny

na obr. 6 až 9. Při kontrole dobře přístupného dílu, je možné k mikroskopu připojit kameru a strukturu vyfotografovat bez použití repliky (obr. 8).



Obr. 4 Turbinová skříň

Fig. 4 Stator casing



Obr. 5 Horní těleso turbíny

Fig. 5 Stator casing



Obr. 6 Pohled na rozebrané soustrojí

Fig. 6 Turbo set



Obr. 7 RZ ventil

Fig. 7 Steam valve



Obr. 8 Dokumentace mikrostruktury

Fig. 8 Documentation of the microstructure



Obr. 9 Ventily

Fig. 9 Steam valves

Běžně se provádí také kontrola svařovaných rotorů, potrubí i ventilů. Předmětem kontroly je základní materiál, svarový kov, přechodová oblast a tepelně ovlivněná zóna svarového spoje, viz obr 10 – 12).



Obr. 10 Kontrola svaru ventilu

Fig. 10 Inspection of welds



Obr. 11 Detail svaru, ventilu

Fig. 11 Weld of the steam valve



Obr. 12 Ventil

Fig. 12 Steam valve

Kotlové trubky (obr. 13), přehříváky a tlakové nádoby jsou kontrolovány přímo v elektrárnách u tuzemských i zahraničních zákazníků. Obr. 14 byl pořízen při kontrole na elektrárně v Chile. Kontrolované lokality jsou mnohdy špatně přístupné, což je ukázáno na obr. 15.



Obr. 13 Kotlové trubky, průřez

Fig. 13 Boiler pipes, inspection chamber



Obr. 14 Vnitřní kotlové trubky

Fig. 14 Inner boiler pipes



Obr. 15 Kontrola stěnového přehříváku s jištěním

Fig. 15 Inspection of the pipe with bely

Další příklady použití metody na konkrétních dílech jsou uvedeny na obr. 16 – 18. Na obr. 19 – 21 jsou uvedeny příklady mikrostruktur pořízených v laboratoři z replik.



Obr. 16 Vodní kruh

Fig. 16 Water circle



Obr. 17 Kontrola mikrostruktury Cu součástí po zapájení

Fig. 17 Inspection of Cu parts after soldering



Obr. 18 Generátorová obruč

Fig. 18 Generator ring

## 4. Příprava povrchu

Povrch musí být důkladně očištěn, odmaštěn a vysušen. To docílíme opakovaným omytím vhodným rozpouštědlem (aceton, líh) a osušením horkým vzduchem. Zkoumání struktury povrchu je možné po vhodné přípravě zahrnující broušení, leštění a naleptání povrchové vrstvy součástí. Broušení se provádí speciální přenosnou metalografickou bruskou. Následuje leštění, které je možné provést mechanickou cestou (za pomoci metalografické brusky a lešticího kotoučku), nebo elektrolyticky (za použití přenosné elektrolytické leštičky). Po těchto krocích povrch naleptáme vhodným činidlem, nebo provedeme elektrolytické leptání. [1, 3]

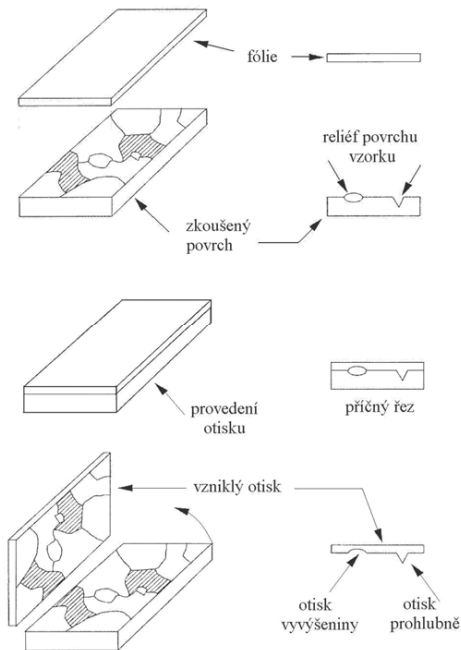
Při přípravě povrchu není nutný větší úběr materiálu o více než 0,2 mm. V mnoha případech je tento úběr výrazně menší. Během opracování je nutné se vyhnout nadměrnému zahřívání povrchu. Z tohoto důvodu nesmí být použita příliš velká přítlačná síla. Při jednotlivých po sobě jdoucích stupních opracování povrchu je třeba

kolmo měnit směr opracování součástí. Po každém kroku musí být z povrchu odstraněny zbytky po broušení.

## 5. Kontrola mikrostruktury

Kvůli maximální eliminaci možné oxidace či kontaminace kontrolovaného místa je nutné odebrat repliku (otisk) co možná nejrychleji. Otisk struktury se odebrá v souladu s návodem výrobce replik, který je součástí balení zkušebního setu. Tím vzniká otisk strukturního reliéfu do aktivní vrstvy záznamového média. Schématické znázornění principu zhotovení otisku je na obr. 19.

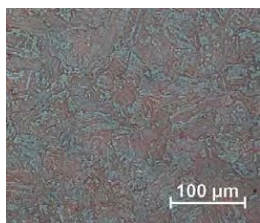
Takto provedený otisk je přenesen na metalografický světelný mikroskop (např. na transportním laboratorním sklíčku), kde lze repliku předběžně vyhodnotit přímo v provozních podmínkách. Podrobnější metalografická analýza včetně fotodokumentace se provádí na laboratorním invertovaném metalografickém mikroskopu, případně na elektronovém mikroskopu v laboratorních podmínkách.



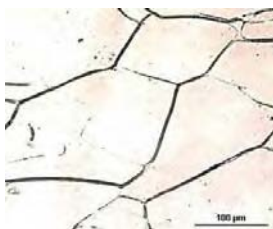
Obr. 19 Otisk strukturního reliéfu do aktivní vrstvy záznamového média [2]

Fig. 19 The imprint of structural relief to the active layer of the replica [2]

Pro zajištění korektních výsledků je vhodné, aby případnému opakovanému odebrání otisku ze stejného kontrolního místa předcházela znova celá procedura přípravy metalografického výbrusu. Mikrostrukturu hodnotíme buď přímo na místě za použití přenosného mikroskopu, nebo odebereme otisk mikrostruktury metodou replik a zkoumáme jej v laboratoři (např. obr. 19 až 21). Nejrychlejší metodou je v současné době vyfotografování mikrostruktury přenosným mikroskopem a následná analýza.



Obr. 20 Kotlová trubka  
Fig. 20 Boiler tube



Obr. 21 Obruč generátoru  
Fig. 21 Generator ring



Obr. 22 Přehřívák  
Fig. 22 Over heater

## 6. Otisky do folií

Folie (repliky) jsou vyrobeny na bázi vhodné umělé hmoty a musí mít nejmenší tloušťku 0,06 mm. Na folii je potřeba nanést rozpouštědlo, aby došlo k jejímu změkčení. Po určité době působení je folie přiložena ke zkoumanému povrchu. Pro zajištění těsného kontaktu s povrchem musí být folie ve směru ze středu k okraji pečlivě přitlačena. To umožní únik přebytečného rozpouštědla a zabrání nechtěnému pronutí folie nebo tvorbě vzduchových bublin [1].

Struktura materiálu se hodnotí nejčastěji optickým metalografickým mikroskopem. Replika se pozoruje pod mikroskopem na laboratorním skle, nebo mezi dvěma laboratorními skly. Operátor stanovuje charakter a typ mikrostruktury kontrolovaného místa se zaměřením na:

- typ, tvar a velikost strukturních útvarů a zrn
- obsah a rozložení přítomných fází
- typ, velikost a morfologie nekovových složek (grafit, vměstky apod.)
- charakter a tvar případných nečistot.

Dále provádí dokumentaci fotografováním. V případě hodnocení struktury za účelem zjištění degradace materiálu energetických zařízení vlivem poškození dlouhodobým provozem za vysokých teplot (tečení materiálu) se ke klasifikaci stavu užívá pětistupňová škála.

Pro hodnocení postupných strukturních změn, probíhajících v materiálu vlivem dlouhodobého působení vysokých teplot, lze pro uhlíkové a nízkolegované oceli užít šestibodovou klasifikační stupnici uvedenou v publikaci [2].

## 7. Závěr

Příspěvek podává přehled o využití provozní metalografie v praxi. Jsou uvedeny příklady aplikací na konkrétních částech energetických zařízení s příslušnou fotodokumentací. I přes zdánlivou jednoduchost má tato perspektivní metoda do budoucna velký potenciál.

## Poděkování

*Tento příspěvek vznikl v rámci projektu LO1502 Rozvoj Regionálního technologického institutu podpořeného programem Ministerstva školství, mládeže a tělovýchovy na podporu výzkumu, experimentálního vývoje a inovací Národního programu udržitelnosti I („NPU I“).*

*The present contribution has been prepared under project LO1502 'Development of the Regional Technological Institute' under the auspices of the National Sustainability Programme I of the Ministry of Education of the Czech Republic aimed to support research, experimental development and innovation.*

## Literatura:

- [1] DIN 54150 Abdruckverfahren für die Oberflächenprüfung (Replica-Technik)
- [2] BUNDA, Z.: Vztah mikrostruktury a zbytkové životnosti dílů energetických zařízení, Disertační práce, ZČU v Plzni, Plzeň 2013.
- [3] ISO 3057:1998(E) Non-destructive testing – Metallographic replica techniques of surface examination.