

ANALÝZA VAD POŠKOZENÉ LOPATKY NT DÍLU TURBOGENERÁTORU JE

DEFECT ANALYSIS OF THE NPP TURBOGENERATOR BLADE

Miroslav Krpec, Jaroslav Burda, Miroslava Ernestová, Zuzana Vávrovcová a Petr Brabec

ÚJV Řež, a. s.

Abstrakt

Při pravidelné kontrole provedené magnetickou práškovou metodou byly na povrchu v oblasti listu náběžné hrany lopatky NT rotoru turbogenerátoru nalezeny čtyři lineární indikace. Na základě těchto výsledků bylo rozhodnuto o převezení lopatky do akreditovaných laboratoří ÚJV Řež, a. s., kde byly indikace podrobeny detailnímu destruktivnímu hodnocení. Cílem hodnocení bylo objasnění příčin vzniku indikací na poškozené lopatce a doporučení pro další provoz.

Abstract

During the periodic inspection, four linear indications were found on the surface of the turbogenerator rotor blade in the region of the leading edge using the magnetic powder NDT method. Based on these results, a transfer of the blade to the accredited laboratories of ÚJV Řež, a. s. was decided. The indications were subjected to a detailed destructive evaluation. The evaluation aimed to clarify the cause of the defect detected on the blade and provide recommendations for further operation.

Úvod

V oblasti náběžné hrany lopatky (obr. 1) byly na JE při periodické kontrole magnetickou práškovou metodou identifikovány celkem čtyři lineární indikace, jejichž pozice se nachází 4-5 mm od náběžné hrany na straně žlábků profilu. Indikace byly zjištěny ve vzdálenosti 460 až 530 mm od paty profilu (při délce lopatky 940 mm odpovídá vzdálenosti 310 až 380 mm od horní hrany listu). Výsledky hodnocení byly shrnuty v rámci technické zprávy [1].



Obr. 1: Poškozená lopatka NT dílu turbogenerátoru JE s vyznačenou oblastí výskytu indikací

Materiál a použitá metodika

Deklarovaný materiál lopatky je X12CrNiMo. Jedná se o martenzitickou ocel legovanou cca 1,5 až 2,0 % Mo. List oběžné lopatky byl vyjmut z nízkotlaké (NT) části turbogenerátoru (TG) a pracoval při parametrech viz tab. 1 po dobu cca 80 896 provozních hodin.

Tab. 1: Základní informace poškozené lopatky

List oběžné lopatky NT stupně stroje TG				
Materiál	Proudící médium	Provozní teplota (vstup/výstup)	Provozní tlak (vstup/výstup)	Váha
X12CrNiMo	vlhká pára	216 °C /148 °C	0,45 MPa/0,4 kPa	42,4 kg
Průtok (vstup/výstup)	Délka provozu	Rozměry		
2 x 435 t/hod / 375 t/hod	80 896 provozních hodin	délka = 940 mm		
		šířka volný konec = 230 mm		
		šířka zámek = 310 mm		

Pro zjištění stavu poškozené lopatky bylo provedeno v akreditovaných laboratořích zhotovitele destruktivní hodnocení.

Destruktivní hodnocení

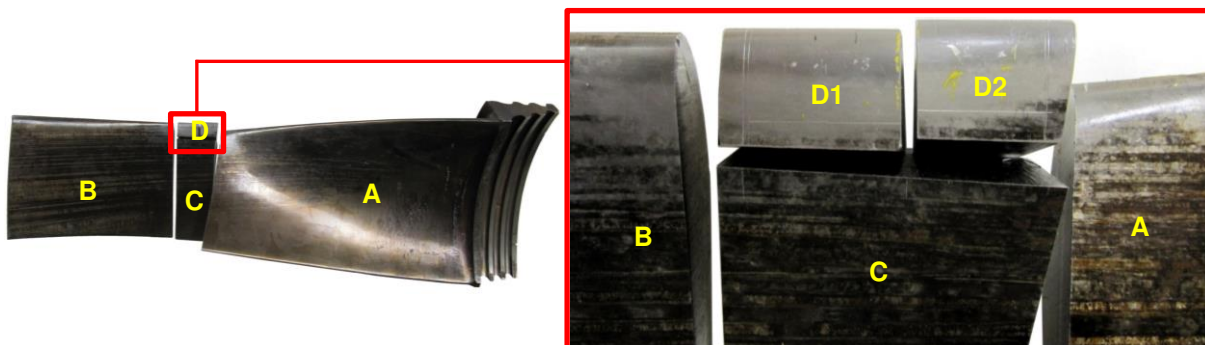
Destruktivní hodnocení sestávalo z ověření a dokumentace indikací, fraktografie lomových ploch trhlina metalografických analýz.

- *Hodnocení makro a mikrostruktury v příčných řezech.* Vzorky byly připraveny standardním způsobem, tj. mechanickým broušením na metalografických papírech o zrnitosti 320–2400, mechanickým leštěním diamantovými pastami o zrnitosti 3 a 1 μm a mechanicko-chemickým leštěním na koloidní silice (OPS Struers). Struktura materiálu byla vyvolána chemicky leptáním. Obrazová dokumentace byla zpracována na světelném mikroskopu (LOM) Epiphot 300.
- *Stanovení mikrotvrdomosti materiálu* v oblasti indikací bylo provedeno pomocí mikrotvrdoměru MHT Anton Paar v souladu s normou ČSN EN ISO 6507-1. Podmínky zatěžování byly 100 g po dobu 10 s.
- *SEM + EDS hodnocení indikací a mikroanalýza úsad* byla pořízena v sekundárních (SE) a zpětně odražených elektronech (BSE) na rastrovacím elektronovém mikroskopu (SEM) VEGA TS 5130 XM (fy. Tescan). Semikvantitativní analýzy byly provedeny na EDS analyzátoru INCA Energy 350 fy. Oxford Instruments, připojeném na SEM s řídicím softwarem Aztec, verze 3.1. Chemické odstranění korozních produktů bylo provedeno dle normy ČSN ISO 8407.

Výsledky

Rozřez v oblasti s indikacemi

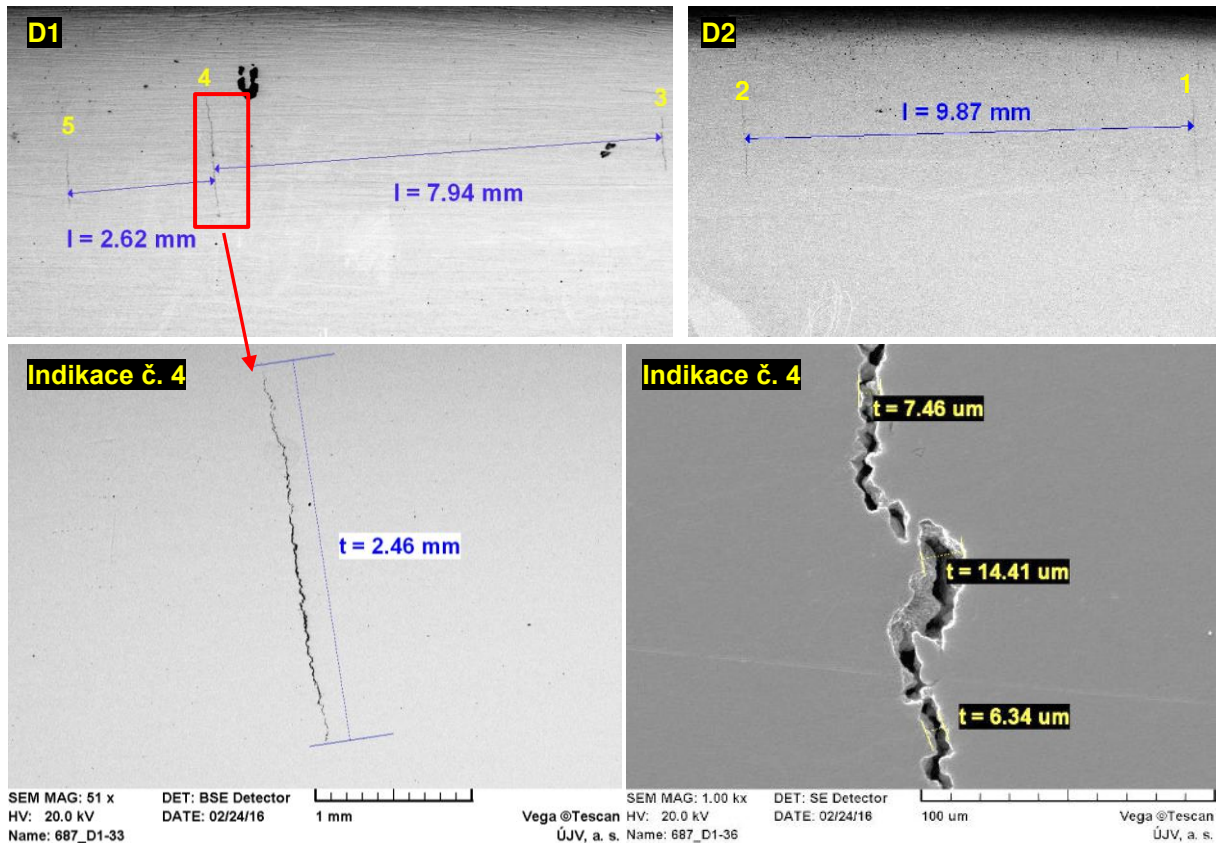
Pro detailní hodnocení poškození byla rotorová lopatka rozřezána rámovou pilou na jednotlivé segmenty A, B, C, D (obr. 2). Oblast poškození je vyznačena červeným rámečkem. Segment D byl z důvodu manipulace a přípravy vzorků pro SEM a LOM mezi indikacemi 2 a 3 rozřezán na dvě části (D1 a D2). Povrchy segmentů byly následně zkoumány a dokumentovány na elektronovém mikroskopu.



Obr. 2: Rozřezový plán rotorové lopatky

Dokumentace indikací na povrchu lopatky

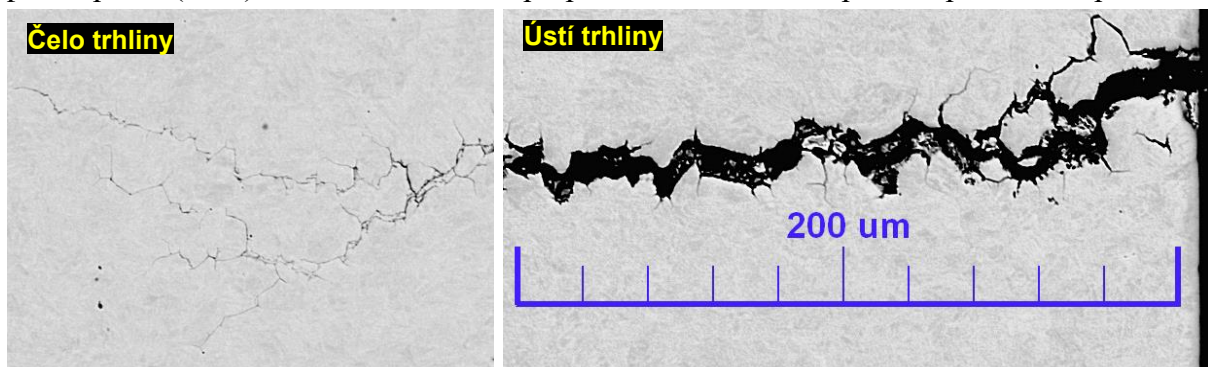
Na segmentu D1 byly elektronovým mikroskopem identifikovány tři lineární indikace rozdílných délek. Na segmentu D2 se vyskytovaly lineární indikace dvě. Označení indikací a jejich pozice vzhledem k náběžné hraně lopatky jsou zdokumentovány na obr. 3. Studium v SEM bylo ověřeno, že se jedná o trhliny. Trhliny se vyskytovaly ve vzdálenosti cca 2,5 mm od náběžné hrany a šířily se od náběžné hrany pod úhlem cca 80 až 85°. Detailní hodnocení bylo následně zaměřeno na magistrální trhlinu č. 4. Poté byl připraven metalografický výbrus.



Obr. 3: Vnitřní povrchy segmentů D1 a D2 a charakter magistrální trhliny č. 4

Příčný řez magistrální trhlinou

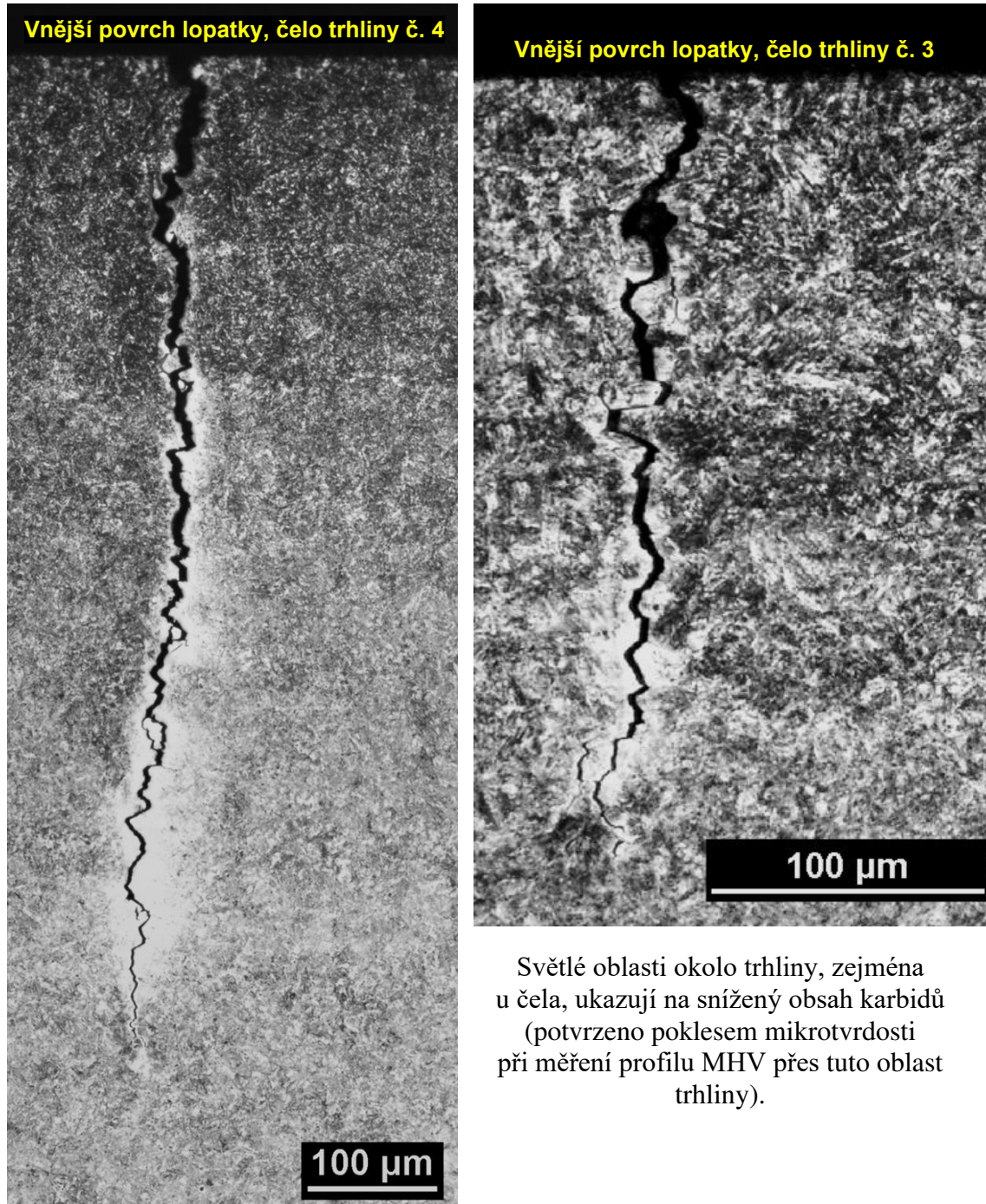
Magistrální trhlina byla rozdělena příčným řezem cca v polovině své délky. Hloubka trhliny a její charakter větvení je viditelný na obr. 4. Z pořízené fotodokumentace v řezu je patrné v těsném okolí trhliny větvení, především pak v oblasti čela trhliny. Větvení a interkrystalický průběh (průběh po hranicích zrn) je charakteristický pro poškození korozním praskáním pod napětím (SCC), ke kterému dochází při působení tahového napětí ve specifickém prostředí.



Obr. 4: Charakter magistrální trhliny č. 4 v řezu + větvení trhliny

Dokumentace mikrostruktury materiálu lopatky

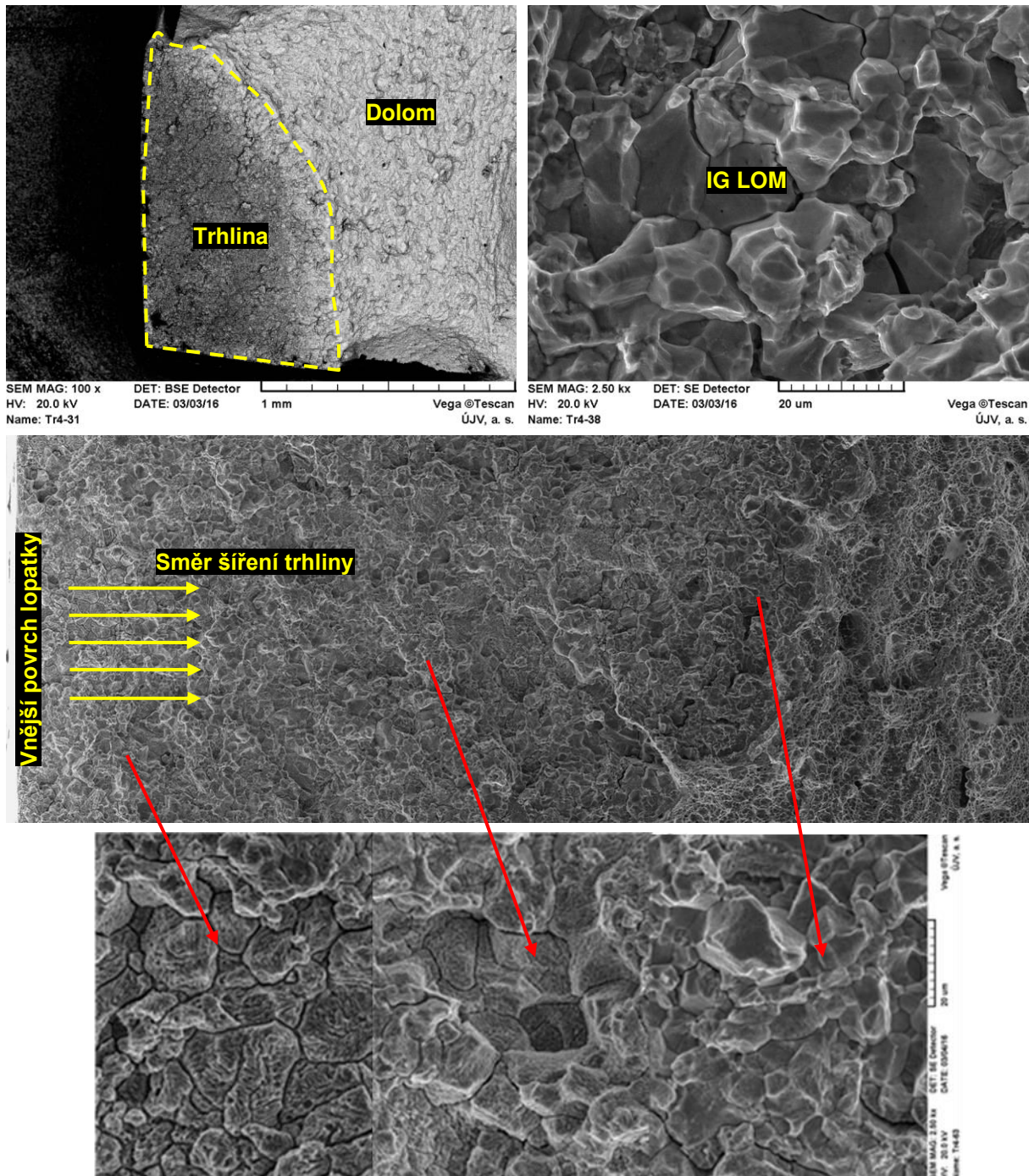
Mikrostruktura materiálu byla dokumentována v blízkosti trhlin č. 3 a č. 4. Mikrostruktura materiálu je martenzitická (obr. 5) a odpovídá deklarované mikrostruktúře materiálu lopatky X12CrNiMo. Po leptání se v blízkosti trhlin (v okolí $\pm 60 \mu\text{m}$) zejména u jejich čela vyskytovaly světlé oblasti, které ukazují na snížený obsah karbidů (v důsledku koroze).



Obr. 5: Dokumentace mikrostruktury materiálu lopatky v oblasti trhlin č. 3 a č. 4

Dokumentace dolomené části lopatky s trhlinou

Po provedení analýz v oblasti magistralní trhliny č. 4 byla trhlina ze segmentu D1 vyřezána a následně rozlomena pro studium lomové plochy. Morfologie plochy rozlomené trhliny byla studována na elektronovém mikroskopu. Vzhled trhliny po rozlomení je uveden na obr. 6. Morfologie lomové plochy trhliny byla v celém průřezu tvořena interkrystalickým křehkým lomem. Trhlina se šířila z vnějšího povrchu směrem do materiálu tělesa lopatky a její hloubka byla cca 0,80 mm. Oxidické úsady, které se na lomové ploše vyskytovaly, měly proměnnou tloušťku. Z oblasti ústí trhliny (z oblasti vnějšího povrchu) tloušťka oxidických úsad směrem k čelu trhliny klesala.



Obr. 6: Dokumentace morfologie v oblasti ústí trhliny, střední části a čela trhliny

Závěr

Analyzované trhliny jsou interkrystalické, vzniklé v důsledku korozního praskání pod napětím (SCC). Při korozním praskání pod napětím vznikají a rostou v materiálu trhliny vlivem statického tahového napětí při součinnosti specifického korozního prostředí. Morfologii lomové plochy trhliny tvoří převážně interkrystalický lom, který se šíří převážně po hranicích zrn.

Mechanismus SCC se vysvětluje aktivním rozpouštěním na čele trhliny, která zároveň působí jako koncentrátor napětí. Pro vznik SCC není vždy nutné vnější mechanické namáhání, ale stačí jen přítomnost vnitřního napětí v materiálu. K iniciaci korozní trhliny dochází v místech porušení pasivační vrstvy tahovým napětím, místem jejího vzniku může být lokalizovaná koroze na povrchu.

Na základě destruktivního hodnocení dodané lopatky NT dílu, lze konstatovat následující:

- V oblasti náběžné hrany lopatky bylo identifikováno celkem pět lineárních trhlín, jejichž délky se pohybovaly od 1,1 mm do cca 2,5 mm.
- Hloubka magistrální trhliny byla cca 0,8 mm.
Morfologie lomové plochy trhliny č. 4 byla tvořena interkrystalickým křehkým lomem.
- Trhliny vyskytující se v oblasti náběžné hrany lopatky vznikly mechanismem korozního praskání pod napětím.

Literatura

- [1] KRPEC, Miroslav, BURDA, Jaroslav, ERNESTOVÁ, Miroslava a SKOUMALOVÁ, Zuzana, *Analýza vad poškozené lopatky NT dílu TG stroje*. 2015, ÚJV Řež, a. s.