

# Únavové poruchy letadel – řádkovací elektronová mikroskopie

Radana Janovská (Gymnázium T. G. Masaryka Hustopeče), [radanajanovska@seznam.cz](mailto:radanajanovska@seznam.cz)

Tereza Ježková (Gymnázium Dobruška), [deirdre.yavanna@seznam.cz](mailto:deirdre.yavanna@seznam.cz)

Zdeněk Houfek (Gymnázium Říčany), [chili.zdenek@gmail.com](mailto:chili.zdenek@gmail.com)

## Abstrakt

Práce se zabývá fraktografií, řádkovací elektronovou mikroskopií a jejich využitím při zkoumání únavových poruch letadel. Fraktografická analýza přispívá k přesnějšímu určení životnosti jednotlivých komponentů, což může zabránit leteckým katastrofám a zároveň prodloužit dobu mezi servisními prohlídkami letadel.

## 1 Úvod

Cílem naší práce bylo seznámit se s fraktografií a řádkovací elektronovou mikroskopií, které se používají při analýze únavových poruch letadel. Zkoumali jsme příčinu poškození lopatky turbíny leteckého motoru. K práci jsme používali řádkovací elektronový mikroskop, s jehož pomocí jsme analyzovali povrch lomu této lopatky.

## 2 Fraktografie

Fraktografie je věda zabývající se zákonitostmi lomů a deformacemi pevných látek např. při únavě materiálu. Únavou materiálu je označena deformace, která je způsobena cyklickou provozní zátěží. Informace o procesu porušování se získávají pozorováním pouhým okem, užitím zvětšovacího skla i nejmodernějšími řádkovacími elektronovými mikroskopy. Analyzuje se morfologie lomových ploch a získané poznatky o procesech porušování se používají ke zlepšení konstrukce konkrétního výrobku.

Fraktografická analýza pomáhá určit průběh porušování jednotlivých součástí i historii porušení celé konstrukce. Toho se využívá při únavové zkoušce, kdy jsou části (např. křídlo letadla) podrobeny nejrůznějšímu zatěžování, které simuluje provozní podmínky. Po zkoušce jsou jednotlivé součástky zkoumány kvůli výskytu únavových trhlin. Pomocí výsledků fraktografické analýzy a údajů zaznamenaných v průběhu zkoušky je možné zjistit i přesný čas vzniku a rozvoje jednotlivých poruch, čímž lépe určíme životnost součástek.

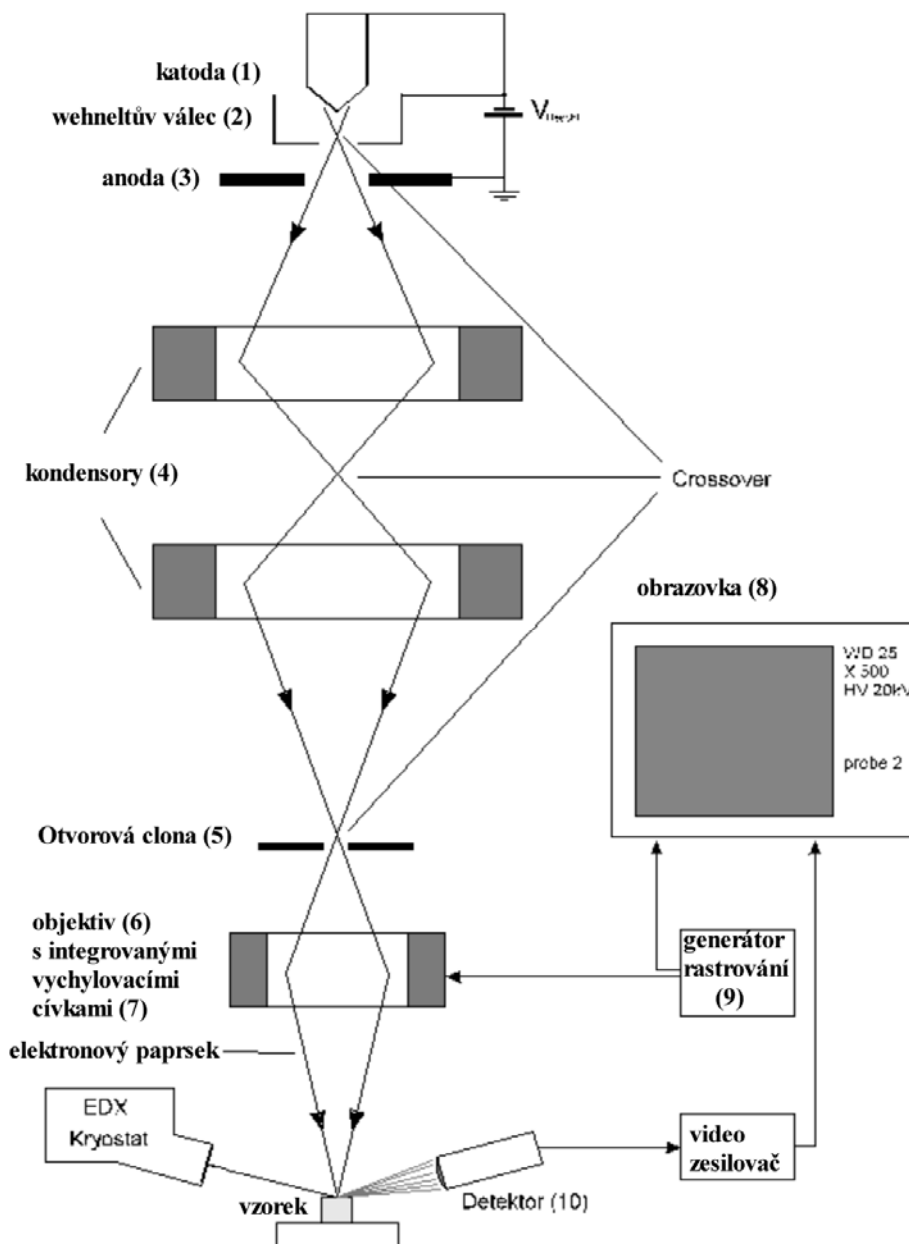
Fraktografie může též objasnit příčiny různých leteckých i jiných havárií. V takovém případě se analyzuje porušený díl, na lomových plochách se hledají charakteristické znaky pro určitý typ porušování nebo technologické vady.

## 3 Řádkovací elektronová mikroskopie

Narozdíl od běžných světelných mikroskopů se v elektronových mikroskopech místo světla používá svazek elektronů, které jsou urychleny elektrickým polem. Existují dva typy elektronových mikroskopů:

- 1) Transmisní elektronový mikroskop (TEM) - Funguje na principu „prosvícení“ daného vzorku elektrony. Proto je jeho uspořádání obdobné jako u mikroskopu optického - vlastní obraz vzniká tak, že elektrony, které pronikly vzorkem jsou zaostřeny v systému čoček a nakonec zviditelněny na obrazovce.
- 2) Řádkovací elektronový mikroskop (SEM – scanning electron microscope) – S ním jsme pracovali, proto se jím budeme zabývat podrobněji.

## Řádkovací elektronový mikroskop:



Obr 1. : Schéma řádkovacího elektronového mikroskopu.

Zdrojem elektronů je wolframové vlákno, které je zahříváno elektrickým proudem. Elektrony prochází elektronovým dělem, kde jsou urychlovány elektrickým polem a soustřeďovány soustavou elektromagnetických čoček do úzkého svazku. Ten dopadá na zkoumaný vzorek. Jak elektronové dělo, tak komora vzorku obsahují vakuum. Interakcí elektronového svazku s materiálem vzorku se uvolňují sekundární elektrony a následně jsou snímány scintilačním detektorem. Pohyb elektronového svazku po povrchu vzorku je svázán s pohybem paprsku na obrazovce, čímž vzniká obraz.

Oproti transmisnímu elektronovému mikroskopu, u kterého používáme pouze tenké vzorky, protože právě takové je možno prozářit elektronovým svazkem, pod řádkovacím elektronovým mikroskopem můžeme sledovat vzorky masivní.

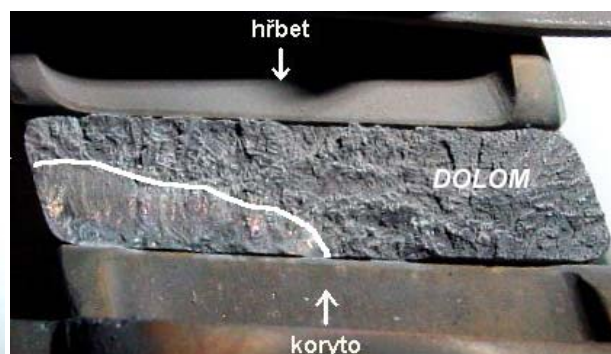
## 4 Povrch lomu lopatky

Praktickým příkladem fraktografické analýzy je vyhodnocení poruchy lopatky generátorové turbíny leteckého motoru M601 (obr. 2). Byla analyzována jedna lopatka z celkového počtu 57 porušených lopatek. Pro analýzu byla použita makrofotografie, a řádkovací elektronová mikroskopie (obr. 3). Již na základě makrosnímků (obr. 4) lomové plochy byly patrné dva způsoby porušování lopatek. Před zkoumáním vzorku v elektronovém mikroskopu bylo potřeba odstranit znečištění povrchu lomových ploch. Řádkovací elektronová mikroskopie potom přiřadila jednotlivým částem lomové plochy jejich mechanismy porušování. Únava materiálu v jedné části lomové plochy byla prokázána přítomností striací (obr 5). Zbytek lomové plochy nesl znaky následného statického dolomu (obr. 6). Díky tomu bylo možné rekonstruovat průběh porušení lopatky. Během provozu došlo ke vzniku trhliny na defektu materiálu (obr. 7) a následnému šíření mechanismem únavového porušování. Po porušení značné části (cca 30%) nastalo statické dolomení zbytku nosného průřezu (plocha řezu v místě porušení).

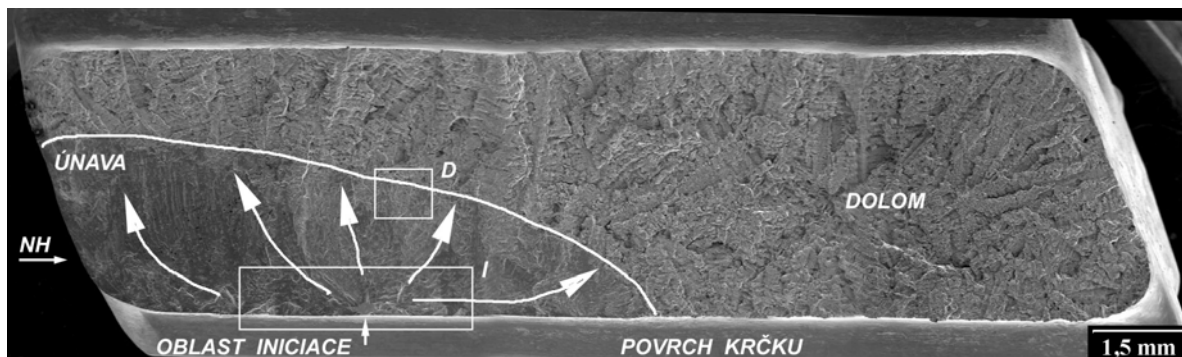
Striace jsou typickým znakem únavového lomu (obr. 5) a vznikají cyklickou plastickou (nepružnou) deformací porušovaného materiálu. Ze vzdálenosti mezi jednotlivými striacemi lze určit rychlost šíření únavové trhliny. Bohužel vztah mezi vzdáleností jednotlivých striací a rychlostí šíření trhliny pro daný typ materiálu nebyl znám. Nedala se proto určit doba uplynulá od vzniku trhliny – oblasti iniciace (obr. 7) do celkového porušení lopatky.



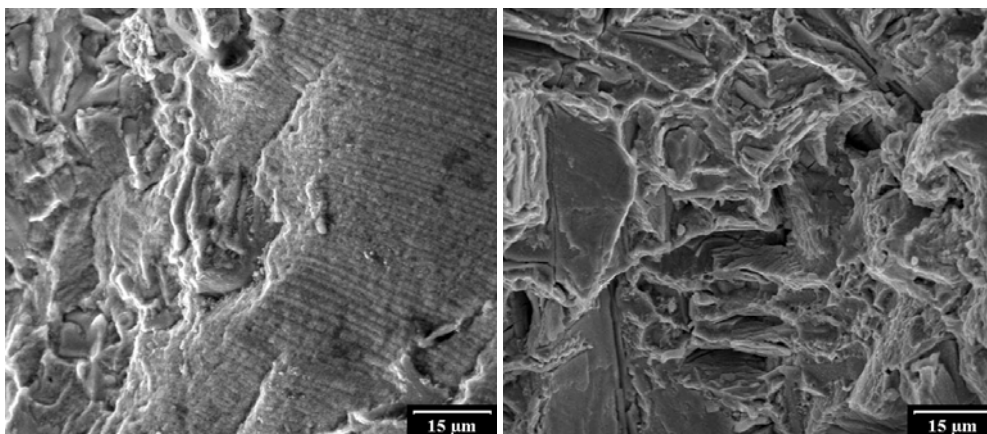
Obr. 2 : Disk rotoru.



Obr. 3 : makrofotografie lomové plochy.

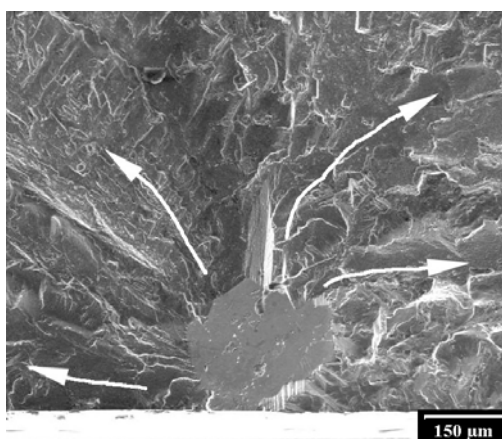


Obr. 4 : Snímek lomové plochy pořízený pomocí řádkovacího elektronového mikroskopu.



Obr. 5 : Únavový lom.

Obr. 6 : Dolom.



Obr. 7 : Iniciační únavové trhliny.

## 5 Závěr

Na základě provedené analýzy lze předpokládat, že příčinou poruchy byla přítomnost nevhodně orientovaného krystalového zrna značné velikosti a nešlo o výraznou materiální nebo technologickou vadu (stopy po obrábění, broušení atd.). Velikost statického dolomu byla relativně velká. Proto lze usuzovat, že namáhání lopatky bylo značně vysoké (pro ilustraci uvádíme, že se disk motoru otáčí cca 30 000krát za min.).

## Poděkování

Chtěli bychom poděkovat Ing. Janu Siegelovi, CSc., Ing. Ondřejovi Kovaříkovi, Ph.D a Fakultě jaderné a fyzikálně inženýrské, především potom organizátorům Fyzikálního týdne 2006.

## Reference:

- [1] VZLÚ a.s.: *Pevnost letadel*, <http://www.vzlu.cz/htmlfiles/pevnost.htm>
- [2] Kunz, J.: *Fraktografické studium šíření trhlin v letadlových konstrukcích*. [Výzkumná zpráva LU 24/2001/CLKV.] Brno, CLKV 2001, 40 s.
- [3] Siegl, J.: *Faktografická analýza provozní poruchy lopatky generátorové turbíny motoru M601*
- [4] Reule M., Hustert F.: *Grundlagen, Anleitung und Herstellung von Referenzproben zur Energie – Dispersive - Röntgenmikrobereichanalyse (EDX); studienarbeit; Fachhochschule Mannheim, Institut für Werkstoffprüfung und Werkstoffskunde*