

# Únavové poruchy letadel – řádkovací elektronová mikroskopie

*Wranová Markéta (Gymnázium Šternberk),  
Hudec Jan (Gymnázium Šternberk),  
Talanda Tomáš (Gymnasium Tišnov),  
Havel Marek (The English College in Prague)*

## Abstrakt

Jednou z nejnebezpečnějších poruch u letadel jsou právě únavové poruchy materiálů. Je tedy třeba omezit nebo úplně zabránit příčinám jejich vzniku. Ke studiu únavových trhlin se využívá řádkovací (rastrová) elektronová mikroskopie. Kombinací elektronové mikroskopie a jiných zkušebních metod můžeme blíže určit vznik a šíření únavových trhlin.

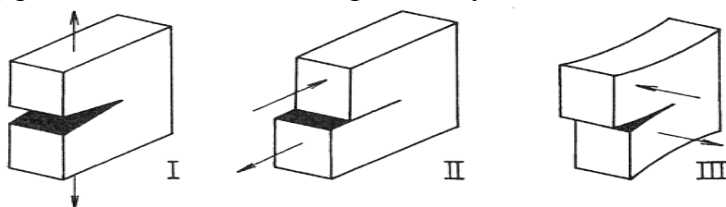
## 1 Úvod

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 technika používaná (zvláště pro kovy) pro studium selhání specifické části vzorku za pomoci fotografií (s vysokým rozlišením) lomové plochy. Zaměřuje se na získávání informací o místě vzniku trhliny mnohdy způsobené defekty materiálů jako jsou dutiny uvnitř materiálu nebo vměstky, místa koncentrace napětí, atd. Využití fraktografie spočívá v pochopení a potvrzení příčin a způsobů lomu.

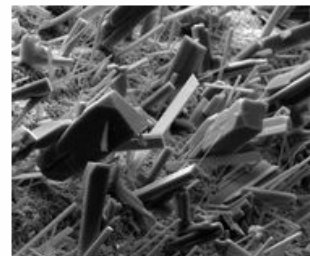
Může také objasnit příčiny různých leteckých i jiných havárií. V takovém případě se analyzuje porušený díl, na lomových plochách se hledají charakteristické znaky pro určitý typ porušování nebo technologické vady.



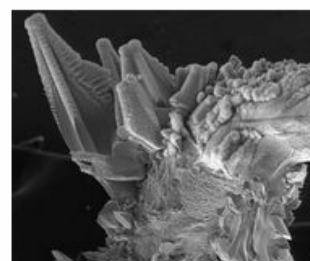
*Základní způsoby namáhání*

## 3 Řádkovací elektronová mikroskopie

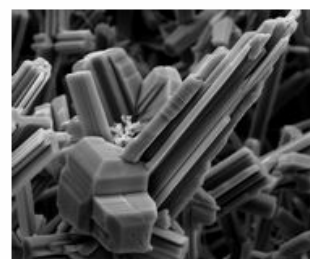
Hlavní rozdíl mezi optickým a elektronovým mikroskopem spočívá v nahrazení fotonů svazkem elektronů a optických čoček magnetickými, které vytváří vhodně tvarované magnetické pole. Předností elektronového mikroskopu je fakt, že vlnové délky elektronů jsou nesrovnatelně kratší než vlnové délky fotonů, což má za následek možnost zvětšení až  $10^6$ .



Krystalizace vlákna žárovky při autonehodě



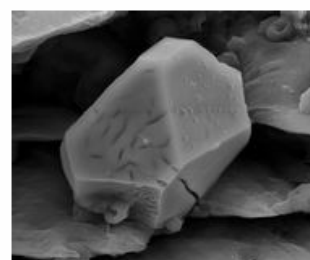
Krystalizace vlákna žárovky při autonehodě



Krystalizace reflektoru při autonehodě



Krystalizace reflektoru při autonehodě



Vinan draselný - vinný kámen

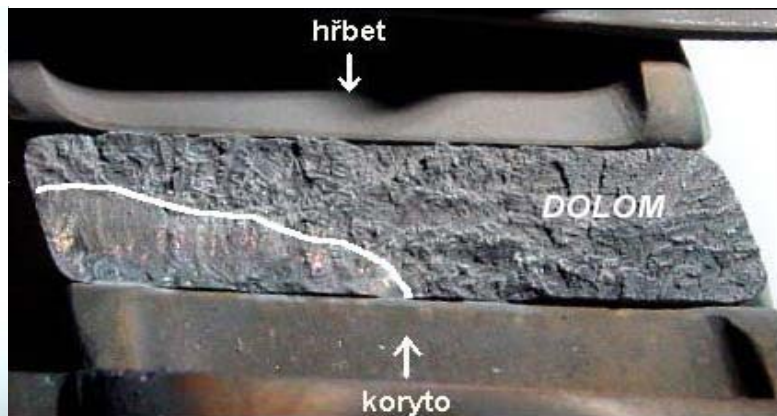
#### 4 Povrch lomu lopatky

Jeden z příkladů fraktografické analýzy uvádí práce našich kolegů<sup>1</sup> z loňského ročníku Fyzikálního týdne, kde analyzovali příčinu 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).

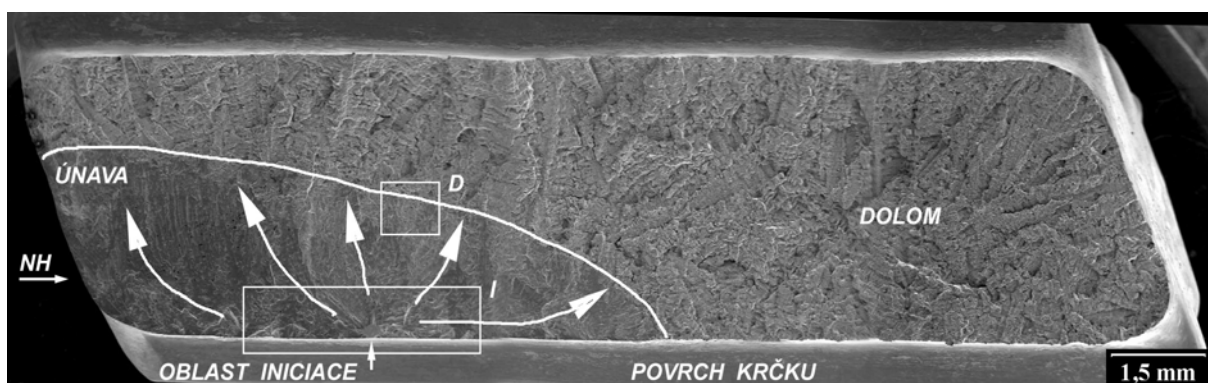
Na lomových plochách, které vznikly únavovým porušováním materiálu, jsou typickým jevem striace, které si můžete představit jako periodicky se opakující žlábkky. Jsou výsledkem plastické deformace. Podle vzdálenosti jednotlivých striací lze určit rychlost šíření únavového lomu a dle jejich orientace také lokální směr šíření trhliny.



Obr. 2 : Disk rotoru

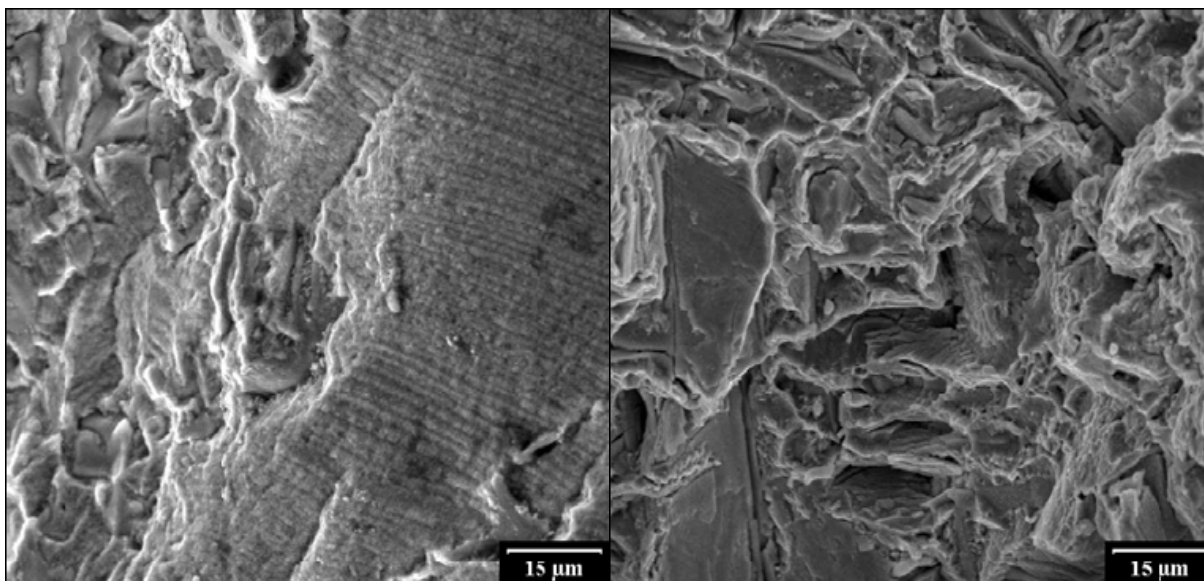


Obr. 3 : Makrofotografie lomové plochy



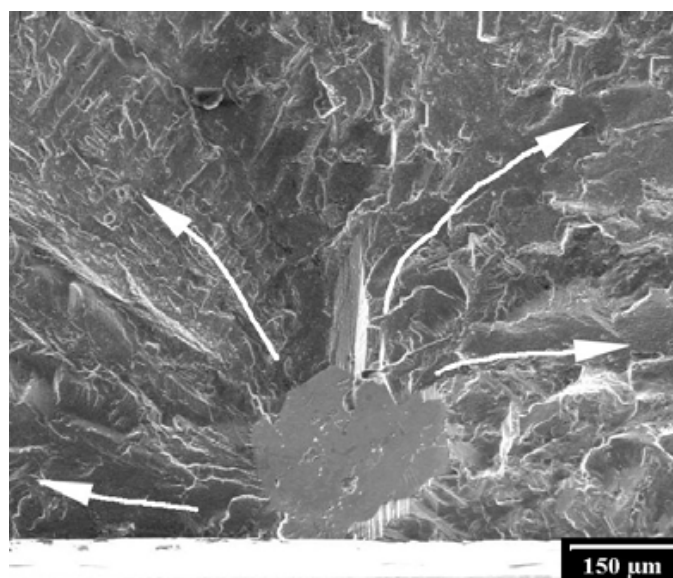
Obr. 4 : Snímek lomové plochy pořízený pomocí řádkovacího elektronového mikroskopu

<sup>1</sup> Radana Janovská, Tereza Ježková, Zdeněk Houfek: Únavové poruchy letadel – řádkovací elektronová mikroskopie. 2006.



Obr. 5 : Únavový lom striačným mechanizmom

Obr. 6 : Dolom



Obr. 7 : Miesto iniciácie únavové trhliny

## 5 Závěr

Faktograficky bylo prokázáno, že příčinou porušení lopatky u generátorové turbíny leteckého motoru M601 byla nešťastně umístěné rozhraní dvou krystalových zrn (protínající v délce asi 40 µm povrch lopatky). Nešlo však o výraznou materiálovou ani technickou vadu.

## Poděkování

Rádi bychom poděkovali Ing. Janu Siegelovi, CSc., Ing. Ondřejovi Kovaříkovi, Ph.D a Fakultě jaderné a fyzikálně inženýrské, obzvláště pak organizátorům Fyzikálního týdne 2007.

## Reference:

- [1] VZLÚ a.s.: Pevnost letadel, <http://www.vzlu.cz/htmlfiles/pevnost.htm>
- [2] Siegl, J.: Faktografická analýza poruchy lopatky generátorové turbíny motoru M601
- [3] <http://stoupa.sh.cvut.cz/~napoleon/Materialisti/31.5.2006/Andy-Souhrn.doc>
- [4] <http://wikipedia.org>
- [5] Únavové poruchy letadel, Fyzikální týden 2006