

ÚNAVA MATERIÁLOV

Únava konštrukčných materiálov je **degradačný proces nevratných zmien vlastností a stavu materiálu**, vyvolaný jeho **opakovaným mechanickým, tepelným alebo tepelno-mechanickým zaťažovaním** za súčasného spolupôsobenia ďalších faktorov.

K únavovému porušeniu materiálu môže dochádzať **pri jeho zaťažovaní časovo premenlivými vonkajšími silami**, ktoré v ňom vyvolávajú elastické deformácie a napätia neprevyšujúce hodnoty prípustné pri statickom zaťažovaní. Zaťažovanie môže prebiehať pri jednoduchých namáhaniach, ako je napr. jednoosový ťah- tlak, rovinný ohyb alebo častejšie pri kombinovanom namáhaní, napr. ohyb pri rotácii, dvojosový ťah, tlak, atď.

Proces únavy má **kumulatívny charakter**, predstavujúci zníženie pevnosti a životnosti namáhanej súčiastky alebo zariadenia, ktorý sa **v závere porušovania prejaví rastom makroskopickej trhliny a lomom**.

Cyklické (kmitavé) zaťaženie mení periodicky svoju hodnotu od minima k maximu, pričom táto periodická zmena môže byť pravidelná alebo nepravidelná. Pokiaľ sa **zaťažovací cyklus** v rámci jedného zaťažovacieho bloku **pravidelne opakuje**, hovoríme o **harmonickom zaťažovaní**. Keď sa počas zaťažovania nemení maximálna a minimálna hodnota napätia, hovoríme o **zaťažovaní s konštantným rozkmitom napätia**. V prevádzke sú však súčiastky vystavené zaťažovaniu, ktoré má neharmonický až náhodný charakter priebehu napätia v závislosti od času.

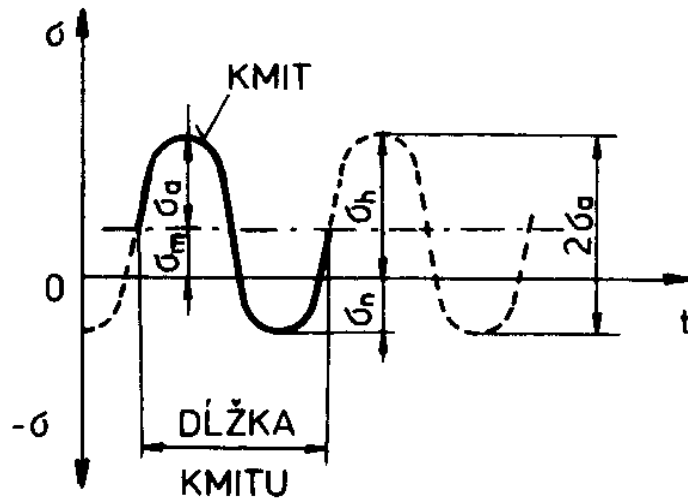
V rámci jedného pravidelného zaťažovacieho cyklu možno charakterizovať:

- **horné napätie** σ_h = maximálna hodnota cyklického napätia ;
- **dolné napätie** σ_n = minimálna hodnota cyklického napätia;

Potom možno definovať:

- **stredné napätie cyklu** σ_m
$$\sigma_m = \frac{\sigma_h + \sigma_n}{2}$$
 = stredná hodnota horného a dolného napätia kmitu
- **amplitúda (výkmit) napätia** σ_a
$$\sigma_a = \frac{\sigma_h - \sigma_n}{2}$$
 = najväčšia hodnota premenlivej zložky cyklického napätia
- **rozkmit napätia** $\Delta\sigma$
$$\Delta\sigma = \sigma_h - \sigma_n$$

- **doba (dĺžka) kmitu** = najmenší časový úsek, počas ktorého sa opakuje rovnaký priebeh napätosti. Zaťažovací cyklus potom predstavuje priebeh napätia za jednu dobu kmitu.



Obr. 1 Časový priebeh napätia pre pravidelný zaťažovací cyklus

Celkovú únavovú životnosť súčiastok môžeme rozdeliť do 4 štádií:

- štádium zmeny mechanických vlastností
- štádium nukleácie trhlín
- štádium šírenia trhlín
- konečný lom

1. ŠTÁDIUM - ZMENA MECHANICKÝCH VLASTNOSTÍ

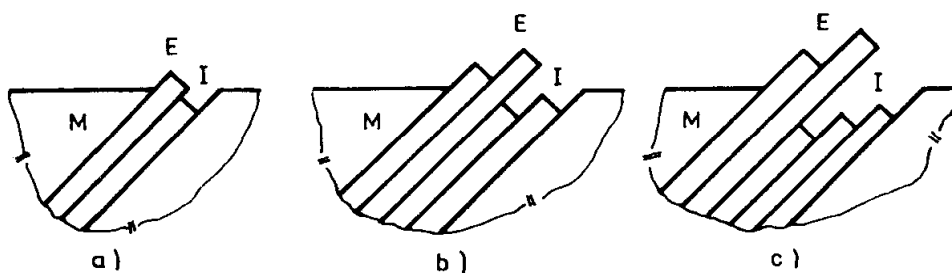
Štádium súvisí so zmenami v celom objeme zaťažovaného kovu. Mení sa hustota a konfigurácia mriežkových porúch, a tým aj fyzikálne a mechanické vlastnosti. Najvýraznejšie sa tieto zmeny prejavujú na začiatku cyklického zaťažovania, s rastúcim počtom cyklov ich intenzita klesá a po určitom počte cyklov sa už nemení. Odpor materiálu proti plastickej deformácii sa môže v priebehu únavového procesu zväčšovať alebo znižovať, a to v závislosti od typu materiálu, podmienok zaťažovania a teploty. Bolo experimentálne ukázané, že u materiálov vyžíhaných s pomerom $R_m/R_e > 1,4$ dochádza v tomto štádiu k tzv. **cyklickému spevneniu**; u materiálov spevnených deformačne, precipitačne, disperznými časticami, martenzitickou transformáciou a pod., dochádza k tzv. **cyklickému zmäkčeniu**. K cyklickému zmäkčeniu dochádza v materiáloch s pomerom $R_m/R_e < 1,2$.

2. ŠTÁDIUM - NUKLEÁCIA THRLÍN

K nukleácii trhliny cyklicky namáhaných telies dochádza **vždy na voľnom povrchu**, a to v miestach **koncentrácie cyklickej plastickej deformácie**. Nukleácia trhliny je podmienená prekročením určitého medzného lokálneho napätia, pričom pod hodnotami tohto napätia nevznikne zárodok trhliny ani pri vysokom počte zaťažovacích cyklov.

Pri cyklickom zažovaní materiálu dochádza najskôr k vytváraniu sklzových pásiem v povrchových zrnách, ktorých sklzové roviny sú orientované v smere najväčších šmykových

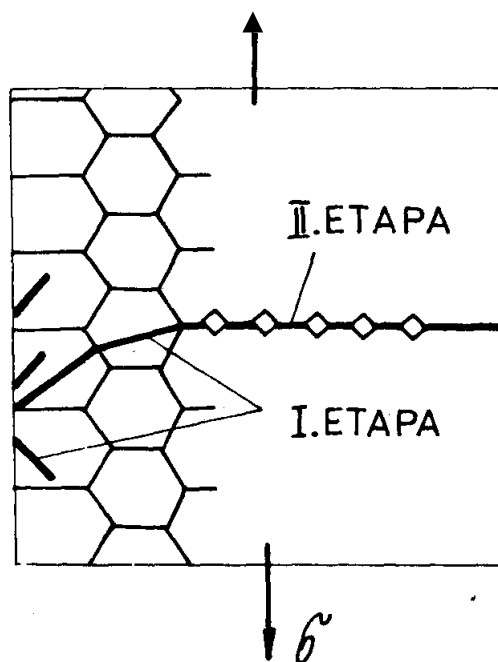
napätí. S rastúcim počtom cyklov narastá aj dĺžka, šírka a počet sklzových pásiem. Povrchový reliéf bude potom tvorený tzv. **extrúziami** a **intrúziami**. Mikrotrhlinou sa potom stáva intrúzia a jej rast sa vysvetľuje ako prehlbovanie intrúzie opakovaným sklzom v jednom sklzovom systéme.



Obr. 2 Schéma vzniku a rozvoja únavových sklzových pásov v materiáli:
E- extrúzia, I- intrúzia, M- základný materiál

3. ŠTÁDIUM - ŠÍRENIE TRHLÍN

Toto štádium je opäť lokalizované do malého objemu materiálu. Po ukončení nukleačného štádia obsahuje povrch kovu mikrotrhliny, orientované do smeru aktívnych sklzových rovín. Pri ďalšom cyklickom zaťažovaní sa tieto trhlinky navzájom prepájajú a rastú do hĺbky. Na základe energetických pomerov na čelách jednotlivých trhlín sa napokon s pokračujúcim zaťažovaním bude šíriť **len jedna**, tzv. **magistrálna únavová trhlina**. Táto sa pri svojom šírení natáča do smeru kolmého na vektor vonkajšieho zaťaženia, vid' obr. Prechod roviny trhliny z aktívnej sklzovej roviny do roviny kolmej k vonkajšiemu zaťaženiu sa označuje ako prechod od **kryštalografického šírenia (I. štádium šírenia)** do **nekryštalografického šírenia (II. štádium šírenia)**.



Obr. 3 Etapy šírenia únavovej trhliny

Keďže rýchlosť šírenia trhliny v I. štádiu je veľmi malá, počet cyklov potrebných pre jej rozvoj je neporovnateľne väčší, než v II. štádiu. Tento prípad je typický pre hladké telesá bez primárnych

vrubov. V prípade existencie ostrých vrubov (konštrukčných, technologických alebo metalurgických) je šírenie únavovej trhliny predstavované len II. štádiom.

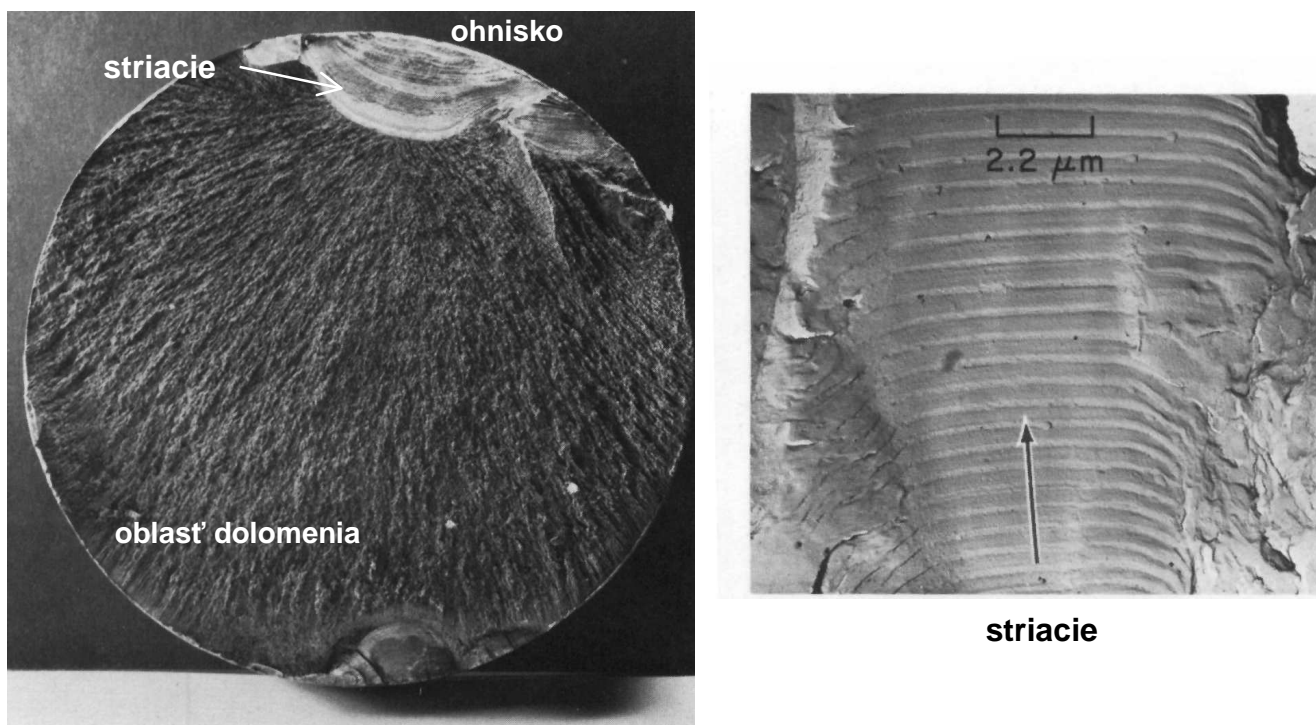
V oboch štádiách sa únavové trhliny šíria pri bežných teplotách **transkryštalicky** (cez objem zrna), šírenie trhlín po hraniciach zrn sa až na niekoľko výnimiek vyskytuje **len pri zvýšených teplotách**.

4. ŠTÁDIUM - KONEČNÝ LOM

Typickým znakom únavových lomov je, že k nim dochádza **náhle**, bez predošlej makrodeformácie materiálu, aj v prípade húževnatých materiálov, ktoré sa pri statickej skúške porušia až po výraznej plastickej deformácii.

Výsledkom šírenia únavovej trhliny je zoslabenie nosného prierezu súčasti. Ak dosiahne trhlina kritickú veľkosť, dôjde k náhlemu lomu zvyšného prierezu. Preto má každý únavový lom **dve rozlíšiteľné oblasti: oblasť únavového poškodenia a zvyškový lom (oblasť dolomenia)**.

Oblasť únavového poškodenia, v ktorej prebieha pozvoľný nárast trhliny, má vzhľad jemného lomu, ktorý je spôsobený opakovaným otváraním a zatváraním trhliny. Na lomovej ploche v tejto oblasti je viditeľné **východisko lomu (ohnisko)** a tzv. **rastové čiary (striacie)**. Zvyškový lom vzniká dolomením zvyšnej časti nosného prierezu, obr.

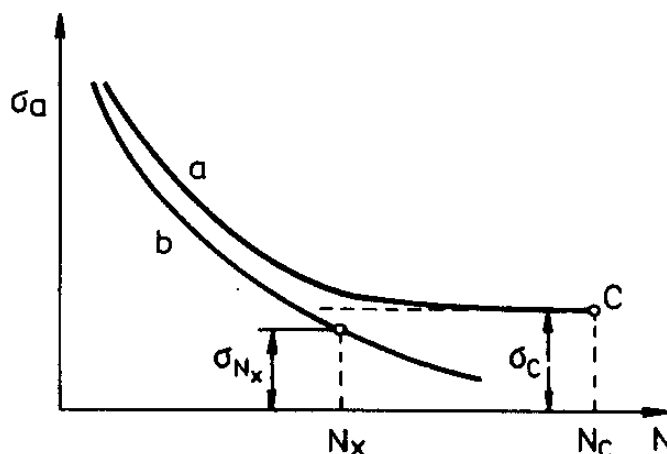


Obr. 4 Charakter únavového lomu piestu s detailom striácií;

Na základe charakteru nevratných zmien, spôsobených cyklickým zaťažovaním, možno tieto štádiá v rámci celkovej únavovej životnosti graficky znázorniť **krivkou únavy** alebo tzv. **Wöhlerovým diagramom**. Krivka únavy vyjadruje **závislosť $\sigma = f(N)$** , pričom σ predstavuje maximálnu hodnotu napätia daného cyklu a **N** počet zaťažujúcich cyklov zodpovedajúcich

príslušnému napätiu. Zostrojuje sa z experimentálne zistených údajov napätí σ_1 , σ_2 až σ_n a im zodpovedajúcim počtom cyklov N_1 , N_2 až N_n .

Rôzne materiály majú pri cyklickom namáhaní rôzne tvary kriviek únavy, obr. 5.

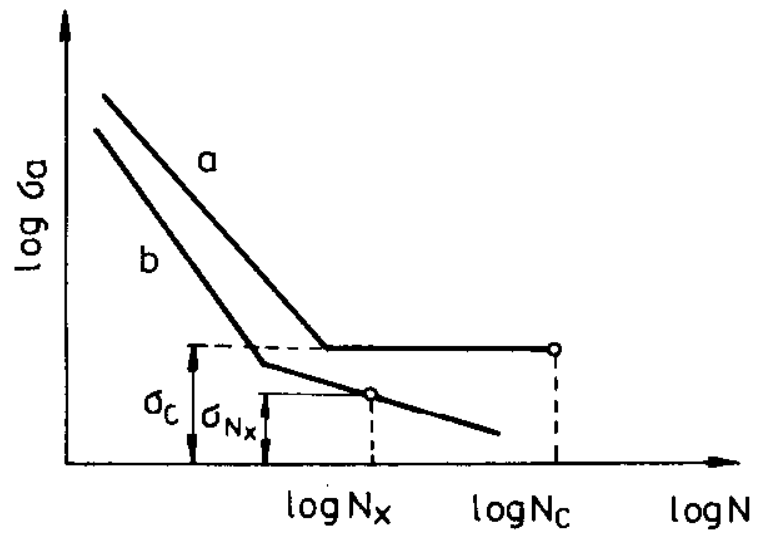


Obr. 5 Únavové krivky dvoch skupín materiálov

Krivka **a** je typická tým, že po klesajúcej časti nastáva jej ohyb do časti, ktorá sa asymptoticky blíži k nejakej medznej hodnote σ_c , ktorú nazývame **medza únavy**. Túto asymptotickú časť možno prakticky považovať za rovnobežnú s osou počtu cyklov N . Vyjadruje **najväčšie napätie, pri ktorom nenastane porušenie ani po prakticky neobmedzenom počte cyklov**. Tento tvar krivky únavy je typický pre nízkouhlíkové ocele a pre ďalšie intersticiálne zliatiny, ktoré sa vyznačujú deformačným starnutím. Efekt deformačného starnutia sa pri cyklickom namáhaní prejavuje zvýšením medze skľučovania materiálu (cyklické spevnenie) a v dôsledku toho sa zvyšuje aj jeho odolnosť proti porušeniu únavou.

Krivka **b** nemá asymptotickú časť a **napätie plynulo klesá s rastom počtu cyklov**, takže k **porušeniu dochádza pri konečnom počte cyklov pre všetky hodnoty napätia**. Takto sa správajú kovy a zliatiny s plošne centrovanou kubickou kryštálovou mriežkou, najmä zliatiny Al, ktoré nemajú efekt deformačného starnutia, alebo ak sa kovy skúšajú v koróznom prostredí. Pri týchto krivkách sa nedá definovať medza únavy predchádzajúcim spôsobom. Životnosť uvedených materiálov je definovaná **počtom cyklov do porušenia N_x** , zodpovedajúcim príslušnému napätiu, ktoré sa nazýva **časovaná medza únavy σ_{N_x}** .

Krivky únavy sa výhodnejšie znázorňujú v dvojitéch alebo v jednoduchých logaritmických súradniciach (obr.6) V tomto zobrazení sa krivky premenia na lomené čiary, čím sa uľahčí ich vyhodnocovanie využitím polohy zlomu.



Obr. 6 Zjednodušené Wöhlerove diagramy v logaritmických súradniciach