

THE APPLICATION OF THE STRAIN TEST RESULTS BY RAISED TEMPERATURES IN NUMERICAL SIMULATION

APLIKÁCIA VÝSLEDKOV ŤAHOVEJ SKÚŠKY PRI ZVÝŠENÝCH TEPLOTÁCH V NUMERICKEJ SIMULÁCII

Milan Lašček

Abstract: *The report deals with the origin of the stress. The stress is generated in the process of the cooling by the over-critical speed in the shaped shear tool. The appreciation criterion of the stress aspect in actual element or discrete point is an account of the elastic limit for actual temperature or interval of the elastic limit for actual temperature interval.*

Keywords: numerical simulation, simulation model, stress-strain state, thermal-mechanical properties, FEM

ÚVOD

Numerická analýza tvarového strižníka potvrdzuje skutočnosť, že pre zadávanie teplotnofyzikálnych, ale aj teplotnomechanických vlastností sú potrebné mnohé experimenty alebo overené údaje z hodnoverných literárnych zdrojov. Proces ich definovania je však všeobecne zložitý.

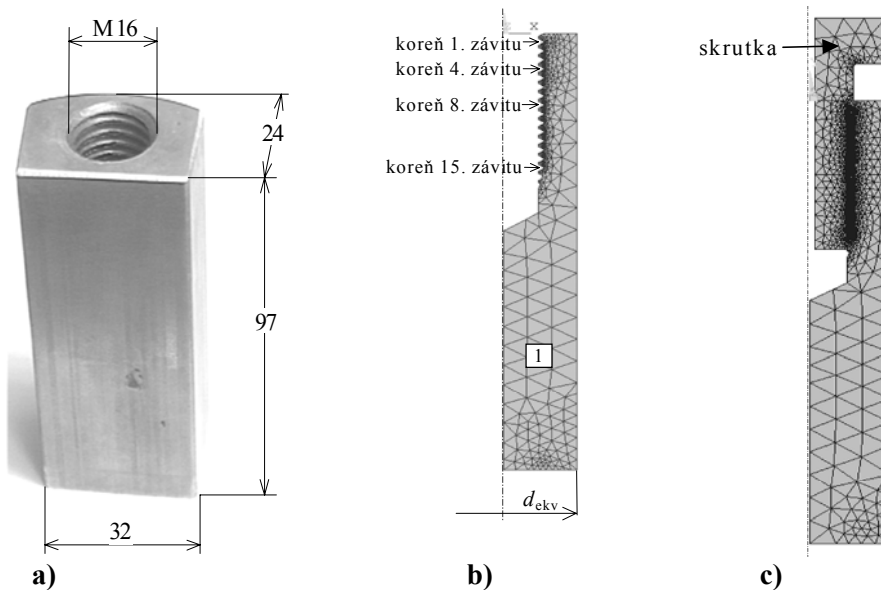
Pre vyhodnotenie medzných stavov v telese strižníka bolo nutné definovať jeho pevnostné vlastnosti, najmä však medzu sklzu (zmluvnú medzu sklzu) ako funkciu teploty. Pre tieto účely poslúžili výsledky ťahovej skúšky pri zvýšených teplotách. Materiálom skúšobných telies, ako aj tvarového strižníka, bola rýchlorezná oceľ STN 41 9830.

Numerická simulácia procesu ochladzovania tvarového strižníka nadkritickou rýchlosťou bola realizovaná na dvoch osovosymetrických rovinných modeloch pri využití programového softvéru ANSYS. Na obr. 1 máme možnosť vidieť geometrický model úlohy.

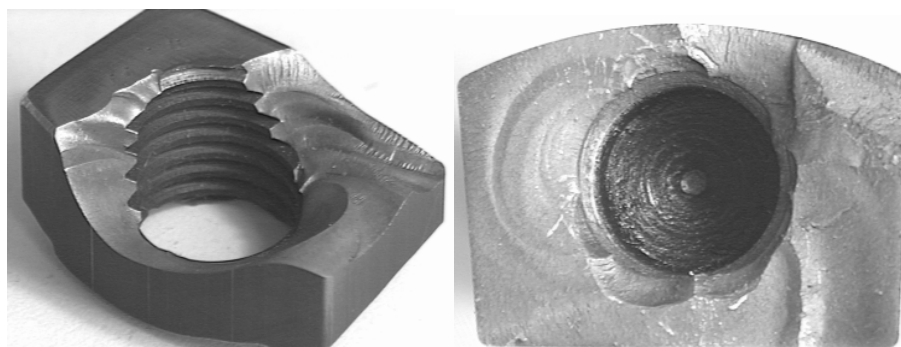
Návrh simulačného modelu, ktorého súčasťou je matematický model, fyzikálny model a podmienky jednoznačnosti, je uvedený v [1]. Technologický problém konvenčného tepelného spracovania nástrojov je možné definovať ako dynamický tepelný a štruktúrny systém, v ktorom sa teplota a od nej závislé veličiny menia v priestore a čase, pričom limitujúcim stavom je jeho začiatkový alebo konečný ustálený stav [2]. Východiskom pre tvorbu matematického modelu sú základné zákony termomechaniky, t. j. 1. zákon termodynamiky, ktorý reprezentuje zákon zachovania energie a 2. zákon termodynamiky, ktorý udáva smer samovoľnosti termomechanických procesov [3]. Po zvážení ďalších hľadísk počítanej úlohy bol tepelný systém označený ako deterministický, spojitý a nelineárny [4]. Stochastické javy nie sú uvažované [5]. Simulačný počítačový model má charakter informačného experimentu.

Geometrický model pre účel nášho experimentu pozostáva z osovosymetrického rovinného modelu so závitom M16 (obr. 1b) a z osovosymetrického rovinného modelu so závitom a so skrutkou (obr. 1c). Tvarové strižníky, ktoré sa používajú na strihanie tvarových otvorov nábojov lamely pre spojky osobných automobilov, sú skrutkovým spojom pripevnené k nástroju. Z dôvodu poškodzovania boli posudzované po stránke štruktúrnej na Katedre materiálového inžinierstva Materiálovotechnologickej fakulty STU v Trnave. Príspevok analyzuje jeden typ tvarového strižníka (obr. 1a). V priebehu prevádzky strihadla, teda v zložitých podmienkach vystrihovania, dochádzalo k deštrukčným poruchám telesa strižníka (obr. 2), ktoré mali charakter nízkocyklovej únavy [6, 7, 8].

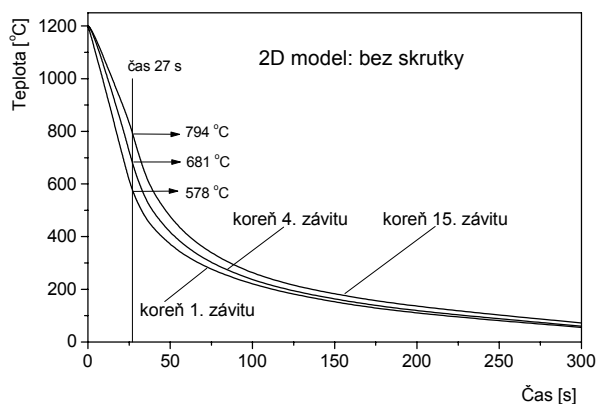
Dôležitým faktorom pri posudzovaní medzných napät'ových stavov, je stav mikroštruktúry zodpovedajúci danému technologickému postupu spracovania súčiastky a skúšobných tyčí.



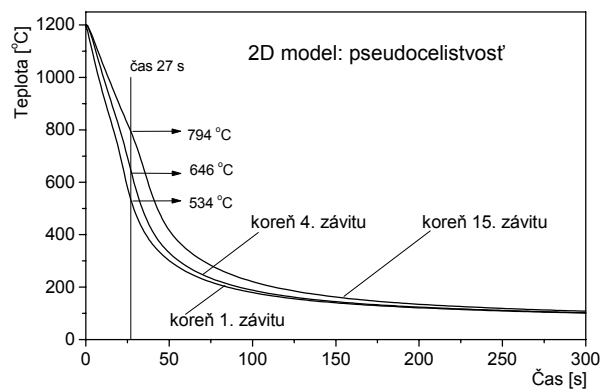
Obr. 1 a) Strižník, jeho základné rozmery, b) osovový 2D model so závitom, c) osovový 2D model s lícovanou skrutkou



Obr. 2 Lomové plochy strižníka v oblasti závitu M 16



Obr. 3 Časová závislosť teploty vo vybraných koreňoch závitov strižníka, proces ochladzovania, 2D model bez skrutky



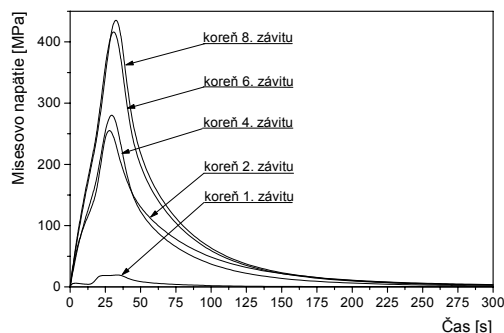
Obr. 4 Časová závislosť teploty vo vybraných koreňoch závitov strižníka, proces ochladzovania, 2D model so závitom a aplikovanou skrutkou

1. Ochladzovanie – časový priebeh teplôt vo vybraných bodoch

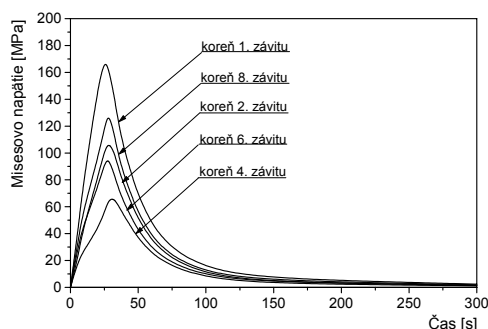
Na obr. 3 je uvedený teplotný priebeh ochladzovania 2D modelu so závitom a bez skrutky. Zmena teploty ako funkcia času pre 2D model so závitom a so skrutkou v priebehu ochladzovania je na obr. 4. Hodnoty teplôt vo vybraných koreňoch jednotlivých závitov sú znázornené v čase 27 s pre obidva modely. Teplotný priebeh v koreni piateho, šiesteho až štrnásteho závitú sa nachádza medzi teplotnými priebehmi štvrtého až pätnásteho závitú, obr. 3 a 4.

2. Ochladzovanie – časový priebeh Misesovho napätia vo vybraných bodoch

Zníženie stavu napätosti v oblasti koreňov vybraných závitov je zrejmé z pozorovania stavov na obr. 5 a 6. Pre model bez skrutky bola maximálna hodnota ekvivalentného napätia podľa Misesa 442,1 MPa, a to v čase 33 s, obr. 5. Aplikácia lícovanej skrutky spôsobila pokles maxima Misesovho napätia na hodnotu 168 MPa, čo bolo v čase 27 s, obr. 6.



Obr. 5 Misesovo ekvivalentné napätie [MPa] v koreňoch závitov strižníka ako funkcia času pri ochladzovaní v oleji J4, 2D model so závitom

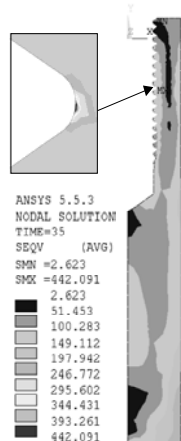


Obr. 6 Misesovo ekvivalentné napätie [MPa] v koreňoch závitov strižníka ako funkcia času pri ochladzovaní v oleji J4, 2D model so závitom a s lícovanou skrutkou

3. Vyhodnotenie napät'ových stavov

Pre vyhodnotenie vznikajúcich napät'ových stavov je veľmi dôležitá teplotná závislosť medze sklzu. Podľa nej sme schopní posúdiť, či v danom čase pri konkrétnom teplotnom poli a v konkrétnom uzle či elemente, je hodnota Misesovho ekvivalentného napätia menšia alebo väčšia ako medza sklzu. Prekročenie hodnoty medze sklzu pre daný čas, teplotu a miesto môže znamenať pre materiál iniciáciu poškodenia, teda vznik zárodku mikrotrhliny, resp. pri danej energetickej dotácii vznik a rast mikrotrhliny [8]. Lokálne prekročenie medze sklzu sa uskutočňuje pomerne ľahko, preto je výsledok numerickej analýzy cennejší. Numerickej analýze môže detekovať prípadné lokálne porušenia v materiáli, ktoré často v komplikovaných prevádzkových podmienkach zaťaženia vyúsťujú do vytvorenia dvoch nových povrchov v dôsledku straty pôsobenia medziatomárných väzieb v materiáli [9]. **Pre posudzovanie medzných stavov, ktoré sú funkciou času, teploty a miesta, sú k dispozícii teplotné a napät'ové polia** pre daný spôsob tepelnomechanického ovplyvnenia materiálu súčiastky, v našom prípade strižníka. Na obr. 7 máme možnosť vidieť príklad napät'ového pola 2D modelu tvarového strižníka v čase 35 s a na obr. 8 je teplotná závislosť zmluvnej medze sklzu pre materiál strižníka, teda pre RO STN 41 9830.

Ako príklad hodnotenia napät'ových stavov pre konkrétny čas, miesto a teplotu môžeme uviesť posúdenie náhodne vybraného stavu pre 37,5 s z obr. 3, ktorému zodpovedá teplota 510 °C v koreni štvrtého závitú 2D modelu bez skrutky. Osovymetrický 2D model bez skrutky je na obr. 1b. Času 37,5 s a teplote 510 °C zodpovedá z obr. 5 hodnota 235 MPa a z obr. 8 hodnota zmluvnej medze sklzu 440 MPa, čo je dovolená hodnota napätia. Napätie podľa von Misesa je v čase 37,5 s a v štvrtom koreni závitú 2D modelu bez skrutky evidentne pod medzou sklzu. Dá sa predpokladať, že v čase 37,5 s sa v koreni 4. závitú v priebehu ochladzovania nadkritickou rýchlosťou **nebude iniciovať zárodok porušenia**. Neznamená to však, že sa tam nemôže porušenie iniciovať v inom čase.



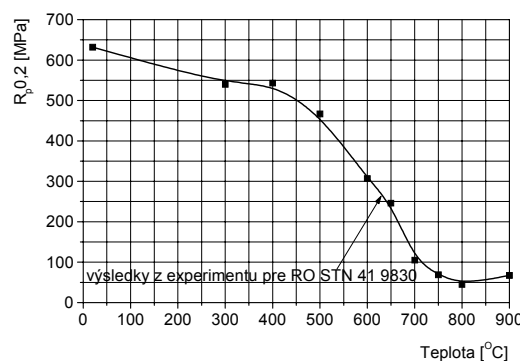
Obr. 7 Napätové pole podľa Misesa [MPa] v čase 35 s, ochladzovanie v oleji, 2D model bez skrútky

Podľa obr. 7 je v čase 35 s 2D modelu bez skrútky v koreni 8. závitu lokálne Misesovo napätie 442 MPa. Pre časový údaj 35 s je adekvátna podľa obr. 3 teplota 600 °C, ktorej zodpovedá podľa obr. 8 hodnota zmluvnej medze sklzu 315 MPa. Napätie je v čase 35 s v koreni 8. závitu nad medzou sklzu, preto vzniká dôvodné podozrenie na iniciáciu zárodku lokálneho porušenia, ktoré môže, ale aj nemusí ovplyvniť ďalší priebeh životnosti tvarového strižníka.

Podobne môžeme pristupovať k vyhodnoteniu napäťových stavov 2D modelu so závitom a s lícovanou skrútkou, teda podľa údajov na obr. 4, 6 a 8. Pre 2D model s lícovanou skrútkou (obr. 1c), je vo štvrtom koreni závitú podľa obr. 4 teplota 440 °C. Túto teplotu má strižník v koreni štvrtého závitú v čase 37,5 s. Podľa obr. 6 je v čase 37,5 s v koreni štvrtého závitú napätie podľa von Misesa 57,5 MPa. Dovolená hodnota zmluvnej medze sklzu pre teplotu 600 °C je 510 MPa, ako to vyplýva z obr. 8. V čase 35 s je lokálne napätie podľa von Misesa vo štvrtom koreni závitú výrazne pod medzou sklzu, teda sa dá eliminovať negatívny vplyv na vznik zárodku lokálneho porušenia strižníka v tomto mieste. Je to dôsledok uplatnenia princípu pseudocelistvosti, teda aplikácie lícovanej skrútky do závitú M16.

4. ZÁVER

- 1) Pri ochladzovaní 2D modelu bez skrútky vznikajú lokálne napätia vyššie ako je medza sklzu materiálu STN 41 9830 pre okamžité podmienky, čo predikuje vznik trvalých deformácií a výskyt mikrotrhlín.
- 2) Maximá Misesovho napätia, ktoré definujú prechod elastických napätí do plastických, sa vyskytujú na hranách strižníka, v koreňoch závitov strižníka a v čase sa po nich presúvajú.
- 3) Tepelná a napäťová numerická analýza určila za kritické miesta tvarového strižníka jednotlivé hrany a oblasti koreňov závitú M 16.
- 4) Oblasti koreňov jednotlivých závitov predstavujú funkčné koncentratory napätia.
- 5) Zníženie koncentrácie napätí v koreňoch závitov pri ochladzovaní nadkritickou rýchlosťou pre oceľ M2 je možné dosiahnuť napr. aplikáciou lícovanej skrútky do závitú M 16, teda „pseudocelistvosťou“.
- 6) Pseudocelistvosť eliminovala hodnoty okamžitých napätí, ktoré v procese ochladzovania nadkritickou rýchlosťou vznikajú práve v oblasti tvarových prvkov závitú.
- 7) Lokálny napäťový stav zodpovedajúci konkrétnemu teplotnému poľu v príslušnom čase, nie je možné posudzovať bez existujúcej závislosti medze sklzu, resp. zmluvnej medze sklzu od teploty.



Obr. 8 Závislosť zmluvnej medze sklzu $R_{p0,2}$ [MPa] na teplote z experimentu pre RO STN 41 9830

LITERATÚRA

- [1] Taraba, B.: Návrh počítačového simulačného modelu pre tepelnú a štruktúrnú analýzu tepelne spracovávaného strižníka. Zborník vedeckých prác MTF STU, Trnava, 2001.
- [2] Taraba, B., Hazlinger, M.: Aplikácia tepelno-numerickej analýzy pri konvenčných technológiách tepelného spracovania, Vedecké práce MTF STU, zväzok 6, 1998.
- [3] Taraba, B.: Počítačové modelovanie teplotných polí a stavu napätosti pri konvenčných technológiách tepelného spracovania. In: Materiálové inžinierstvo, 6, 1999, č. 18, s. 1 - 8.
- [4] Ďuriš, R., Taraba, B.: Tepelné zaťaženie nástroja pri sústružení, Medzinárodná konferencia TECHNOLÓGIA 95, SJF STU, Bratislava, 1995.
- [5] Taraba, B., Behúlová, M., Kraváriková, H.: Hydromechanika & Termomechanika. ES STU Bratislava, 1999.
- [6] Hazlinger, M.: Analýza príčin poškodenia a nízkej životnosti tvarových strižníkov. In: Materiálové inžinierstvo, 5, 1998, č. 11, s. 33-39.
- [7] Puškár, A., Hazlinger, M.: Porušovanie a lomy súčastí. 1. vyd. Žilina, EDIS 2000. 295 s.
- [8] Hazlinger, M.: Rozbor porušených a zlomených súčastí. In: Transfer 2001. Trenčín: FŠT, 2001, s. 378 - 382.
- [9] Bošanský, J., Šmida, T.: Deformačné dvojčatenie a tranzitná teplota feritických ocelí. In: Kovové materiály, 38, 2000, č. 6, s. 400 - 415.