

EWK RUPTURE MODEL IN THE NUMERICAL SIMULATION OF THE BOLT HEAD TRIMMING

J. Bořkovec¹, J. Petruška²

Summary: *An important phase of the bolt production is a bolt head trimming. It is a very fast, complicated process including material failure. For this type of problems the explicit solvers are widely used. The calculations presented in this paper were performed by software PAMCRASH, version 2005.1. Finite element models were created using two types of material model with fracture mechanism, strain limit model and EWK model. In the next phase the experiment was carried out. The behaviour of the cutting force and the look of the separated material were evaluated. The results compare two computational material models to each other with a help of number of eliminated elements and contact force behaviour. The comparison of the cutting force of EWK model and experiment is presented as well.*

1. Úvod

Jednou z operací při výrobě šroubů na postupových automatech je ostřížení napěchované hlavy šestihrannou ořezávací maticí (obr. 1). Jde o velmi rychlý děj, při kterém dochází k řízenému porušování soudržnosti materiálu. Na řešení tohoto typu úloh se v poslední době úspěšně využívá matematické modelování, a to zejména explicitní metoda konečných prvků (MKP). Důvodem je snadná implementace celé problematiky porušování materiálu, která v sobě zahrnuje odmazávání elementů v průběhu výpočtu a také formulace kontaktů mezi jednotlivými součástmi modelu.

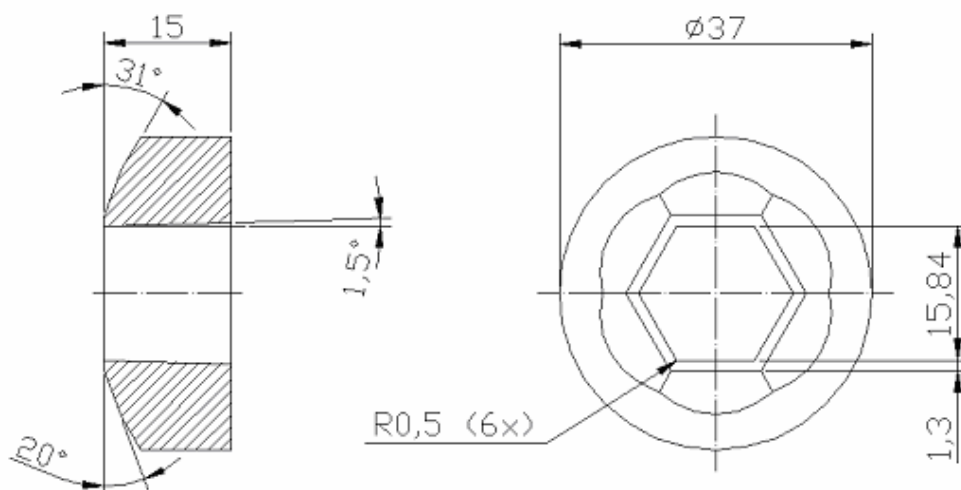
Výpočty k této práci byly prováděny v programu PAMCRASH. Ten již má v sobě obsaženo několik materiálových modelů, které umožňují porušování materiálu zahrnout do výpočtů. Tato práce se zabývá dvěma z nich:

- Strain limit model
- EWK model.

A právě volba materiálového modelu porušované součásti je kritickým bodem celého výpočtového modelování. Každá podmínka má určitá omezení, která ovšem nejsou v uživatelských manuálech zmiňována. Tato práce si klade za cíl prozkoumat možnosti dvou výše zmíněných materiálových modelů při porušování v tlakové oblasti zatěžování.

¹ Ing. Jan Bořkovec: Ústav mechaniky těles, mechatroniky a biomechaniky, Vysoké učení technické v Brně; Technická 2, 616 69 Brno tel.: +420-732687591, e-mail: jan.borkovec@centrum.cz

² Doc. Ing. Jindřich Petruška, CSc.: Ústav mechaniky těles, mechatroniky a biomechaniky, Vysoké učení technické v Brně; Technická 2, 619 69 Brno tel.: +420-541142858; e-mail: petruska@fme.vutbr.cz

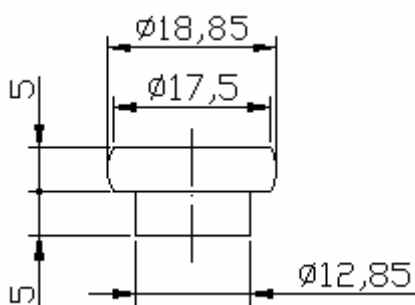


Obrázek 1: Ostříhovací matrice OK16

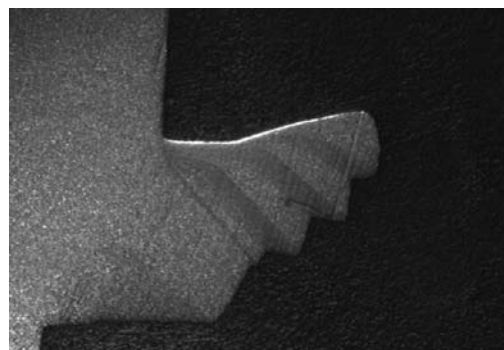
2. Experiment

Ve spolupráci s firmou J-VST spol. s r.o. byl proveden experiment v poloprovozních podmínkách. Pod sestavu nástroj-šroub-deska se umístil snímač síly, kterým se zaznamenával průběh střížných sil. Provedeno bylo několik stříhů s různou velikostí posuvu střížníku, vždy v několika opakováních.

K dispozici byly polotovary s rovnou hlavou. Jejich tvar a rozměry můžeme vidět na obr. 2, ovšem již se dříkem zkráceným pro potřeby výpočtového modelování. Šrouby byly vyrobeny z materiálu AISI S 174 00, pro který je ekvivalentem ocel 17 351 (mez kluzu 800 MPa, mez pevnosti 1050 MPa, kontrakce 45%).



Obrázek 2: Geometrie polotovaru



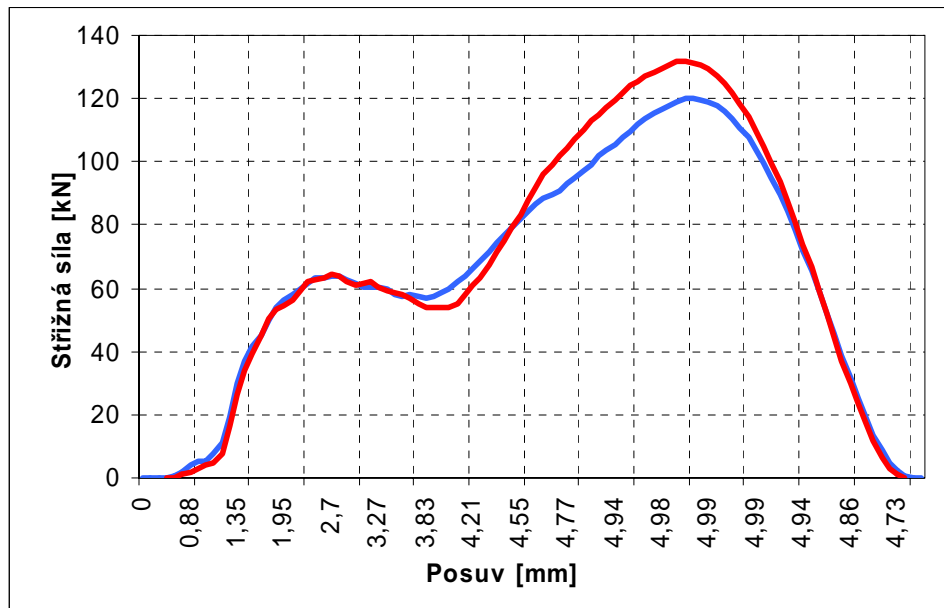
Obrázek 3: Metalografický výbrus

Z měření byly zjištěny průběhy sil, viz graf 1. Jak je vidět, tak střížná síla nejprve stoupá, po překonání prvotního odporu mírně poklesne a poté v důsledku pěchování odděleného materiálu opět roste a to velmi výrazně.

Dále byly předány vzorky k metalografickému rozboru. Vzorky byly naleptány, aby se zviditelnila struktura materiálu. Makrostruktura ostříženého materiálu je patrná z obr. 3, ze které mimo jiné vyplývají tyto skutečnosti:

- patrný tok materiálu při pěchování hlavy
- pozorovatelné skluzové pásy a korespondující stupně při tvorbě „třísky“.

Sklužové pásy mají nespojitě (stupňovitě) vyústění na volný povrch. Dále bylo možné pozorovat vznik trhlin ve sklužových páslech a také vznik mikrodrutin, jako první fáze porušování.



Graf 1: Průběh střížných sil

3. Materiálové modely

Současné explicitní MKP programy mají v sobě obsaženy materiálové modely, které jsou schopné postihnout degradaci, porušení a lom. V této práci se budeme zabývat dvěma z nich.

Prvním modelem je Strain Limit model. K porušení materiálu dojde v případě, kdy redukované přetvoření dosáhne své lomové hodnoty. Toto kritérium je zahrnuto ve všech hlavních komerčních programech jako je ABAQUS, LS-DYNA, PAMCRASH navzdory tomu, že dnes je již dobře známo, že redukované přetvoření při lomu závisí na stavu napjatosti. Ale stále přetrvává, protože je velice jednoduché – na pochopení, na kalibraci i na použití. My jej používáme pro porovnání.

Druhým zkoumaným materiálovým modelem je EWK. EWK je zkratka pro ESI-Wilkins-Kamoulakos. Porušení tohoto materiálového modelu je definováno takto: Materiál se poruší, když součin dvou váhových funkcí závisících na rozložení lokálních napětí, integrovaný v závislosti na historii plastické deformace, překročí svojí kritickou hodnotu D_c na určitém kritickém objemu R_c . Parametr poškození je definován následujícím vztahem:

$$D_p = \int w_1 w_2 d\bar{\epsilon}^p$$

Váhový parametr hydrostatického tlaku (souvisí s hydrostatickou složkou napětí) w_1 .

$$w_1 = \left(\frac{1}{1 + aP} \right)^\alpha$$

Váhový parametr asymetrie přetvoření (souvisí s asymetrickou složkou napětí).

$$w_2 = (2 - A)^\beta \text{ kde } A = \max\left(\frac{S_2}{S_3}, \frac{S_2}{S_1}\right), S_1 > S_2 > S_3$$

kde P je střední napětí

a, α, β jsou materiálové konstanty

$S_1 - S_3$ jsou hlavní složky deviatoru napětí.

Materiálové konstanty a, α, β mohou být určeny dvěma způsoby. Prvním z nich je provedení série tahových a krutových zkoušek na vzorcích hladkých i s vrubem a jejich následné počítačová simulace, jejichž porovnáním se určí vstupy do modelu. Druhou a hojně užívanou možností je využití automatického identifikátoru materiálových konstant, který EWK model obsahuje. Ten je využíván zejména v případech, kdy nejsou experimentální vstupy dostatečně kvalitní pro provedení kompletní identifikace parametrů modelu. Po vložení křivky napětí-přetvoření a lomového přetvoření jsou všechny parametry modelu určeny automaticky. Této možnosti jsme využili i my.

4. Výpočtové modelování

Výpočtový model pro problém ostříhování hlav šroubů byl optimalizován pomocí testovacích úloh. Nejprve byl problém řešen ve 3D. I s velmi hrubou sítí však výpočet trval 40 hodin. Bylo nutné nějakým způsobem snížit výpočtovou náročnost úlohy. PAMCRASH neobsahuje 2D prvky, proto se namodeloval tenký řez v místě, kde je tloušťka ostříhovaného materiálu největší. Po tloušťce byla pouze jedna vrstva solid prvků, které měly zadané okrajové podmínky simulující rovinnou deformaci.

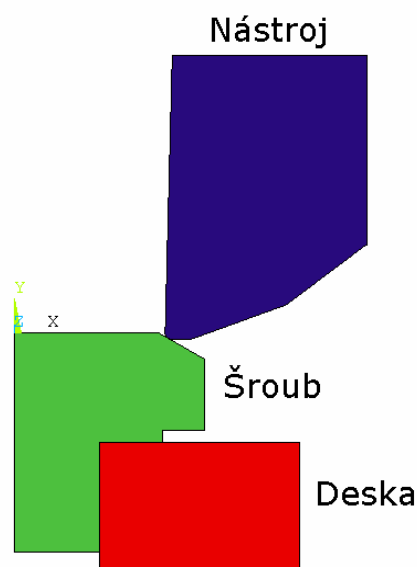
Síť konečných prvků byla připravena tak, že v místě porušování měla prvky přibližně tvar krychle, která má nejlepší numerické vlastnosti. Úloha obsahovala 12700 uzlů a 6150 prvků.

Materiál šroubu byl tvořen výpočtovými modely zmíněnými v předchozí kapitole. Ořezávací matrice je vyrobena z nástrojové rychlořezné oceli 19 830 s mezí kluzu v tlaku $R_{et} = 3500$ MPa. Vzhledem k tomu bylo uvažováno elastické chování nástroje v celém rozsahu zatěžování. Deska byla považována za tuhé těleso.

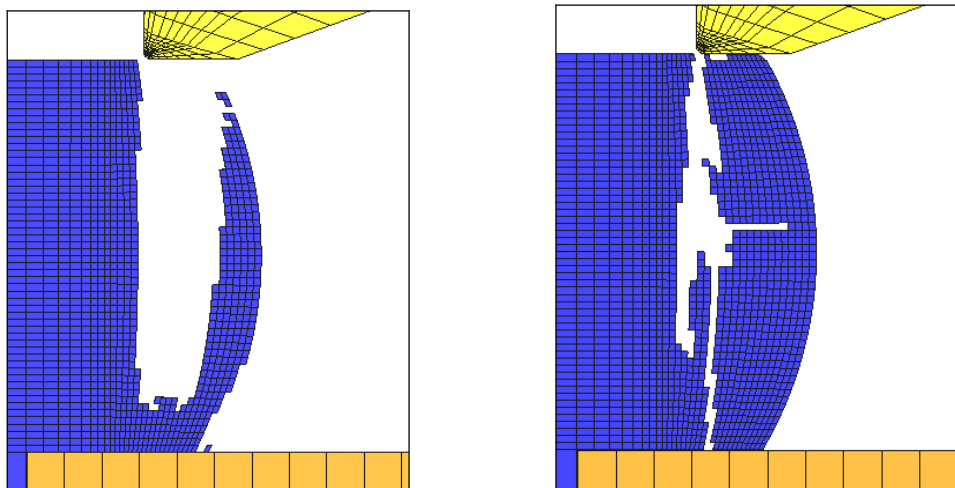
Koeficient smykového tření mezi jednotlivými součástmi byl nastaven na hodnotu 0,15. Nástroj se pohyboval rychlostí $0,2 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$.

5. Prezentace výsledků

V této části se budeme věnovat porovnání výsledků obou modelů jak vůči sobě, tak i s experimentem. Nejjednodušším způsobem, jak porovnat úspěšnost simulace je pohled na počet a rozmístění vymazaných elementů. Mělo by jich být co nejméně a měly by být v liniích reprezentujících tenké praskliny.

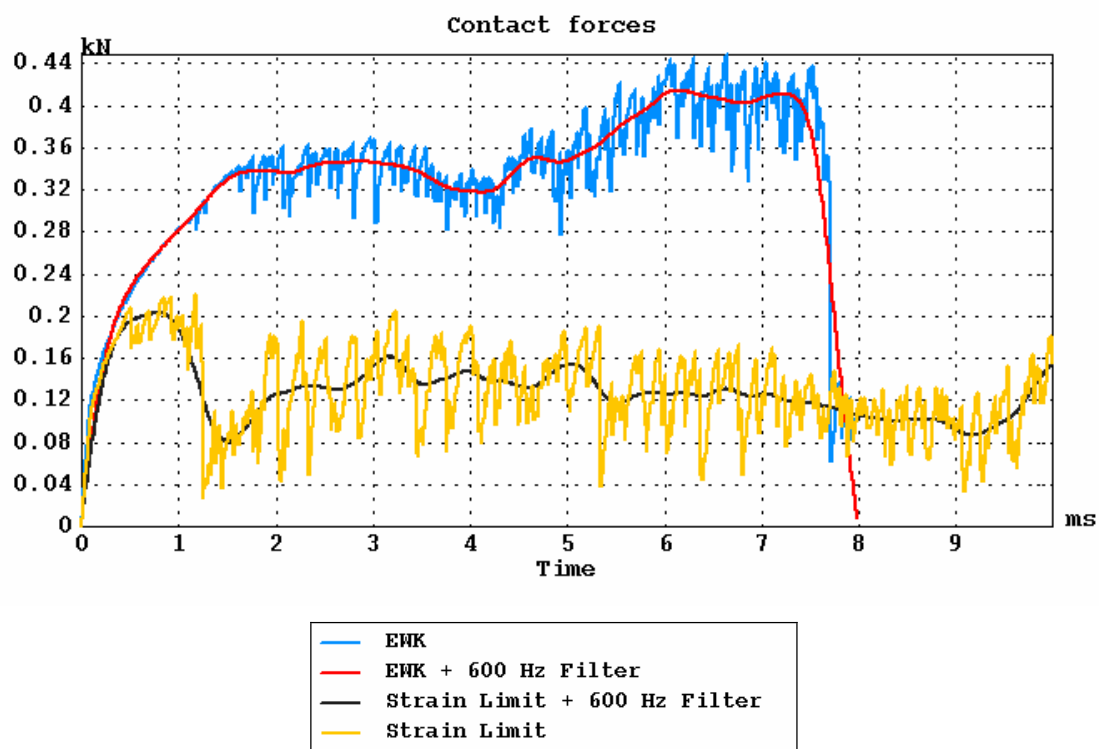


Obrázek 4: Schéma výpočtového modelu



Obrázek 5: Vymazané elementy - Strain Limit Obrázek 6: Vymazané elementy - EWK

Počet vymazaných elementů ovlivňuje také další důležitou charakteristiku procesu ostříhávání a tou je střížná síla. Každý odmazaný element znamená snížení objemu a tím také výsledné střížné síly, na kterou má zejména v poslední fázi silný vliv přechování ostříženého materiálu mezi nástrojem a deskou.

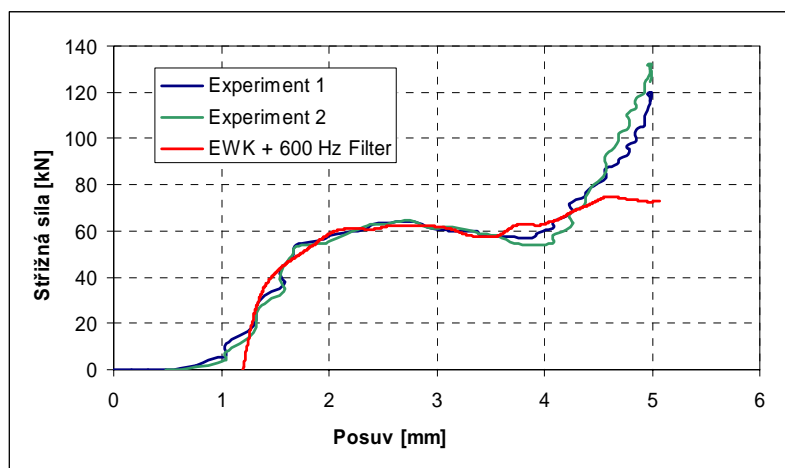


Graf 2: Průběh kontaktních sil - EWK a Strain Limit

Z předchozího je patrné, že v obou kritériích dosahuje lepších výsledků EWK model. V grafu 3 jsme ho porovnali s experimentálními daty. Vzhledem k tomu, že výpočet probíhal pouze pro úzký výřez materiálu, bylo potřeba udělat dvě úpravy vypočtené střížné síly:

- Posun počátku – v experimentálním řetězci existují vůle, které se postupně vymezují, a proto je náběh střížné síly pomalejší
- Změna měřítka síly – zde je určení koeficientu poměrně problematické, protože tloušťka ostříhovaného materiálu se mění. Na vrcholu šestiúhelníku je téměř nulová, ve středu strany (námi počítané místo) naopak maximální. Změna měřítka byla proto provedena tak, aby došlo k co nejlepšímu kopírování průběhu naměřené střížné síly. Proto má graf 3 vypovídací hodnotu spíše kvalitativní. K ověření kvantitativní přesnosti by bylo potřeba provést velmi náročný 3D výpočet.

Z grafu 3 je vidět dobrou shodu průběhu střížné síly až do posuvu 3,5 mm. Poté je vypočtená síla nižší kvůli odmazaným elementům. V této poslední fázi je ostřížený materiál již téměř výhradně pěchován a sílu velmi výrazně ovlivňuje každý eliminovaný element.



Graf 3: Porovnání EWK a experiment

6. Závěr

Výsledky ukazují, že model založený na redukovaném plastickém přetvoření, není pro simulaci ostříhování vhodný. To je způsobeno tím, že redukované přetvoření nerozlišuje stav napjatosti. Eliminováno je příliš mnoho prvků a tím je také odhad střížné síly příliš nízký. EWK model vykazuje mnohem lepší výsledky, které ob stojí i při porovnání s experimentem. Je dostatečně přesný, aby splnil požadavky pro uplatnění v praxi. Může pomoci úspěšně optimalizovat jednotlivé komponenty střížného procesu (opěrná deska, ostříhovací matrice) a tím přispět k jeho zefektivnění.

Další práce v této oblasti bude zaměřena na provedení 3D výpočtu, ale zejména na precizní určení materiálových vstupů pomocí tahových zkoušek na hladkých vzorcích a vzorcích s vruby.

7. Poděkování

Tato práce vznikla v rámci projektu FRVŠ 2842/2006/G1.

8. Literatura

- Bořkovec, J., Petruška, J., Foret, R.: Numerical Simulation of the Bolt Head Trimming Process, Engineering Mechanics, p. 51-52, Svratka, 9.-12.5.2005
- Kamoulakos, A.: The EWK Rupture Model in V2004: Evolution Towards Ease of Use, HanPAM 2004, Seoul, 2004
- Wierzbicki, T., Bao, Y., Lee, Y.-W., Bai, Y.: Calibration and evaluation of seven fracture models, International Journal of Mechanical Sciences 47, p. 719-743, 2005