

Fakulta strojního inženýrství

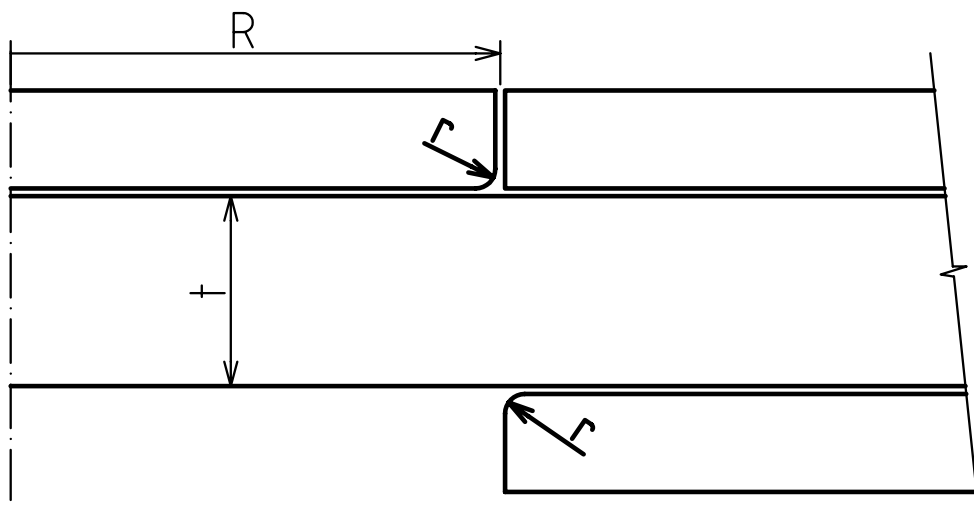
Ústav mechaniky těles, biomechaniky a mechatroniky

Vytvořil Ing. Jan Bořkovec v rámci grantu FRVŠ 2842/2006/G1

Vystřihování kruhových děr

Zadání S využitím různých modelů porušování proveďte výpočtovou simulaci vystřihování kruhové díry.

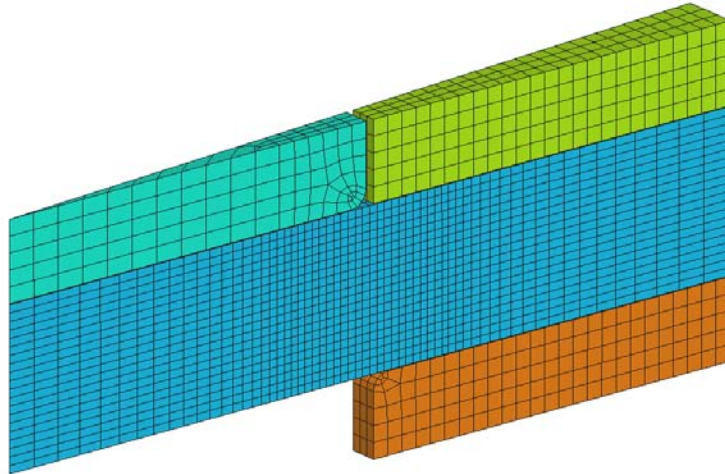
Rozměry Komponenty pro vystřihování kruhových děr mají následující rozměry: poloměr vystřihované díry $R = 5\text{mm}$, tloušťka plechu $t = 2\text{mm}$, relativní střížná vůle $v_{rel} = 5\%$, zaoblení střížníku a střížnice $r = 0,2\text{mm}$.



Obrázek 1: Rozměry

Výpočtový model Úloha je rotačně symetrická, proto ji můžeme řešit jako 2D. Takto jsme postupovali u LS-Dynny a Abaqusu. V Pamcrashi jsme řešili úzkou výseč s vrcholovým úhlem 4° , protože neobsahuje rovinné prvky. Přestože se jedná již o 3D, použitím symetrie dosáhneme velké úspory výpočtového času, protože model obsahuje $90 \times (360^\circ/4^\circ = 90)$ méně elementů.

Střížník, střížnice a přidržovač byly modelovány jako tuhá tělesa. Střížník byl zatížen posuvem směrem dolů, což odpovídá pohybu od lisu. Střížnice i přidržovač byly nepohyblivé.



Obrázek 2: 3D model MKP pro Pamcrash

Jednotlivé kroky tvorby modelu jsou podrobně popsány ve vstupním makru pro ANSYS/LS-Dynu `strihani2d.mac`. Spuštěním tohoto makra se vygeneruje vstupní soubor `strihani2d.k`, ve kterém ještě musíme ručně změnit definici kontaktů podle souboru `kontakty2d-strihani.txt`. Důvodem je to, že zadávání kontaktních dvojic není přes grafické prostředí přístupné. My je však potřebujeme pro zaznamenání střížných sil.

Materiál Použitý materiál je ocel: hustota $\rho = 7850 \cdot 10^{-12} t \cdot mm^{-3}$, modul pružnosti v tahu $E = 210000 MPa$, Poissonův poměr $\mu = 0,3$. Plastické vlastnosti jsou popsány hodnotami v tabulce 1. K porušení dojde, když redukované přetvoření dosáhne 1,06.

Přetvoření [-]	Napětí [MPa]
0	395
0,1	613
0,2	719
0,25	746
0,35	773
0,5	788
0,9	845
1,2	887

Tabulka 1: Hodnoty skutečného napětí a logaritmického přetvoření

Výpočet teoretické střížné síly Teoretickou hodnotu můžeme stanovit postupem popsaným E. Pešinou v knize *Základy užité teorie plasticity* (SNTL Praha, 1966).

K tomuto výpočtu potřebujeme znát pevnost materiálu ve stříhu τ_{ps} . To je ovšem charakteristika, která se zjišťuje pouze výjimečně. Lze ji však určit z pevnosti v tahu σ_{pt} pomocí empirického vztahu, který má pro ocel tvar

$$\tau_{ps} = 110 + 0,56\sigma_{pt} = 110 + 0,56 \cdot 800 = 558 MPa.$$

Střížná síla je potom dána vztahem

$$F_s = S \cdot \tau_{ps} = l_s \cdot (s - i) \cdot \tau_{ps} = 2\pi \cdot 5 \cdot (2 - 0,4) \cdot 558 = 28048N.$$

F_s – střížná síla [N]

S – střížná plocha [mm²]

τ_{ps} – pevnost ve stříhu [MPa]

l_s – délka křivky stříhu [mm]

s – tloušťka plechu [mm]

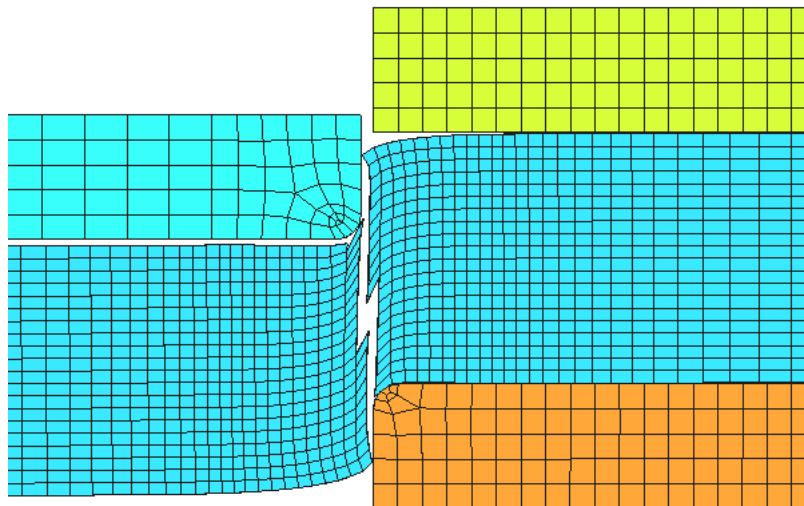
i – hloubka, do které pronikl střížník [mm], pro oceli vyšších pevnosti to je 0,2·s

Výsledky Hodnoty maximálních střížných sil uvedené v tabulce 2 se od teoretické hodnoty příliš neliší (rozdíl je do 7%) a i rozdíl mezi nejvyšší a nejmenší stanovenou hodnotou je malý. Musíme ovšem přiznat, že samotný výpočet teoretické střížné síly je postavený na empirických vztazích, které nemusí fungovat pro všechny typy ocelí správně, a proto je nutné brát tuto hodnotu jako orientační.

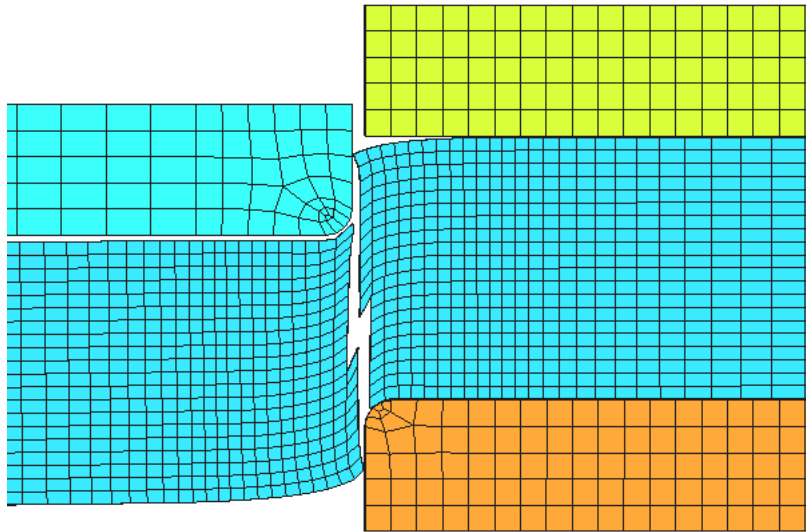
Model [-]	Program	Střížná síla [N]
EWK	Pamcrash	29762
Johnson-Cook	LS-Dyna	29863
Strain limit	Pamcrash	28591

Tabulka 2: Hodnoty maximálních střížných sil

Vzhled lomové plochy je u všech sledovaných modelů velmi podobný. Vzhledem k tomu, že linie lomové plochy je jednoznačně daná konfigurací střížných nástrojů, byl takovýto výsledek očekáván. Lom probíhá po spojnici střížník–střížnice. Spíše než ve tvaru lomové plochy jsou rozdíly v okamžiku a rychlosti porušování.



Obrázek 3: Lomová plocha - EWK model



Obrázek 4: Lomová plocha - Strain limit model

Můžeme shrnout, že pro simulaci vystřihování kruhových děr jsou výsledky různých výpočtových modelů uspokojivé. Přesto jsou již některé výsledky horší a i rozdíly mezi jednotlivými výsledky jsou větší než bylo u tahové zkoušky.

Vstupní soubory Vstupními soubory pro explicitní řešiče jsou z historických důvodů textové soubory s fortranovským formátováním. LS-DYNA může navíc využívat prostředí ANSYSu, které umožňuje vytvářet parametrická makra. Všechny vstupní soubory jsou s modelem porušování založeném na kritickém redukovaném přetvoření. Pro testování dalších modelů je potřeba zaměnit materiálové vlastnosti.

ANSYS/LS-DYNA (makro)	strihani2d.mac
ANSYS/LS-DYNA (text)	strihani2d.k
ABAQUS	strihani2d.inp
PAMCRASH	strihani3d.pc
materiálová data	material-program.txt