

# Vliv střížné mezery na deformační odpor při stříhání

## Bakalářská práce

*Studijní program:*

B2301 Strojní inženýrství

*Studijní obor:*

Strojní inženýrství

*Autor práce:*

**Jakub Vesecký**

*Vedoucí práce:*

doc. Ing. Pavel Solfronk, Ph.D.  
Katedra strojírenské technologie

*Konzultant práce:*

Ing. Jiří Sobotka, Ph.D.  
Katedra strojírenské technologie





## Zadání bakalářské práce

# Vliv střížné mezery na deformační odpor při stříhání

*Jméno a příjmení:* **Jakub Vesecký**  
*Osobní číslo:* S18000132  
*Studijní program:* B2301 Strojní inženýrství  
*Studijní obor:* Strojní inženýrství  
*Zadávající katedra:* Katedra strojírenské technologie  
*Akademický rok:* 2020/2021

### Zásady pro vypracování:

1. Základní rozdělení technologií plošného tváření.
2. Parametry ovlivňující proces stříhání (vliv střížné mezery, mechanické vlastnosti stříhaného materiálu, opotřebení nástroje atd.).
3. Pro zvolený materiál provést experimentální zjištění základních mechanických vlastností pomocí statické zkoušky tahem a stanovení vlivu střížné mezery na deformační odpor při stříhání.
4. Vyhodnocení experimentu.
5. Diskuze a závěr

Rozsah grafických prací:  
Rozsah pracovní zprávy:  
Forma zpracování práce:  
Jazyk práce:

tabulky, grafy  
cca 30  
tištěná/elektronická  
Čeština



### Seznam odborné literatury:

- [1] ASM INTERNATIONAL, Howard KUHN a ASM INTERNATIONAL, ed. *Mechanical testing and evaluation*. [11. ed.], 1. print. Materials Park, Ohio: ASM International, 2000. ASM handbook, prepared under the direction of the ASM International Handbook Committee; Vol. 8. ISBN 978-0-87170-389-7.
- [2] ČSN EN ISO 6892-1 (420310) *Kovové materiály – Zkoušení tahem – Část 1: Zkušební metoda za pokojové teploty*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2010.
- [3] PÖHLANDT, Klaus. *Materials testing for the metal forming industry*. Berlin u.a.: Springer, 1989. ISBN 978-3-540-50651-5.
- [4] MARQUARD, Elizabeth a Heather LAMPMAN. *ASM Handbook, Volume 14B: Metalworking: Sheet Forming*. B.m.: ASM International, 2006. ISBN 0-87170-710-1.
- [5] TSCHÄTSCH, Heinz. *Metal forming practise: processes – machines – tools*. Berlin&#x202f;; New York: Springer-Verlag, 2006. ISBN 978-3-540-33216-9.
- [6] HOSFORD, William F. a Robert M. CADDELL. *Metal Forming: Mechanics and Metallurgy*. B.m.: Cambridge University Press, 2011. ISBN 978-1-139-49743-5.
- [7] PTÁČEK, Luděk. *Nauka o materiálu I*. Brno: CERM, 2003. ISBN 978-80-7204-283-8.

Vedoucí práce:

doc. Ing. Pavel Solfronk, Ph.D.  
Katedra strojírenské technologie

Konzultant práce:

Ing. Jiří Sobotka, Ph.D.  
Katedra strojírenské technologie

Datum zadání práce:

15. listopadu 2020

Předpokládaný termín odevzdání:

15. května 2022

L.S.

prof. Dr. Ing. Petr Lenfeld  
děkan

doc. Ing. Jaromír Moravec, Ph.D.  
vedoucí katedry

## Prohlášení

Prohlašuji, že svou bakalářskou práci jsem vypracoval samostatně jako původní dílo s použitím uvedené literatury a na základě konzultací s vedoucím mé bakalářské práce a konzultantem.

Jsem si vědom toho, že na mou bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., o právu autorském, zejména § 60 – školní dílo.

Beru na vědomí, že Technická univerzita v Liberci nezasahuje do mých autorských práv užitím mé bakalářské práce pro vnitřní potřebu Technické univerzity v Liberci.

Užiji-li bakalářskou práci nebo poskytnu-li licenci k jejímu využití, jsem si vědom povinnosti informovat o této skutečnosti Technickou univerzitu v Liberci; v tomto případě má Technická univerzita v Liberci právo ode mne požadovat úhradu nákladů, které vynaložila na vytvoření díla, až do jejich skutečné výše.

Současně čestně prohlašuji, že text elektronické podoby práce vložený do IS/STAG se shoduje s textem tištěné podoby práce.

Beru na vědomí, že má bakalářská práce bude zveřejněna Technickou univerzitou v Liberci v souladu s § 47b zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů.

Jsem si vědom následků, které podle zákona o vysokých školách mohou vyplývat z porušení tohoto prohlášení.

15. května 2021

Jakub Vesecký

## **Název práce**

Vliv střižné mezery na deformační odpor při stříhání

## **Anotace**

Bakalářská práce se zabývá měřením vlivu střižné mezery na deformační odpor při stříhání. V teoretické části práce jsou popsány vybrané technologie plošného tváření. Experimentální část práce popisuje měření mechanických vlastností zkoumaného materiálu, měření zkoušky stříhem a výpočet teoretických hodnot. Vypočtené a naměřené hodnoty byly následně porovnány a vyhodnoceny.

**Klíčová slova:** stříhání, střižná mezera, střižná síla, střižná práce, hlubokotažná ocel

## **Title**

Effect of the clearance on the deformation resistance during shearing

## **Annotation**

The bachelor's thesis deals with measuring the effect of the clearance on the deformation resistance during shearing. The theoretical part of the thesis describes selected sheet forming technologies. The experimental part of the work describes the measurement of mechanical properties of the investigated material, measurement of the shear test and calculation of theoretical values. Afterwards, the calculated and measured values were compared and evaluated.

**Key words:** shearing, clearance, shearing force, shearing work, deep drawing steel

## **Poděkování**

Tímto bych chtěl poděkovat svému vedoucímu práce doc. Ing. Pavlovi Solfronkovi, Ph.D. za jeho odborné vedení, připomínky, poskytnuté podklady a cenné rady. Dále bych chtěl poděkovat za věnovaný čas při konzultacích bakalářské práce.

# Obsah

Seznam použitých zkratk a symbolů.....	10
1 Úvod.....	11
2 Teoretická část.....	12
2.1 Plošné tváření.....	12
2.2 Stříhání.....	12
2.2.1 Princip stříhání.....	12
2.2.2 Vady střížné plochy.....	13
2.2.3 Životnost a opotřebení střížných nástrojů.....	14
2.2.4 Střížná síla.....	16
2.2.5 Střížná mezera.....	17
2.2.6 Střížná práce.....	18
2.2.7 Přehled operací stříhání.....	19
2.3 Ohýbání.....	22
2.3.1 Princip ohýbání.....	22
2.3.2 Odpružení.....	22
2.3.3 Přehled operací ohýbání.....	23
2.4 Tažení.....	25
2.4.1 Princip tažení.....	25
2.4.2 Přehled základních vad výtažků.....	26
2.4.3 Přehled operací tažení.....	27
3 Experimentální část.....	29
3.1 Cíl bakalářské práce.....	29
3.2 Materiál.....	29
3.3 Statická zkouška tahem.....	30
3.3.1 Zkušební tělesa.....	30
3.3.2 Průběh statické zkoušky tahem.....	31
3.3.3 Vyhodnocení statické zkoušky tahem.....	32



3.4	Měření vlivu střížné mezery na velikost střížné síly .....	33
3.5	Výpočet střížné síly.....	36
3.6	Výpočet střížné práce.....	37
3.7	Analýza rozptylu .....	38
4	Diskuze výsledků .....	40
5	Závěr.....	46
	Literatura .....	47
	Seznam příloh .....	48

## Seznam použitých zkratk a symbolů

A	[%]	tažnost
ANOVA	[-]	analýza rozptylu
$A_{80\text{mm}}$	[%]	tažnost zkušební tyče délky 80 mm
$A_g$	[%]	homogenní tažnost
$A_s$	[J]	střižná práce
$\alpha$	[-]	hladina významnosti
$d_s$	[mm]	průměr střižnice
$\varepsilon$	[%]	poměrné prodloužení
F	[-]	testovací kritérium
$F_{s\text{max}}$	[N]	maximální střižná síla
$F_{s(t)}$	[N]	okamžitá střižná síla
$H_0$	[-]	nulová hypotéza
$H_1$	[-]	alternativní hypotéza
IF	[-]	interstitial free
$k_a$	[-]	koeficient zaplnění plochy, součinitel střižné práce
$k_{os(t)}$	[MPa]	okamžitý střižný odpor
$k'_{os}$	[MPa]	střižný odpor při maximální síle
$l_s$	[mm]	délka střihu
$m_s$	[mm]	střižná mezera
R	[MPa]	smluvní napětí
Ra	[ $\mu\text{m}$ ]	střední aritmetická hodnota drsnosti
RPC	[ $\text{cm}^{-1}$ ]	počet výstupků
RT	[°C]	room temperature (pokojová teplota)
$R_e$	[MPa]	výrazná mez kluzu
$R_m$	[MPa]	mez pevnosti v tahu
$R_{p0,2}$	[MPa]	smluvní mez kluzu
s	[mm]	okamžitá tloušťka materiálu
$s_0$	[mm]	počáteční tloušťka materiálu
S	[ $\text{mm}^2$ ]	plocha střihu
$S_{(t)}$	[ $\text{mm}^2$ ]	okamžitá plocha střihu
t	[mm]	hloubka průniku střižníku
x	[MPa]	mez pevnosti v tahu pro jednotlivé směry odebrání materiálu

# 1 Úvod

Technologie plošného tváření patří k jednomu z nejrozšířenějších způsobů zpracování kovů. Mezi plošné tváření se řadí i technologie stříhání. Zde je kladen důraz na vysokou produktivitu a zároveň hospodárnost výroby. Velký význam má právě tato technologie v automobilovém průmyslu pro zpracování plechů. Jedním z parametrů významně ovlivňujících stříhání je střížná mezera.

Zjištěním vlivu střížné mezery na deformační odpor se zabývá tato bakalářská práce. Práce je rozdělena do několika kapitol. Teoretická část popisuje vybrané technologie plošného tváření, zejména technologii stříhání. Experimentální část popisuje průběh měření potřebných k posouzení vlivu střížné mezery na velikost střížné síly pro různé rychlosti zkoušky. Dále jsou využity poznatky uvedené v teoretické části pro výpočet střížné síly a práce. Diskuze výsledků komentuje naměřené hodnoty, statistické vyhodnocení vlivu jednotlivých faktorů a porovnání naměřených hodnot s teoretickým výpočtem.

## 2 Teoretická část

### 2.1 Plošné tváření

Plošné tváření je metoda tváření, kde se dosahuje požadovaného tvaru součásti bez podstatné změny průřezu nebo tloušťky tvářeného materiálu. [1]

### 2.2 Stříhání

Stříhání je druh plošného tváření, při kterém je materiál částečně nebo úplně oddělován podél střížných hran nástroje. Aby došlo k oddělení, materiálu je nutno vyvinout smykové napětí pomocí vzájemného pohybu dvojice nástrojů. Oddělování je provedeno postupně nebo současně podél čáry stříhu. Konstrukce a funkční části nástroje musí být navrženy tak, aby docházelo ke stříhu v požadovaném místě a v požadované kvalitě výrobku. [2, 3]

#### 2.2.1 Princip stříhání

Operaci stříhání lze rozdělit na několik fází (obr. 2.1), které se mohou nepatrně lišit podle mechanických vlastností stříhaného materiálu, stavu nástroje a zvolených technologických podmínek.

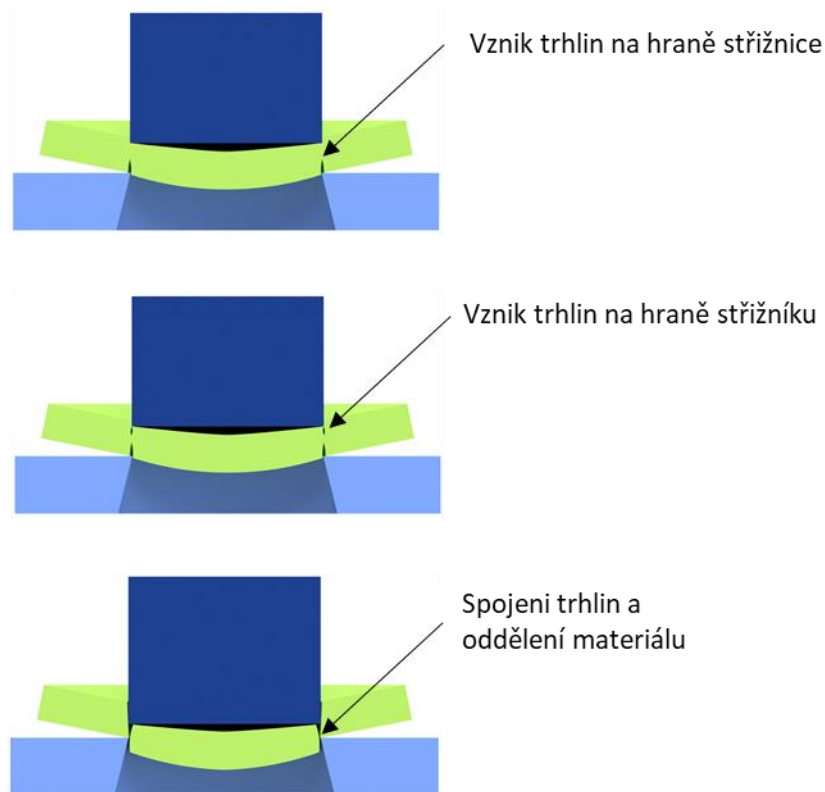
Stříhání je zahájeno dosednutím střížníku na stříhaný materiál. Mezi funkčními částmi nástroje se nachází střížná mezera, respektive střížná vůle, která je dvojnásobkem velikosti střížné mezery.

Postupným vnikáním střížníku se materiál dostává do pružné oblasti, která končí na mezi kluzu  $R_e$ . Tato fáze zaujímá asi 5 % až 8 % tloušťky stříhaného materiálu. Vznikem silových dvojic v rovinách kolmých ke střížným plochám se materiál v oblasti střížné hrany ohýbá. Ohyb je důsledek vzniku momentové dvojice působící na hraně střížníku a střížnice na vzdálenosti o velikosti střížné mezery. Tím u střížníku dochází k vydutí materiálu a u střížnice k vytlačení materiálu. V dalších fázích se tato deformace materiálu již výrazně nemění a vtahování materiálu do střížníku bez porušení soudržnosti materiálu je ukončeno v okamžiku vniknutí střížníku do 10 % až 25 % tloušťky materiálu.

Dalším vnikáním střížníku do materiálu se zvyšuje napětí nad mez kluzu a vznikají plastické deformace. Střížník se nachází v 10 % až 25 % tloušťky materiálu. Na konci této fáze dosahuje napětí meze pevnosti ve smyku a v oblasti stříhu dochází ke vzniku trhlin. Vznik trhlin je závislý na mechanických vlastnostech materiálu. Křehké materiály se oddělují prakticky okamžitě, naopak u houževnatých a měkkých materiálů dochází k postupnému tvoření trhlin.

Vznikem trhlin se materiál dostává do oblasti porušení. Trhliny se šíří od styku střížných hran a po jejich spojení se materiál oddělí. Při spojení trhlin dojde k náhlému poklesu střížné síly.

Hloubka vniku se pohybuje od 10 % až po 60 %. Následný pohyb nástroje slouží k posunu materiálu do střížnice. Střížník překonává pouze tření při vzájemném pohybu oddělených částí. [2, 3]



Obr. 2.1 Fáze stříhu

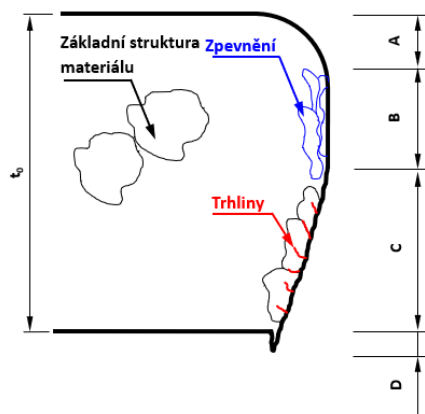
## 2.2.2 Vady střížné plochy

Vady střížné plochy lze rozdělit do několika oblastí (obr. 2.2). Zaoblení střížné hrany vzniká důsledkem ohybové deformace mezi střížníkem a střížnicí vlivem střížné mezery. Velikost oblasti „A“ zaoblení je ovlivňována velikostí střížné mezery a mechanických vlastností stříhaného materiálu. S rostoucí střížnou mezerou a deformační schopností děleného materiálu se oblast zaoblení střížné hrany zvětšuje.

V oblasti „B“ pod zaoblením střížné hrany vzniká oblast vysokého zpevnění v důsledku plastického stříhu. Vlivem vysoké deformace dochází v oblasti k vyčerpání plastických schopností materiálu. Tato oblast je kritická z pohledu užitných vlastností výstřížku a to zejména u pevnostních materiálů, kde může docházet ke vzniku lomu. Velikost zpevnění lze ovlivnit volbou střížné mezery. Při zmenšující se velikosti střížné mezery roste zpevnění tvářeného materiálu.

Oblast „C“ utržení materiálu vzniká důsledkem překročení meze pevnosti v tahu. V této oblasti vznikají mikrotrhliny a trhliny.

Otřep vzniká na spodní hraně střížné plochy. Tato oblast „D“ je typická pro materiály s vysokou deformační schopností. U takových materiálů lze oblast otřepu ovlivnit volbou menší střížné mezery. [3, 4]



Obr. 2.2 Vady střížné plochy [3]

### 2.2.3 Životnost a opotřebení střížných nástrojů

Znalost životnosti střížných nástrojů je důležitá pro zajištění efektivního využití technologie stříhání. Slouží také pro posouzení náročnosti údržby a zjištění kolik kusů výrobků v požadované kvalitě je nástroj schopen vyrobit, než dojde k nutnosti přebroušení nebo výměny nástroje. Životnost nástroje lze ovlivnit několika aspekty.

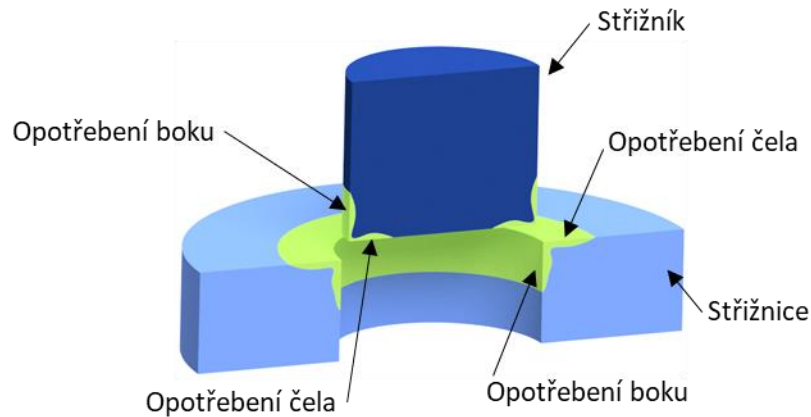
- Tloušťkou stříhaného materiálu a jeho mechanickými vlastnostmi
- Volbou vhodného materiálu nástroje a jeho tepelným zpracováním v namáhaných částech
- Kvalitou a přesností výroby jednotlivých částí nástroje a jejich následným sestavením
- Aktuálním stavem nástroje, kde jsou sledovány vůle, deformace a jeho opotřebení
- Pravidelnou údržbou a dodržováním technologických postupů
- Kontrolou mechanických vlastností stříhaného materiálu a kvality střížné plochy

Opotřebení nástroje (obr. 2.3) vzniká při přímém kontaktu stříhaného materiálu a střížného nástroje. Vlivem vysokého zpevnění stříhaného materiálu, které se vyskytuje obvykle do 30 % až 50 % tloušťky materiálu dochází k vysokému kontaktnímu tlaku. Tím dojde ke vzniku abrazivního a adhezního opotřebení. U střížných a řezných nástrojů převládá adhezní opotřebení, u lisovacích nástrojů abrazivní.

Opakované namáhání nástroje vede k postupnému opotřebení jeho hran. Na čele nástroje dochází ke žlábkovitému vymílání a na bocích nástroje k otěru. Výsledkem kombinací obou druhů opotřebení je snížení kvality střížné plochy.

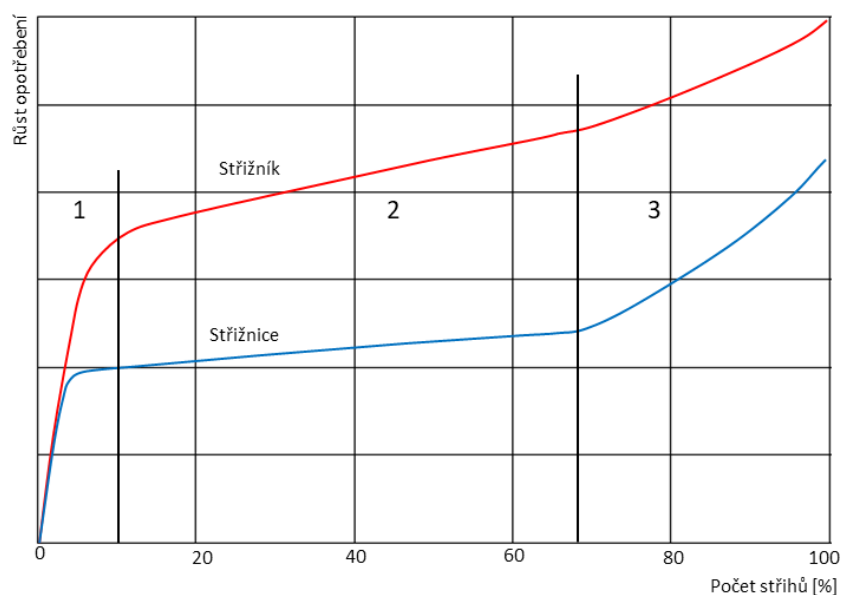
Opotřebení boků nástroje otěrem lze charakterizovat jeho délkou nebo plochou. Výška opotřebení boku nástroje určuje délku nástroje, která bude ztracena při přebroušení. Velikost opotřebení závisí na výšce vniknutí nástroje do materiálu a počtu vyrobených výrobků.

Opotřebení čela nástroje je obvykle abrazivního charakteru a lineárně narůstá s počtem vyrobených výrobků. [3, 4]



Obr. 2.3 Opotřebení střížníku a střížnice

Charakteristický průběh celkové velikosti opotřebení má obecný charakter a je znázorněn na obrázku 2.4. V počátku stříhání (obr. 2.4 označeno číslem 1) dochází k intenzivnímu opotřebení nástroje. Nabroušené ostré hrany se postupně zaoblují. Působením vysokých kontaktních tlaků se mění i drsnost povrchu nástroje. V druhé části křivky (obr. 2.4 označeno číslem 2) dochází k ustálení poměrů a opotřebení nástroje má lineární průběh. Doprovodným jevem k opotřebení nástroje je zvětšování střížné mezery, která ovlivňuje napěťové stavy. V okolí střížné hrany se začne projevovat pěchování materiálu, které způsobí zvětšení síly potřebné k oddělení materiálu. Velikost síly negativně ovlivňuje opotřebení nástroje a křivka opotřebení začne strměji stoupat (obr. 2.4 označeno číslem 3). Provozování nástroje v této oblasti může mít dopady na zvýšené náklady na provoz nástroje. [3]



Obr. 2.4 Charakteristický průběh opotřebení střížných nástrojů [3]

## 2.2.4 Střížná síla

Znalost velikosti střížné síly je důležitá pro návrh konstrukce střížného nástroje a zároveň pro volbu vhodného tvářecího stroje.

Důsledkem pronikání střížných hran do materiálu se v průběhu pracovního zdvihu mění velikost střížné plochy. Maximální velikost střížné plochy se nachází v počátku stříhu, kdy je dána součinem délky střížné kontury a tloušťkou materiálu. V průběhu stříhu se také mění velikost střížného deformačního odporu  $k_{os}$ . Ze střížné plochy a střížného deformačního odporu je spočítána velikost střížné síly podle vztahu (1). Pro praktický výpočet maximální velikosti střížné síly se používá vztah (2).

$$F_{s(t)} = k_{os(t)} \cdot S_{(t)} = l_s \cdot (s - t) \cdot k_{os(t)} \quad (1)$$

$$F_{s(t)} \quad - \text{okamžitá střížná síla v závislosti na hloubce průniku střížníku } t \quad [\text{N}]$$

$$k_{os(t)} \quad - \text{okamžitý střížný odpor v závislosti na hloubce průniku střížníku } t \quad [\text{MPa}]$$

$$S_{(t)} \quad - \text{okamžitá plocha stříhu v závislosti na hloubce průniku střížníku } t \quad [\text{mm}^2]$$

$$l_s \quad - \text{délka stříhu} \quad [\text{mm}]$$

$$t \quad - \text{hloubka průniku střížníku do materiálu} \quad [\text{mm}]$$

$$s \quad - \text{okamžitá tloušťka materiálu} \quad [\text{mm}]$$

$$F_{smax} = k'_{os} \cdot S \quad (2)$$

$$k'_{os} = \left(1 - \frac{t}{s_0}\right) \cdot R_m \quad (3)$$

$$S = l_s \cdot s_0 \quad (4)$$

$$F_{smax} \quad - \text{maximální střížná síla} \quad [\text{N}]$$

$$k'_{os} \quad - \text{střížný odpor při maximální střížné síle} \quad [\text{MPa}]$$

$$l_s \quad - \text{délka stříhu} \quad [\text{mm}]$$

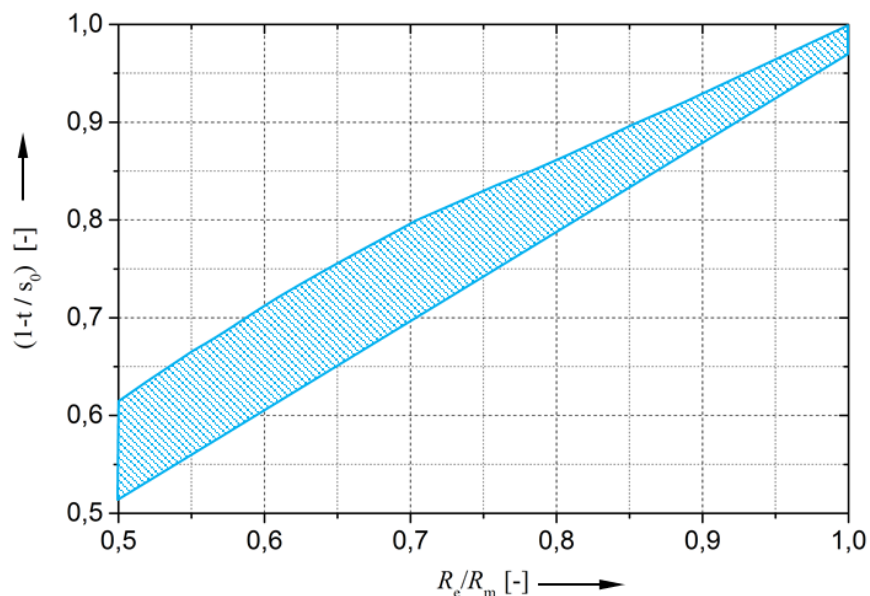
$$t \quad - \text{hloubka průniku střížníku do materiálu} \quad [\text{mm}]$$

$$s_0 \quad - \text{počáteční tloušťka stříhaného materiálu} \quad [\text{mm}]$$

$$R_m \quad - \text{mez pevnosti v tahu stříhaného materiálu} \quad [\text{MPa}]$$

Ze vztahu (3) vyplývá, že střížný odpor je závislý na mechanických vlastnostech stříhaného materiálu a hloubce průniku střížníku v okamžiku porušení materiálu. Pro křehké materiály, u kterých dochází k porušení při malých hodnotách průniku střížníku, se hodnota deformačního odporu bude blížit velikosti meze pevnosti  $R_m$ . Pro houževnatější materiály se hodnota deformačního odporu snižuje. Pro praktický výpočet je hodnota průniku střížníku neznámá, proto se koeficient u střížného odporu určuje z grafu uvedeném na obrázku 2.5. [3, 5]



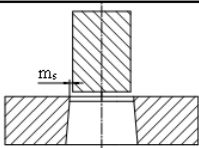
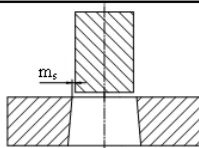


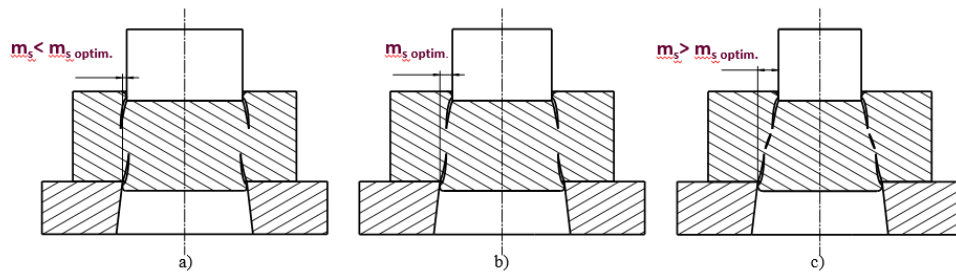
Obr. 2.5 Velikost koeficientu pro výpočet velikosti střížného odporu [3]

## 2.2.5 Střížná mezera

K dosažení požadované kvality střížné plochy je důležité správně zvolit velikost střížné mezery  $m_s$ . Velikost střížné mezery je ovlivněna hlavně tloušťkou stříhaného materiálu, hodnotou střížného odporu, konstrukcí nástroje a požadavkem na kvalitu střížné plochy. Pro konvenční způsoby stříhání je velikost střížné mezery určena podle tabulky 2.1. Volba jiné velikosti střížné mezery než optimální, se projevuje rozdílným šířením trhlin (obr. 2.6) a výrazným ovlivněním velikosti střížné práce spolu s opotřebením nástroje. [3, 4]

Tab. 2.1 Výpočet střížné mezery [3]

Tloušťka plechu	Tvar střížnice	
		
$s_0 \leq 4 \text{ mm}$	$m_s = 0,0013 \cdot s_0 \cdot \sqrt{k_{os}}$	$m_s = 0,0021 \cdot s_0 \cdot \sqrt{k_{os}}$
$s_0 > 4 \text{ mm}$	$m_s = 0,0010 \cdot s_0 \cdot \sqrt{k_{os}}$	$m_s = 0,0016 \cdot s_0 \cdot \sqrt{k_{os}}$



Obr. 2.6 Vliv střížné mezery na šíření trhliny a) malá b) optimální c) velká [3]

## 2.2.6 Střížná práce

Střížná práce je dána střížnou silou a dráhou, kterou urazí střížník. Z tohoto důvodu je střížná práce závislá na mechanických vlastnostech stříhaného materiálu, na technologických podmínkách stříhu a tloušťce materiálu. Z obrázku 2.7, vyjadřující průběh střížné síly v závislosti na proniknutí nástroje do stříhaného materiálu, lze určit velikost střížné práce. Ta je rovna velikosti plochy pod křivkou. Praktický výpočet střížné práce vychází ze znalosti střížné síly (vztah 2), tloušťky stříhaného materiálu a technologických podmínek, které jsou zahrnuty v koeficientu zaplnění plochy. Koeficient lze určit z obrázku 2.8. [3]

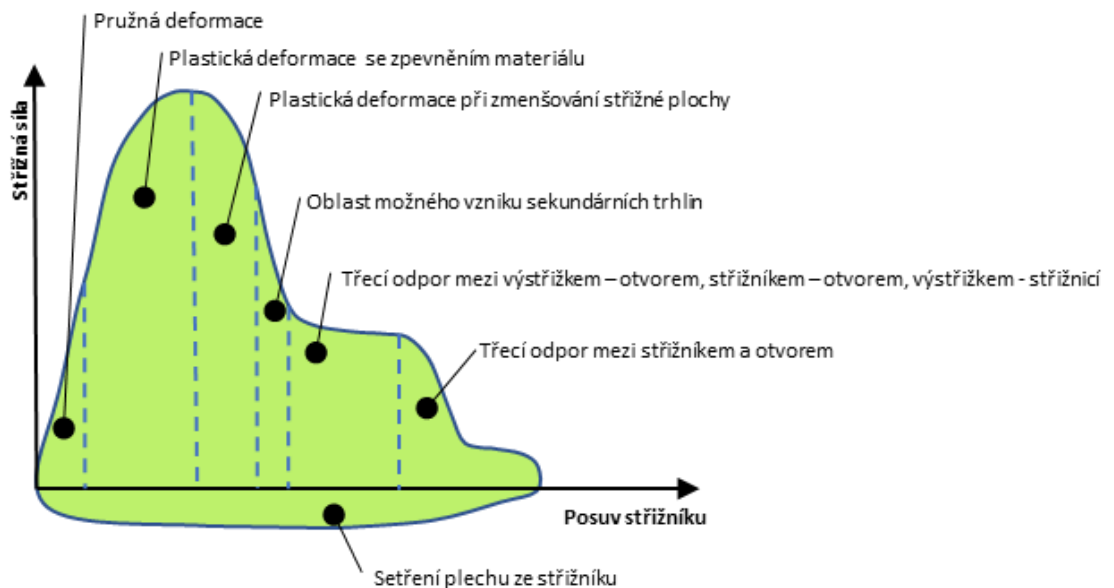
$$A_s = k_A \cdot F_{smax} \cdot s_0 \cdot 10^{-3} \quad (5)$$

$A_s$  - střížná práce [J]

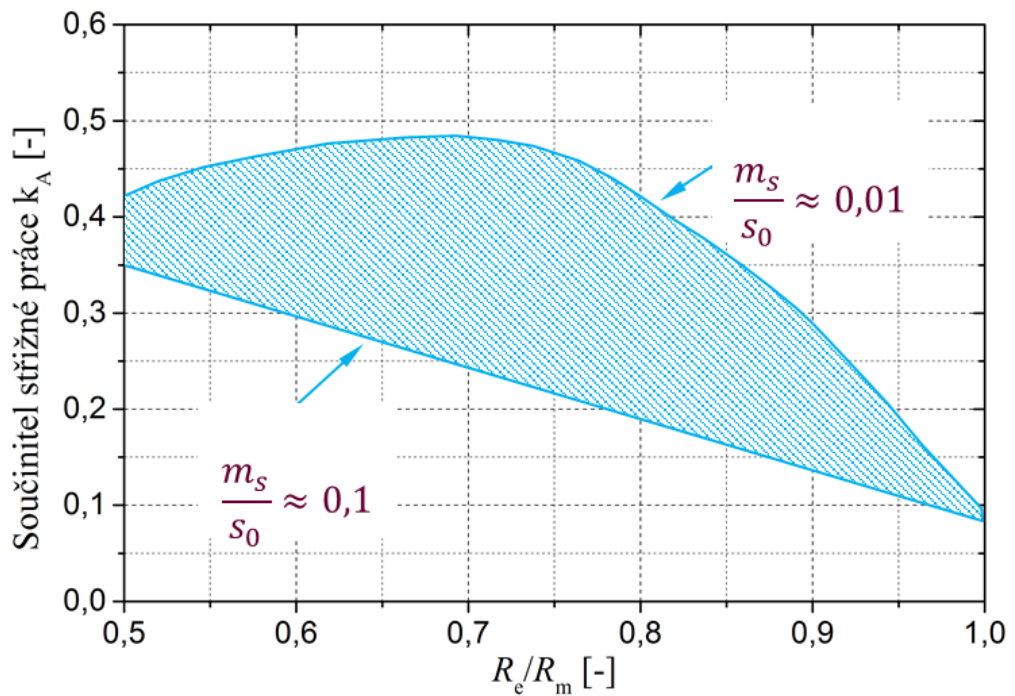
$k_A$  - koeficient zaplnění plochy, součinitel střížné práce [-]

$F_{smax}$  - maximální střížná síla [N]

$s_0$  - počáteční tloušťka stříhaného materiálu [mm]



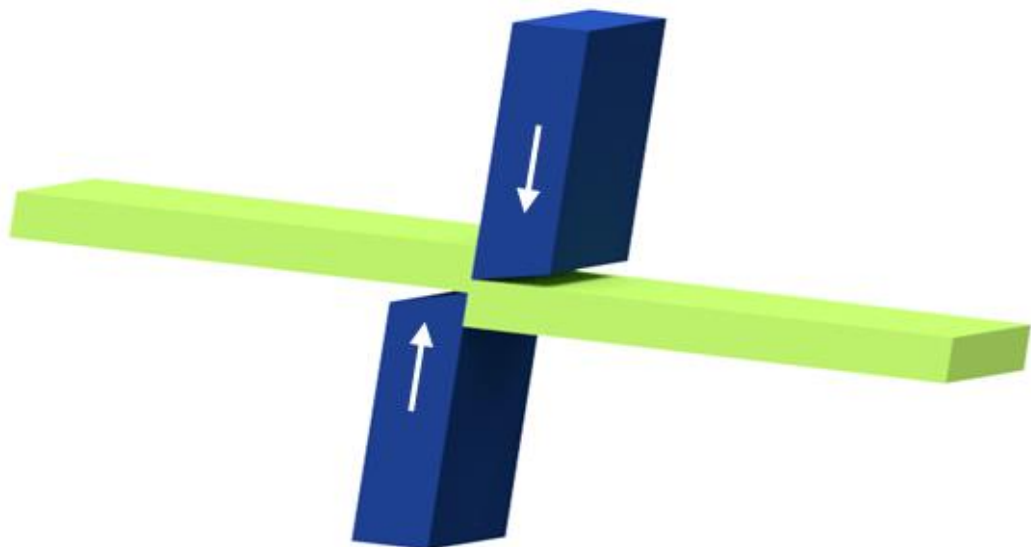
Obr. 2.7 Charakteristický průběh střížné síly pro materiály s velkou deformační schopností [3]



Obr. 2.8 Koefficient zaplnění plochy [3]

## 2.2.7 Přehled operací stříhání

Prosté stříhání dvěma rovnými břity (obr. 2.9) je používáno hlavně pro dělení materiálu relativně malé tloušťky vůči šířce řezu. U tohoto způsobu stříhání je možnost úpravy rovných břitů na šikmé. Střížný nástroj tak bude pronikat do stříhaného materiálu postupně a tím se sníží střížná síla. [3, 5]



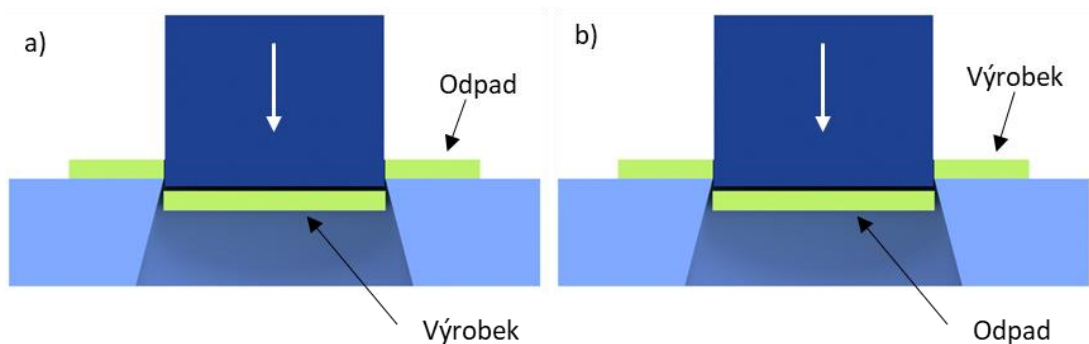
Obr. 2.9 Prosté stříhání dvěma rovnými břity

Prosté stříhání dvěma kotoučovými břity (obr. 2.10) je podobné jako u rovných břitů. Přímá čepel je zde uvažována jako nekonečně velký rádius. Tímto způsobem lze stříhat přímé, kruhové nebo nepravidelné tvary. [3, 5]



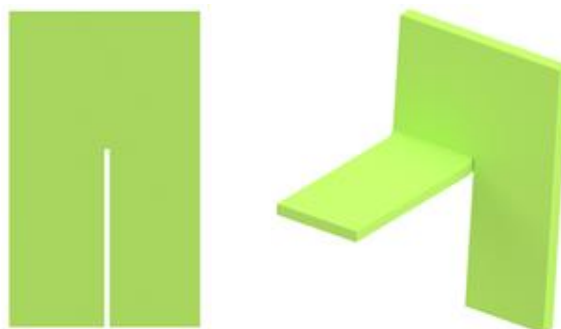
Obr. 2.10 Prosté stříhání dvěma kotoučovými břity

Stříhání uzavřeného obrysu ve střížném nástroji (obr. 2.11) je používáno k stříhání přesných výrobků. Tvar výrobku určuje tvar střížníku a střížnice. Při stříhání uzavřeného obrysu rozlišujeme vystřihování, kde je plocha materiálu pod střížníkem výrobkem a děrování, kde je plocha materiálu pod střížníkem odpadem. [3, 5]



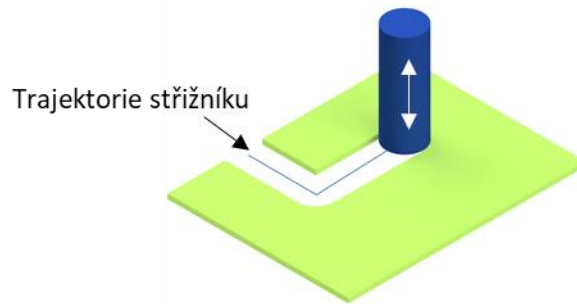
Obr. 2.11 Stříhání uzavřeného obrysu a) vystřihování b) děrování

Nastřihování (obr. 2.12) a prostřihování je částečné oddělení materiálu bez ztráty soudržnosti děleného materiálu. [3, 5]



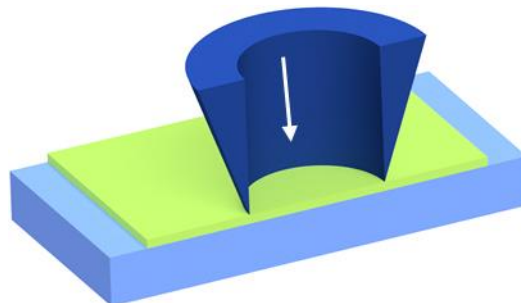
Obr. 2.12 Ukázka nastřihování

Prosekávání (obr. 2.13) je operace, kde stříhaný tvar je vytvářen pomocí jednoduchého stříhadla, které postupně prosekává stříhaný materiál podle určené trajektorie. [3, 5]



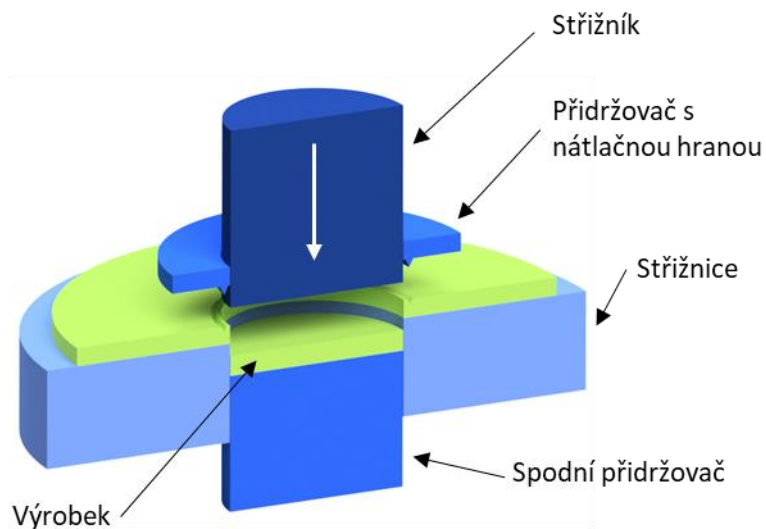
Obr. 2.13 Prosekávání

Vysekávání (obr. 2.14) je používáno pro nekovové materiály. Vysekávaný materiál je umístěn na podložce a střížník do materiálu vysekne požadovaný tvar. [3, 5]



Obr. 2.14 Vysekávání

Přesné stříhání (obr. 2.15) využívá spodní přidržovač a přidržovač s nátláčnou hranou. Přidržovači je v místě střížné hrany vyvozena všestranná tlaková napjatost. Tím je dosaženo vysoké kvality střížné plochy. [3, 5]



Obr. 2.15 Přesné stříhání

## 2.3 Ohýbání

Ohýbání je druh plošného tváření, při kterém dochází v důsledku působení momentů vnějších sil k ohybu tvářeného materiálu při trvalé deformaci. Ohyb materiálu je proveden do určeného úhlu nebo poloměru ohybu. Ohýbání je prováděno ve většině případů za studena, ale používá se i ohýbání za tepla, které je určeno pro obtížně tvářitelné materiály. [6, 7]

### 2.3.1 Princip ohýbání

V místě ohybu působí na ohýbaný materiál radiální napětí, které je vždy záporné. Dalším napětím v místě ohybu je napětí tečné (obr. 2.16), které mění polaritu napříč tloušťkou ohýbaného materiálu. Vnitřní strana ohybu je namáhána tlakovým tečným napětím (materiál se zkracuje) a naopak vnější strana ohybu je namáhána tahovým tečným napětím (materiál se prodlužuje). Místo, kde je velikost tečného napětí nulová, je nazýváno neutrální osa. V místě ohybu také dochází ke zpevnění materiálu.

Neutrální osa je posunuta vzhledem k ose ohýbaného materiálu směrem k vnitřnímu poloměru ohybu. Hodnota velikosti posunu je závislá na relativním poloměru zaoblení, který vyplývá z poměru poloměru ohybníku, tloušťky ohýbaného materiálu a úhlu ohybu. [4, 6]



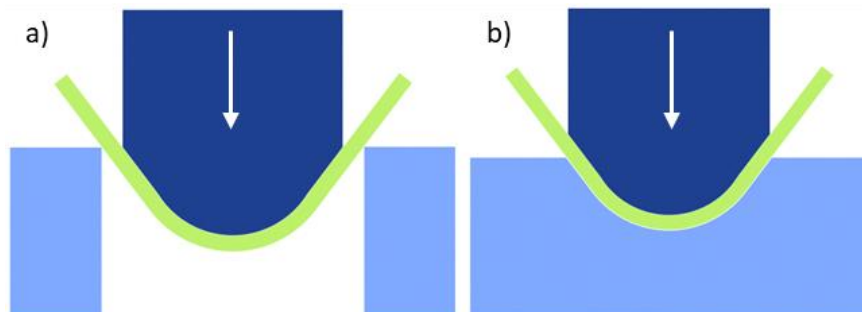
Obr. 2.16 Rozložení napětí při ohýbání

### 2.3.2 Odpružení

V oblasti kolem neutrální osy nedosahují tečná napětí takových hodnot, aby se materiál dostal do oblasti plastických deformací. Tím kolem neutrální osy vzniká oblast pružných deformací, která jsou dány modulem pružnosti materiálu v tahu a absolutní hodnotou meze kluzu. Tyto pružné deformace mají za následek snahu materiálu se vrátit do původní polohy před ohýbáním. Tento jev nazýváme odpružení. Velikost odpružení je závislá na tloušťce materiálu. Se snižující se tloušťkou ohýbaného materiálu se zvyšuje velikost odpružení. K odstranění odpružení nejčastěji dochází pomocí ohnutí materiálu do úhlu, který odpovídá součtu požadovaného úhlu a úhlu odpružení. Použity mohou být také prolisy, kalibrace nebo tvarová úprava nástroje. [1, 7]

### 2.3.3 Přehled operací ohýbání

Ohýbáním materiálu do tvaru „V“ (obr. 2.17) lze vytvořit libovolný úhel ohybu. Ohýbaný materiál může být ohýbán volně do prostoru nebo do nástroje [7, 8]



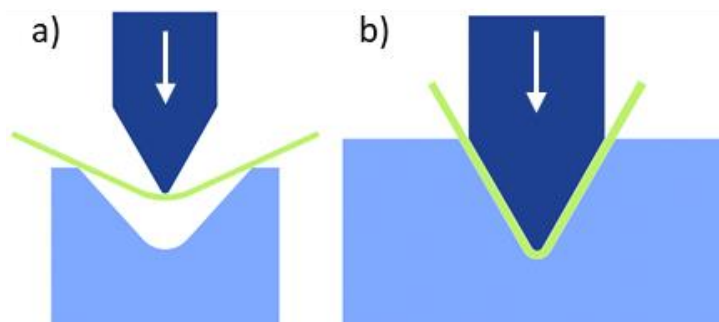
Obr. 2.17 Ohýbání do tvaru "V" a) volně b) do nástroje

Ohýbáním materiálu do tvaru „U“ (obr. 2.18) je většinou vytvářen úhel ohybu o velikosti 90°. Konstrukce ohybníku a ohybnice je provedena tak, aby nedocházelo k vyboulení spodní části ohýbaného materiálu. [7, 8]



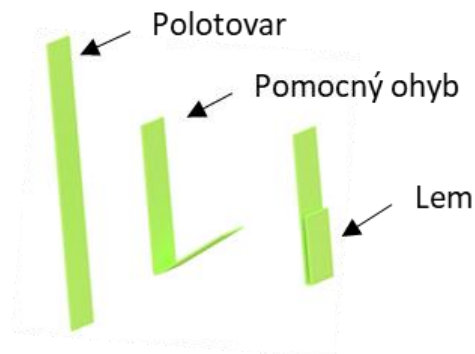
Obr. 2.18 Ohýbání do tvaru "U"

Ohraňování plechů (obr. 2.19) využívá princip ohýbání do tvaru „V“ nebo „U“. Při volném ohraňování je úhel ohybu určen hloubkou průniku ohybníku do materiálu. Tímto způsobem lze dosáhnout různých úhlů ohybů bez změny nástroje na rozdíl od ohraňování plechů podle přesně určené geometrie ohybníku a ohybnice, kde je výhodou kalibrace a tím dosažení nižšího odpružení. [7, 8]



Obr. 2.19 Ohraňování plechů a) volně b) do nástroje

Lemování (obr. 2.20) je operace, kdy dochází k ohybu v úhlu 180°. Metoda je použitelná pouze pro materiály s malou tloušťkou a velkou deformační schopností. Používá se pro spojování tenkých plechů nebo pro zvýšení tuhosti v okrajových částech plechu. [7, 8]



Obr. 2.20 Lemování

Rotační lemování (obr. 2.21) je metoda, kdy rotující nástroj je přisouván k výrobku a po obvodu je vytvořen lem podle tvaru nástroje. [7, 8]



Obr. 2.21 Rotační lemování

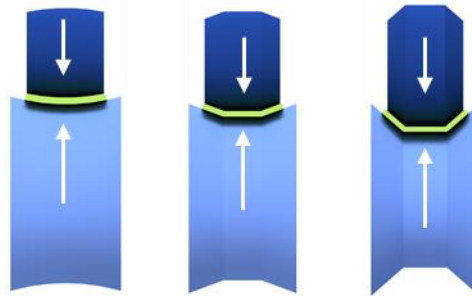
Zakružování (obr. 2.22) využívá princip volného ohýbání pro výrobu velkých poloměrů. Plechy se zakružují na tříválcových nebo čtyřválcových zakružovacích strojích. Lze zakružovat i profily, kde je nutnost fixovat jejich tvar. [7, 8]



Obr. 2.22 Zakružování

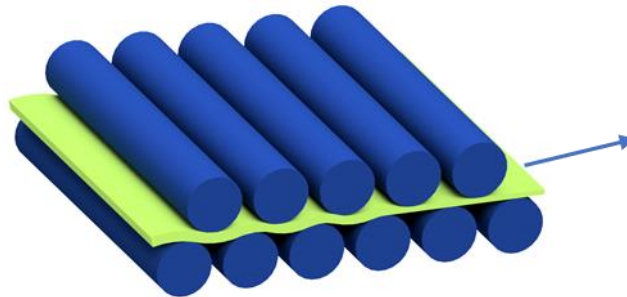


Kontinuální ohýbání mezi válci (obr. 2.23) využívá postupného tváření materiálu, který je posouván mezi řadou dvojic válců. Každá dvojice válců částečně tváří materiál do požadovaného tvaru. [7, 8]



Obr. 2.23 Kontinuální ohýbání

Rovnění mezi válci (obr. 2.24) využívá princip ohýbání v opačném smyslu než předchozí operace. Tvářený materiál je střídavě ohýbán mezi válci a postupně rovnán. [7, 8]



Obr. 2.24 Rovnění mezi válci

## 2.4 Tažení

Tažení je druh plošného tváření, kde se z rovinného přístřihu vytvářejí duté výrobky otevřené k rovině přidržovače, které se ve většině případů nedají rozvinout do původního stavu. Tažení probíhá zpravidla za studena. Při tažení je možnost vzniku již konečného výrobku, který nevyžaduje další zpracování. Výrobky se pouze ostříhují. [5, 6, 9]

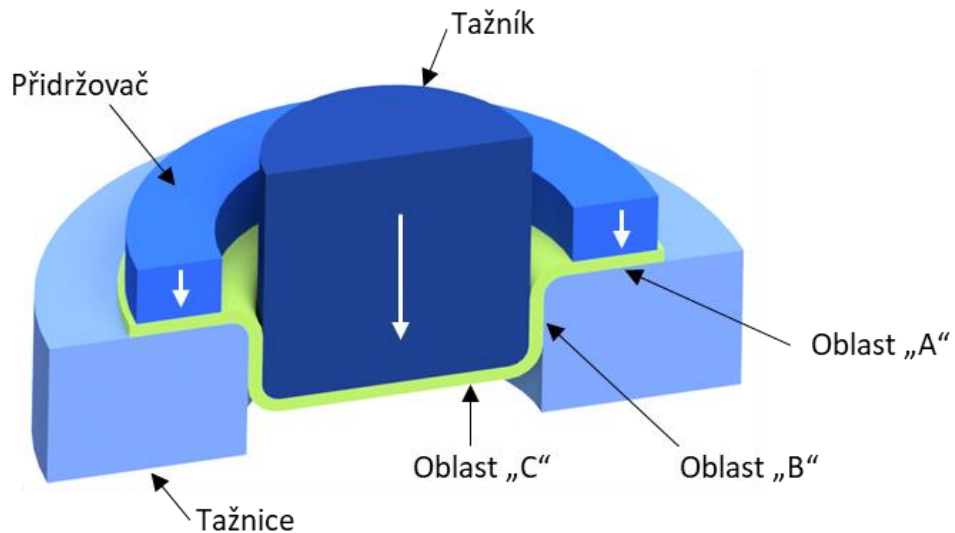
### 2.4.1 Princip tažení

Operaci tažení lze rozdělit na několik fází (obr. 2.25), které se mohou nepatrně lišit podle mechanických vlastností stříhaného materiálu, stavu nástroje a zvolených technologických podmínkách.

V oblasti „A“ příruby pod přidržovačem vzniká prostorová napjatost. Ta je tvořena radiálním tahovým napětím, tečným tahovým napětím a tlakovým napětím vzniklého od přidržovače. Napětí od přidržovače je však zanedbáváno vzhledem k velikosti zbylých dvou složek napětí. V této oblasti může docházet ke vzniku zvlnění výrobku. To je způsobeno přebytečným materiálem, který není potřebný k vytvoření výtažku.

V oblasti „B“ válcové stěny výrobku se nachází pouze jednoosá napjatost. Ta je tvořena tahovým radiálním napětím. Deformace výrobku je rovinná. Kladná radiální deformace stěny výrobku prodlužuje a záporná deformace ve směru tloušťky výrobku zmenšuje tloušťku výrobku.

V oblasti „C“ dna výrobku je rovinná napjatost. Ta je tvořena tahovým radiálním napětím a tahovým tečným napětím. Deformace může způsobit zmenšení tloušťky stěny výrobku. V případech tažení v jedné operaci je tato deformace zanedbatelná. [4, 9]



Obr. 2.25 Napěťové stavy při tažení

## 2.4.2 Přehled základních vad výtažků

**Tvárný lom** je vada, která vzniká v nejvíce deformované oblasti výtažku. Je důsledkem vyčerpání plasticity tvářeného materiálu a překročení meze pevnosti.

**Zvlnění** vzniká při ztrátě působení tlakové síly z přidržovače nebo pokud je výrobek tažen bez přidržovače.

**Povrchové vrásky** vznikají u materiálů s výraznou prioritou skluzových systémů nebo u materiálů s deformačním stárnutím.

**Zadírání** vzniká při dotyku tvářeného materiálu a nástroje. Vada se projevuje při použití různých materiálů u nástroje a výrobku nebo při použití povrchové ochrany zinku u taženého materiálu.

**Cípatost** vzniká v důsledku anizotropie materiálu. Směr tvorby cípů je hodnocen pomocí koeficientu normálové anizotropie. [5, 9]

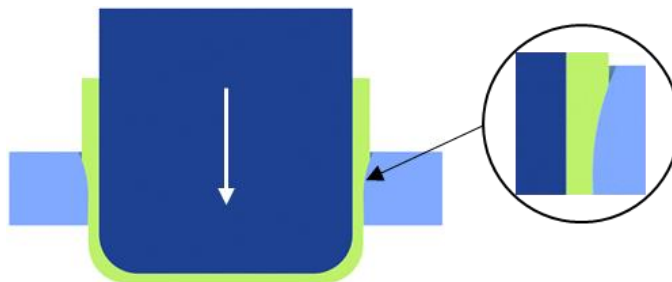
### 2.4.3 Přehled operací tažení

Tažení bez ztenčení stěny (obr. 2.26) je nejzákladnější operací. Přístřih je vtahován do tažnice, kde vzniká dutý tvar, který má tloušťku stěny shodnou s přístřihem. Tažení může probíhat bez nebo s přidržovačem. Přidržovač pomáhá zamezit zvlnění výrobku. Tažení může probíhat na jeden nebo více kroků. Počet kroků tažení určuje koeficient tažení. [6, 9]



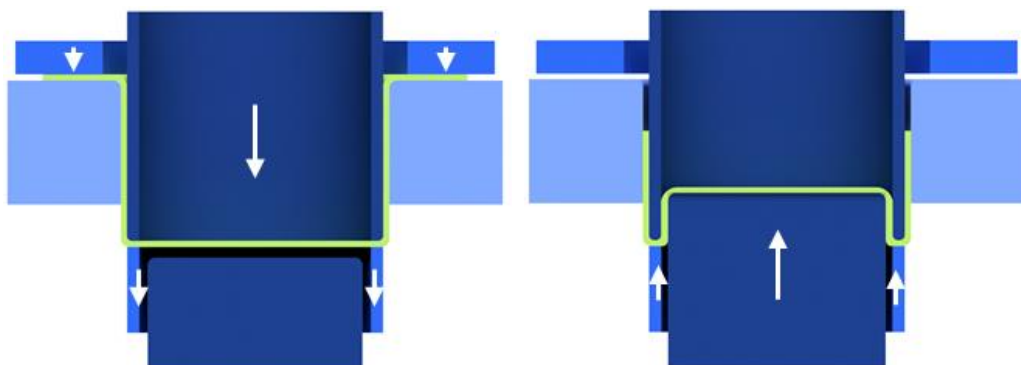
Obr. 2.26 Tažení bez ztenčení stěny

Tažení se ztenčením stěny (obr. 2.27) probíhá ve více krocích. V prvním kroku je výtažek tažen bez ztenčení tloušťky stěny. Následujícími kroky probíhá tažení s menší tažnou mezerou, než je tloušťka stěny výrobku. U toho tažení je větší riziko utržení stěny výrobku, než u tažení bez ztenčení stěny. [6, 9]



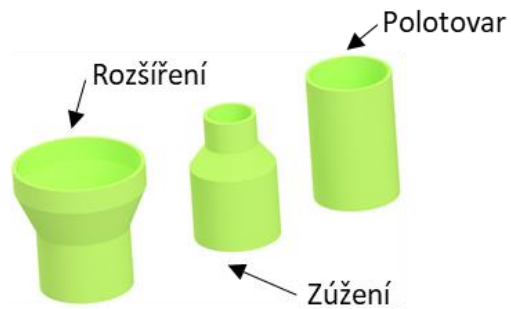
Obr. 2.27 Tažení se ztenčením stěny

Zpětné tažení (obr. 2.28) je operace, kdy výtažek je nejdříve tažen v jednom směru a následujícím krokem je tažen v opačném směru. Výtažek je v důsledku dvojnásobné deformace vysoce zpevněn a je dosaženo vysoké rozměrové a tvarové přesnosti. [6, 9]



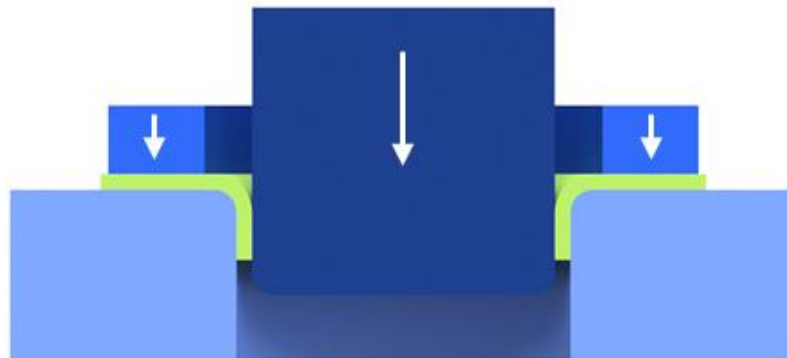
Obr. 2.28 Zpětné tažení

Zužování a rozšiřování (obr. 2.29) slouží ke změně rozměrů otevřeného konce výrobku. U taženého materiálu nedochází ke změně tloušťky stěny. [6, 9]



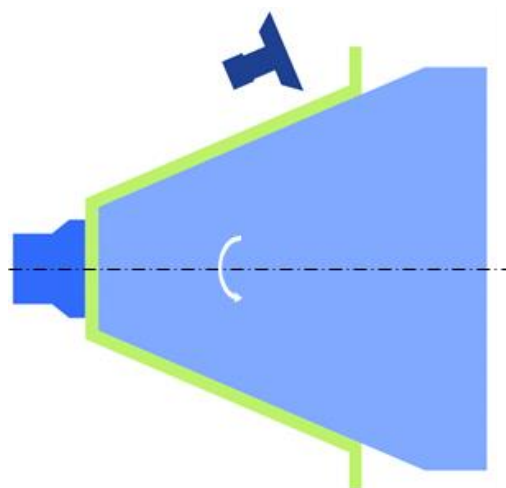
Obr. 2.29 Zužování a rozšiřování

Protahování (obr. 2.30) je operace, kdy dochází ke zvětšování otvoru, který je vytvořen v přístřihu. Při tažení může být tloušťka stěny zachována nebo ztenčena. [6, 9]



Obr. 2.30 Protahování

Rotační tažení plechů (obr. 2.31) využívá principu postupného přitlačování plechu na rotující model. Snadno lze vyrábět jednoduché výtažky rotačního tvaru. [6, 9]



Obr. 2.31 Rotační tažení plechů

## 3 Experimentální část

### 3.1 Cíl bakalářské práce

Cílem experimentální části bakalářské práce bylo zjistit, jaký vliv mají na velikost střížné síly různé rychlosti střížníku a velikosti střížných mezer. Dále bylo provedeno porovnání naměřených velikostí střížných sil a prací s teoretickými výpočty. Měřen byl materiál CR5 UC E-O označený dle normy VW 50065.

Pro splnění cílů bakalářské práce byly vykonány následující kroky:

- Výroba zkušebních těles pro statickou zkoušku tahem dle normy ISO 6892-1
- Výroba zkušebních vzorků pro zkoušku stříhem
- Provedení statické zkoušky tahem dle normy ISO 6892-1 pro zjištění základních mechanických hodnot
- Provedení zkoušky stříhem na trhačím zařízení za účelem zjištění závislosti střížné síly na dráze střížníku
- Výpočet teoretických hodnot střížné síly a práce
- Statistické vyhodnocení naměřených hodnot ze zkoušky stříhem
- Porovnání a vyhodnocení naměřených a teoretických hodnot

### 3.2 Materiál

K provedení experimentu byl použit materiál CR5 UC E-O označený podle normy VW 50065. Jedná se o IF ocel (interstitial free) s čistě feritickou matricí a předepsaným chemickým složením uvedeným v tabulce 3.1. Tato ocel je určena k hlubokému tažení. Kódové označení oceli je popsáno na obrázku 3.1. Rozmezí mechanických hodnot je uvedeno v tabulce 3.2. Jakost povrchu je popsána v tabulce 3.3.



Obr. 3.1 Popis kódového označení oceli

Tab. 3.1 - Chemické složení

Označení	C [%]	Si [%]	Mn [%]	P [%]	S [%]	Al [%]	Ti [%]	Cu [%]
CR5	≤ 0,02	≤ 0,50	≤ 0,30	≤ 0,02	≤ 0,02	≥ 0,01	≤ 0,30	≤ 0,20

Tab. 3.2 Požadavky mechanických vlastností

Označení	$R_{p0,2}$ [MPa]	$R_m$ [MPa]	$A_{80mm}$ [%]
CR5	110 - 170	260 - 330	≥ 41

Tab. 3.3 Jakosti povrchů

Označení	$R_a$ [ $\mu\text{m}$ ]	$RPc$ [1/cm]
U	1,1 - 1,6	≥ 50
E <sup>a)</sup>	1,0 - 1,5	≥ 60

a) jedna strana plechu odpovídá jakosti E druhá jakosti U

### 3.3 Statická zkouška tahem

Pro získání základních mechanických vlastností materiálu CR5 UC E-O byla provedena statická zkouška tahem dle normy ISO 6892-1. Vzorky pro zkoušku byly z materiálu odebrány ve směru 0°, 45° a 90° vůči směru válcování. Různé směry odebrání se provádějí z důvodu anizotropie materiálu.

#### 3.3.1 Zkušební tělesa

Pro statickou zkoušku tahem mají tělesa normalizovaný tvar a rozměry dle normy ISO 6892-1. V tomto případě bylo těleso určeno přílohou B, druh zkušební tělesa 2. Jedná se o plechy a pásy s obdélníkovým průřezem a tloušťkou v rozmezí 0,1 mm až 3 mm. Plocha, za kterou bylo zkušební těleso upnuto, mělo šířku větší než šířku zkoušené délky. Norma říká, že přechod mezi šířkami by měl být proveden s poloměrem o minimální hodnotě alespoň 20 mm a šířka upínací části by měla být zvětšena minimálně o 20 % zkoušené šířky.

Tělesa pro experiment (obr. 3.2) byla vyrobena technologií stříhání. Zkoušené šířky a tloušťky, které jsou potřebné pro definici zkoušky, byly změřeny pomocí úchylkoměru MITUTOYO ID-H0530 a posuvného měřítka MITUTOYO CD-15DCX. Průměrné hodnoty uvedené v tabulce 3.4 byly vypočteny na základě tří měření u každého z pěti vzorků.



Obr. 3.2 Ukázka zkušebního tělesa pro statickou zkoušku tahem

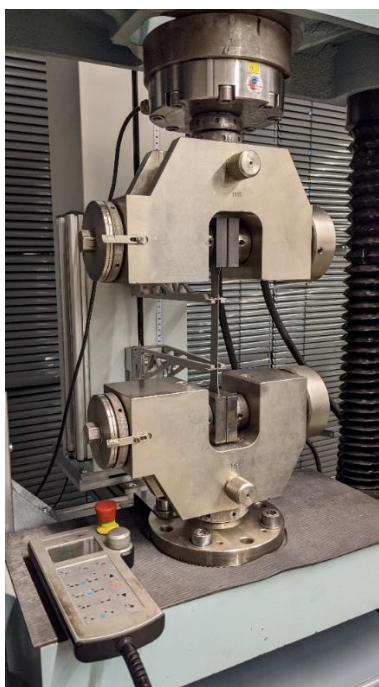
Tab. 3.4 Rozměry zkušebního tělesa

Označení	Tloušťka	Šířka
Průměrná hodnota [mm]	$0,79 \pm 0,0034$	$20,15 \pm 0,012$

### 3.3.2 Průběh statické zkoušky tahem

Tahová zkouška byla provedena na trhacím zařízení TIRAtest 2300 (obr. 3.3). Stroj je ovládán pomocí softwaru LabNet v.4. Do programu byly definovány rozměry průřezu plochy zkušebního tělesa, velikost předpětí odpovídající hodnotě 100 N, sekundová prodleva mezi předpětím a začátkem zkoušky a proměnná rychlost zatížení. Předpětí zkušebního tělesa je z důvodu jeho napnutí. V prodlevě proběhne dosednutí čelistí průtahoměru na zkušební těleso. Vzhledem k charakteru materiálu, kterým je hlubokotažná ocel, bylo těleso zatěžováno do meze kluzu  $R_{p0,2}$  rychlostí 1 mm/min. Za meze kluzu se rychlost postupně zvyšovala až na hodnotu 15 mm/min. Použití proměnné rychlosti je z důvodu časové náročnosti zkoušky. Změna rychlosti nemá významný vliv na výsledek zkoušky. Zkouška se automaticky ukončí při poklesu síly o 40 %.

Po definování podmínek byla postupně upínána zkušební tělesa do hydraulicky ovládaných čelistí. Pro každý směr válcování bylo změřeno 5 zkušebních těles.



Obr. 3.3 Trhací zařízení TIRAtest 2300

### 3.3.3 Vyhodnocení statické zkoušky tahem

Z měřicího softwaru LabNET v.4 byla vygenerována naměřená data do tabulky programu MS Excel. V souboru se nacházejí hodnoty síly, dráhy, času, prodloužení a deformace. Ze softwaru byly také vytvořeny měřící protokoly, které jsou v práci přiložené jako příloha 1, příloha 2 a příloha 3.

Samotný software umožňuje vykreslit z naměřených hodnot síly, prodloužení a zadaných hodnot šířky a tloušťky zkušební tělesa graf závislosti smluvního napětí na poměrném prodloužení. Z grafů jsou následně určeny hodnoty smluvní meze kluzu při poměrném prodloužení 0,2 %  $R_{p0,2}$ , smluvní mez pevnosti  $R_m$ , homogenní tažnosti  $A_g$  a tažnosti  $A_{80mm}$ .

Průměrné hodnoty mechanických vlastností pro každý směr odebrání vzorku jsou uvedeny v tabulce 3.5 včetně vypočtených středních směrodatných odchylek.

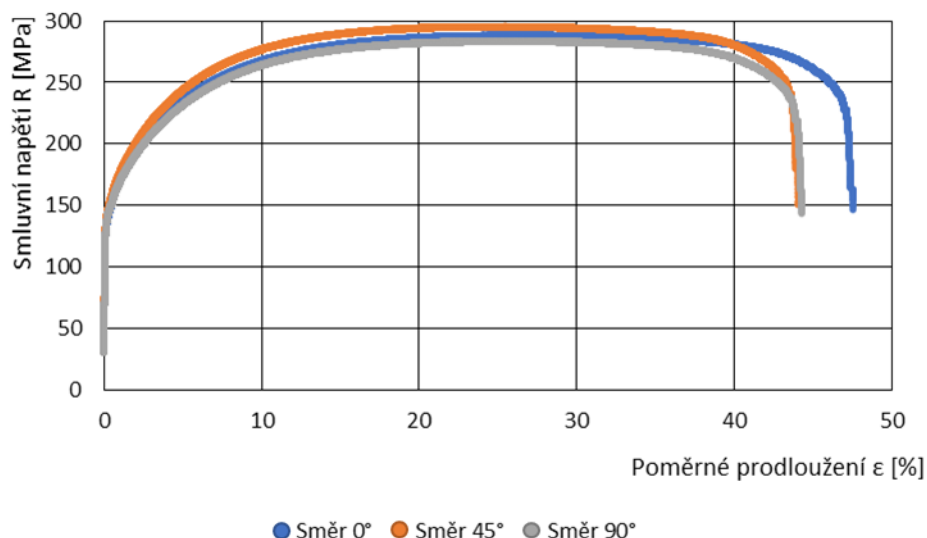
Tab. 3.5 Průměr naměřených mechanických hodnot

Směr odebrání	$R_{p0,2}$ [MPa]	$R_m$ [MPa]	$A_g$ [%]	$A_{80mm}$ [%]
0°	141,6 ± 0,1	289,4 ± 0,8	26,88 ± 0,27	47,52 ± 0,65
45°	147,8 ± 1,5	296,2 ± 1,0	24,98 ± 0,66	43,97 ± 0,34
90°	142,6 ± 0,9	283,3 ± 0,5	23,93 ± 0,27	44,32 ± 1,80

Z grafu závislosti smluvního napětí na poměrném prodloužení (obr. 3.4) a naměřených hodnot lze vidět, že největší hodnoty meze kluzu a pevnosti vykazuje zkušební těleso ve směru odebrání 45°. Při porovnání této hodnoty s ostatními směry nepozorujeme velké rozdíly. Běžné materiály obvykle vykazují nejlepší mechanické hodnoty ve směru válcování a nejhorší ve směru kolmém na směr válcování. U tohoto materiálu nemá směr válcování výrazný vliv na mechanické vlastnosti. To je dáno vysokou čistotou a homogenitou chemického složení.

Z naměřených hodnot tažností, které se pohybují okolo 45 %, vyplývá, že se jedná o materiál s velmi vysokou tažností, tedy určený pro hluboké tažení.





Obr. 3.4 Porovnání křivek ze statické zkoušky tahem pro různé směry válcování

### 3.4 Měření vlivu střížné mezery na velikost střížné síly

Měření probíhalo při pokojové teplotě na trhacím zařízení TIRAtest 2300 (obr. 3.5) s definováním vlastního průběhu zkoušky v softwaru LabNET v.4. Trhací stroj byl použit pro vyvození střížné síly, která působí na střížný nástroj. Jednotlivé části střížného nástroje jsou popsány na obrázku 3.6.

Definice zkoušky probíhala ve dvou krocích. Výběrem střížníku (obr. 3.7) s definovanou střížnou mezerou dle tabulky 3.6. Dále definicí zkoušky v softwaru. Na začátek zkoušky bylo definováno předpětí o hodnotě 1000 N. Od dosažení předpětí se automaticky vynulovala dráha střížníku. Střížník následně urazil dráhu 6 mm. Rychlost zkoušky byla volena dle tabulky 3.7. Pro každou rychlost měření s příslušnou střížnou mezerou bylo provedeno 10 měření. Výstupem byl měřicí protokol. Ten obsahuje vstupní a výstupní údaje z měření. Výstupními údaji jsou maximální střížná síla a závislost střížné síly na dráze střížníku. Protokoly k jednotlivým měřením se nachází v přílohách v elektronické podobě bakalářské práce. V tištěné podobě je přiložen pro ukázkou jeden protokol jako příloha 4.

Tab. 3.6 Hodnoty střížných mezer

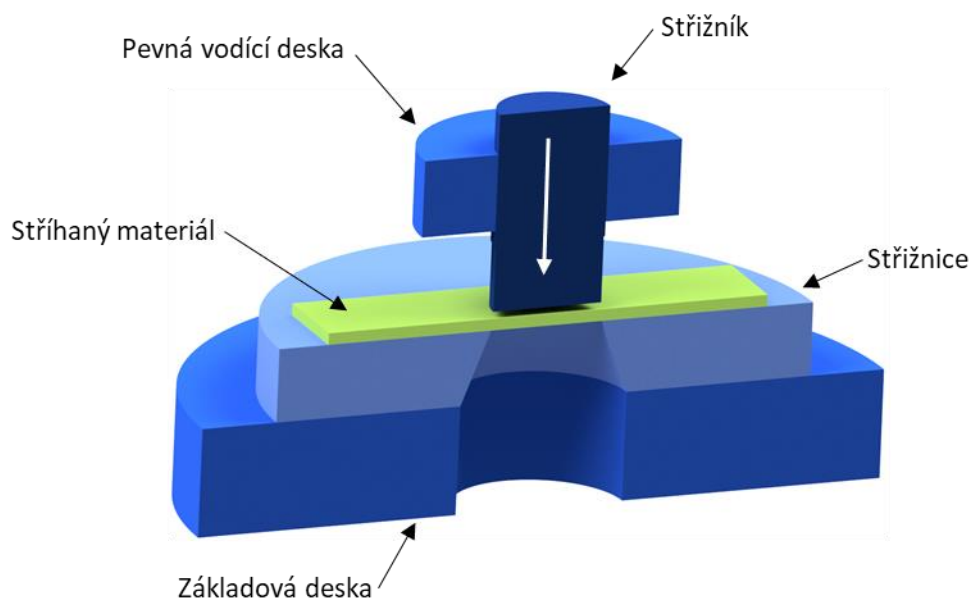
Označení	$m_{s1}$	$m_{s2}$	$m_{s3}$	$m_{s4}$	$m_{s5}$	$m_{s6}$
Velikost střížné mezery [mm]	0,01	0,08	0,16	0,24	0,32	0,40

Tab. 3.7 Rychlosti zkoušky

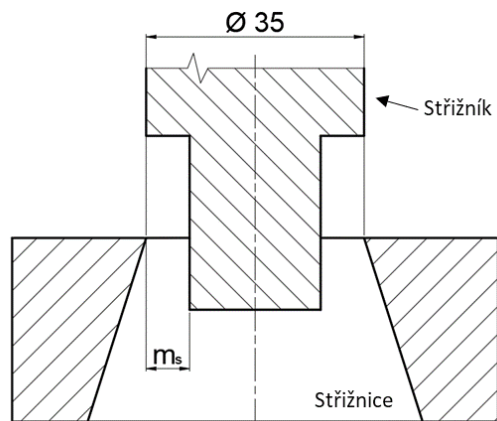
Rychlost zkoušky [mm/min.]	10	100	500
----------------------------	----	-----	-----



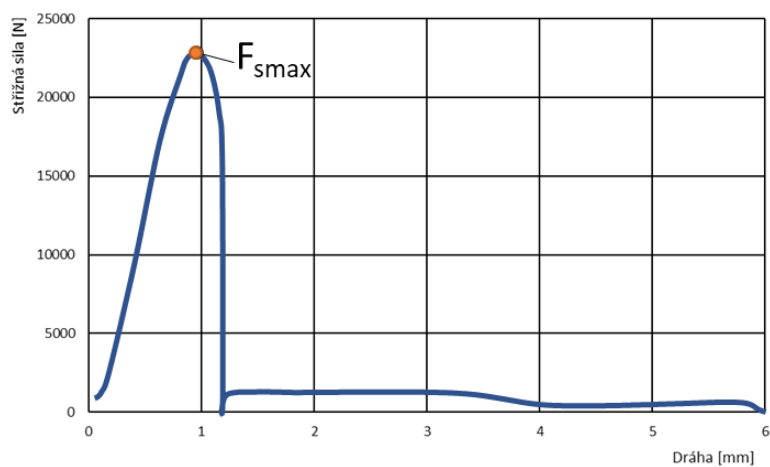
Obr. 3.5 Zařízení pro měření střížné síly TIRAtest 2300



Obr. 3.6 3D model střížného nástroje



Obr. 3.7 Detail střížníku a střížnice



Obr. 3.8 Závislost střížné síly na dráze střížníku

Obrázek 3.8 ukazuje typický průběh střížné síly na dráze střížníku pro zkoušený materiál CR5 UC E-O. Ze závislosti střížné síly na dráze střížníku byla odečtena maximální střížná síla  $F_{smax}$ , která byla zapsána do tabulky. Hodnoty pro jednotlivé střížné mezery a rychlosti zkoušek jsou uvedeny v tabulkách 3.8, 3.9 a 3.10.

Tab. 3.8 Naměřené hodnoty maximálních sil pro rychlost zkoušky 10 mm/min.

Rychlost zkoušky 10 mm/min.						
Číslo měření	Maximální síla pro jednotlivé střížné mezery [N]					
	$m_{s1}$	$m_{s2}$	$m_{s3}$	$m_{s4}$	$m_{s5}$	$m_{s6}$
1	22719	21664	20714	20913	21105	21594
2	22675	21696	20740	20964	21153	21726
3	22688	21731	20677	20992	21190	21543
4	22876	21738	20576	20936	21222	21595
5	22691	21783	20615	20970	21278	21787
6	22645	21772	20566	20987	21318	21648
7	22672	21757	20605	21004	21297	21622
8	22750	21732	20760	21094	21321	21928
9	22823	21692	20744	20965	21355	21753
10	22851	21646	20564	20755	21556	21643

Tab. 3.9 Naměřené hodnoty maximálních sil pro rychlost zkoušky 100 mm/min.

Rychlost zkoušky 100 mm/min.						
Číslo měření	Maximální síla pro jednotlivé střížné mezery [N]					
	$m_{s1}$	$m_{s2}$	$m_{s3}$	$m_{s4}$	$m_{s5}$	$m_{s6}$
1	24313	22758	21770	22177	22391	22898
2	24384	22895	21774	22124	22301	22787
3	24361	22876	21801	22166	22272	22656
4	24391	22740	21887	22164	22290	22545
5	24439	22683	21914	22257	22307	22452
6	24543	22699	21992	22319	22360	22568
7	24388	22738	21988	22065	22390	22686
8	24182	22896	22010	21930	22375	22480
9	24151	22872	22022	21989	22373	22445
10	24178	22913	22072	21987	22394	22450

Tab. 3.10 Naměřené hodnoty maximálních sil pro rychlost zkoušky 500 mm/min.

Rychlost zkoušky 500 mm/min						
Číslo měření	Maximální síla pro jednotlivé střížné mezery [N]					
	$m_{s1}$	$m_{s2}$	$m_{s3}$	$m_{s4}$	$m_{s5}$	$m_{s6}$
1	25001	23791	22854	22571	23034	23224
2	25053	23746	22841	22480	23084	23281
3	25083	23713	22814	22591	23103	23345
4	25155	23721	22740	22749	22810	23450
5	25179	23692	22685	22416	22859	23354
6	25179	23647	22682	22460	22815	23293
7	25204	23658	22714	22542	22871	23307
8	25265	23540	22751	22624	22989	23176
9	25333	23525	22645	22725	22976	23179
10	25330	23504	22592	22739	23000	23156

### 3.5 Výpočet střížné síly

K výpočtu teoretické střížné síly byl použit vztah (7) na základě vztahu (2) uvedeného v kapitole 2.2.4. Koeficient k výpočtu střížného odporu byl určen z obrázku 2.7. Hodnoty meze kluzu a pevnosti byly vypočteny dle vztahu (6) z hodnot v tabulce 3.5. Z poměru mezí kluzu a pevnosti byl podle diagramu určen koeficient  $k'_{os}$  o velikosti 0,6. Délka stříhu je určena průměrem střížnice o hodnotě  $d_s = 35$  mm. Počáteční tloušťka stříhaného materiálu je uvedena v tabulce 3.4.

$$R = \frac{1}{4} \cdot (x_{0^\circ} + 2 \cdot x_{45^\circ} + x_{90^\circ}) \quad (6)$$

$$R_{p0,2} = \frac{1}{4} \cdot (141,6 + 2 \cdot 147,8 + 142,6)$$

$$R_{p0,2} = 145 \text{ MPa}$$

$$R_m = \frac{1}{4} \cdot (289,4 + 2 \cdot 296,2 + 283,3)$$

$$R_m = 291,3 \text{ MPa}$$

$$F_s = k_{os} \cdot \pi \cdot d_s \cdot s_0 \quad (7)$$

$$F_s = 0,6 \cdot 291,3 \cdot \pi \cdot 35 \cdot 0,79$$

$$F_s = 15\,182 \text{ N}$$

### 3.6 Výpočet střížné práce

K výpočtu teoretické střížné práce byl použit vztah (8) na základě vztahu (5) uvedeného v kapitole 2.2.6. Koeficient zaplnění plochy byl určen z obrázku 2.10. Hodnoty mezí kluzu a pevnosti byly použity z tabulky 3.5 pro směr odebrání 45°. Dalším určujícím parametrem pro volbu koeficientu je poměr střížné mezery a tloušťky stříhaného materiálu. Tento poměr je pro experiment limitující. Aby bylo docíleno výběru koeficientu z modře šrafované části, vyhovují mu pouze poměry vypočtené pro střížnou mezeru  $m_{s1}$  a  $m_{s2}$ . Z tohoto důvodu byly vypočteny střížné práce pouze pro dvě hodnoty střížné mezery. Pro střížnou mezeru  $m_{s1}$  byl volen koeficient zaplnění  $k_A = 0,35$ , pro  $m_{s2}$  odpovídá  $k_A = 0,425$ .

$$A_s = k_A \cdot F_s \cdot s_0 \cdot 10^{-3} \quad (8)$$

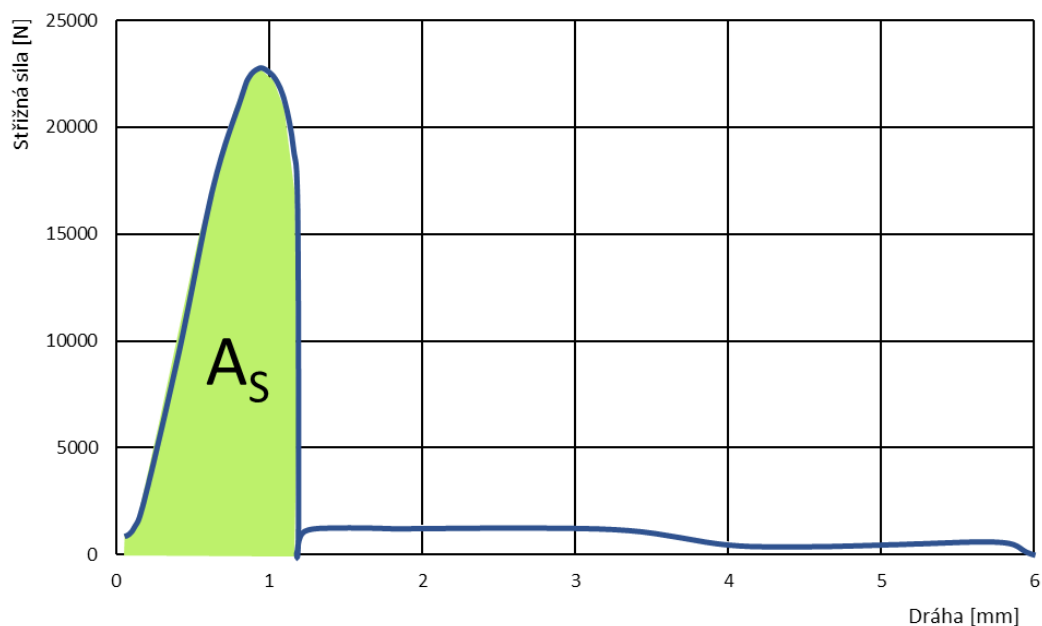
$$A_{s1} = 0,35 \cdot 15182 \cdot 0,79 \cdot 10^{-3}$$

$$A_{s1} = 4,198 \text{ J}$$

$$A_{s2} = 0,425 \cdot 15182 \cdot 0,79 \cdot 10^{-3}$$

$$A_{s2} = 5,097 \text{ J}$$

Výpočet reálné střížné síly proběhl v programu MS Excel. Z naměřených dat střížné síly a dráhy střížníku byla numericky vypočítána plocha pod křivkou (obr. 3.8). Zvolena byla lichoběžníková metoda numerické integrace. Výpočet proběhl v oblasti, kde střížná síla stoupá k maximální hodnotě a následně rychle klesá téměř k nule. Dále zaznamenané hodnoty nebyly zahrnuty do výpočtu střížné práce, protože se jedná o práci vykonanou na protlačení již vystříženého materiálu skrz střížnici. Vypočtené hodnoty jsou uvedeny v diskuzi výsledků.



Obr. 3.9 Závislost střížné síly na dráze střížníku

### 3.7 Analýza rozptylu

Vlivy jednotlivých faktorů na výslednou maximální střížnou sílu zkoušeného materiálu byly zjišťovány pomocí statistické metodiky. Konkrétně byla výsledná naměřená data podrobena dvoufaktorové analýze rozptylu (tzv. ANOVA), což je metoda využívaná k posouzení variability výsledných dat opakovaného náhodného pokusu. [10]

Zkoumaný soubor maximálních střížných sil byl sloučen do jedné tabulky 3.11. Síly byly rozděleny podle příslušných velikostí střížných mezer do sloupců. Podle rychlostí zkoušek do řádků. K vyhodnocení dat bylo nutné určit nulovou hypotézu  $H_0$  a alternativní hypotézu  $H_1$ . [10]

- $H_0$  – Vliv faktoru je statisticky nevýznamný
- $H_1$  – Vliv faktoru je statisticky významný

K přijetí nebo zamítnutí nulové hypotézy bylo spočítáno testovací kritérium  $F$ . Výpočet proběhl v programu MS Excel na hladině významnosti  $\alpha = 0,05$ . Této hodnotě odpovídá kritická hodnota  $F_{krit}$ . Z porovnání hodnot  $F$  a  $F_{krit}$  se stanovilo, zda bude hypotéza  $H_0$  přijata nebo zamítnuta. Rozhodující podmínka  $F > F_{krit}$  vedla k zamítnutí nulové hypotézy  $H_0$  a přijetí ekvivalentní hypotézy  $H_1$ . Výsledky analýzy a jejich komentář jsou uvedeny v diskuzi výsledků. [10]

Tab. 3.11 Tabulka pro analýzu rozptylu

Rychlost zkoušky	Střížná mezera [%]					
	1	10	20	30	40	50
10 mm/min.	22719	21664	20714	20913	21105	21594
	22675	21696	20740	20964	21153	21726
	22688	21731	20677	20992	21190	21543
	22876	21738	20576	20936	21222	21595
	22691	21783	20615	20970	21278	21787
	22645	21772	20566	20987	21318	21648
	22672	21757	20605	21004	21297	21622
	22750	21732	20760	21094	21321	21928
	22823	21692	20744	20965	21355	21753
	22851	21646	20564	20755	21556	21643
100 mm/min.	24313	22758	21770	22177	22391	22898
	24384	22895	21774	22124	22301	22787
	24361	22876	21801	22166	22272	22656
	24391	22740	21887	22164	22290	22545
	24439	22683	21914	22257	22307	22452
	24543	22699	21992	22319	22360	22568
	24388	22738	21988	22065	22390	22686
	24182	22896	22010	21930	22375	22480
	24151	22872	22022	21989	22373	22445
	24178	22913	22072	21987	22394	22450
500 mm/min.	25001	23791	22854	22571	23034	23224
	25053	23746	22841	22480	23084	23281
	25083	23713	22814	22591	23103	23345
	25155	23721	22740	22749	22810	23450
	25179	23692	22685	22416	22859	23354
	25179	23647	22682	22460	22815	23293
	25204	23658	22714	22542	22871	23307
	25265	23540	22751	22624	22989	23176
	25333	23525	22645	22725	22976	23179
	25330	23504	22592	22739	23000	23156

## 4 Diskuze výsledků

Hodnoty zjištěné měřením statické zkoušky tahem potvrzují mechanické hodnoty materiálu CR5 UC E-O udávané v normě. Měřením byly dále prokázány minimální změny vlastností vzhledem k směru válcování. Materiál tedy vykazuje malou míru anizotropie.

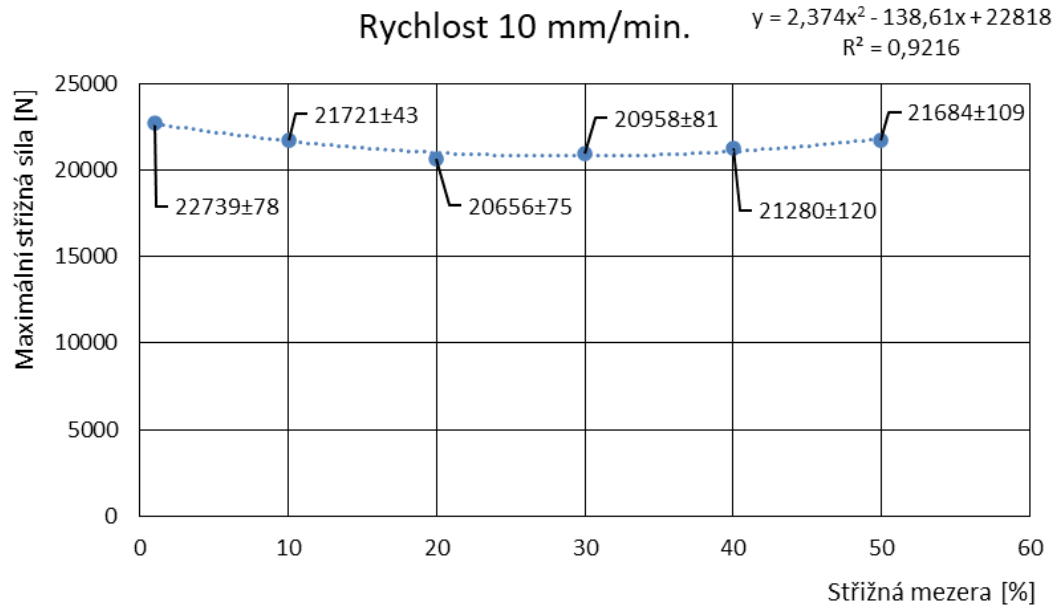
Z měření vlivu střížné mezery na velikosti střížné síly vyplynulo několik závěrů. První výsledky přinesla dvoufaktorová analýza rozptylu (ANOVA). Na základě hodnot z tabulky 4.1 a podmínky z kapitoly 3.7 bylo nejdříve rozhodnuto o významnosti jednotlivých faktorů. Následně byl porovnán vliv interakce obou faktorů. Velikosti střížné mezery pro konkrétní rychlost zkoušky má statisticky významný vliv na velikost střížné síly. Mnohem významnější statistický vliv na velikost střížné síly má rychlost zkoušky pro jednotlivé střížné mezery. Významný statistický vliv na střížnou sílu má i interakce obou faktorů.

Tab. 4.1 ANOVA – výsledné hodnoty pro rozhodující podmínku

Označení	F	F <sub>krit</sub>
Vliv velikosti střížné mezery	1966,665	2,270
Vliv rychlosti zkoušky	5049,296	3,052
Interakce	28,487	1,890

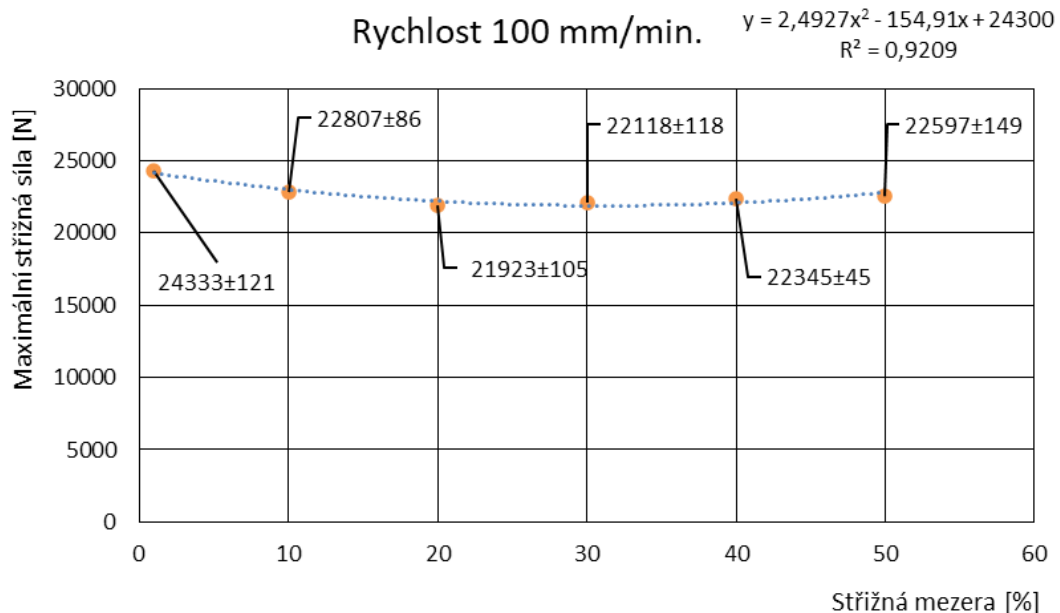
Konkrétní naměřené výsledky střížných sil pro jednotlivé střížné mezery a rychlosti zkoušek jsou uvedeny v následujících odstavcích. Z obrázku 4.1 je patrné, že od hodnoty střížné mezery 1 % až k hodnotě 20 % dochází k poklesu střížné síly. Z naměřených hodnot vyplývá, že nejnižší hodnota střížné síly byla při použití střížné mezery 20 %. V blízkosti této hodnoty lze očekávat i minimální hodnotu střížné síly. Při dalším zvětšování střížné mezery postupně narůstala střížná síla.





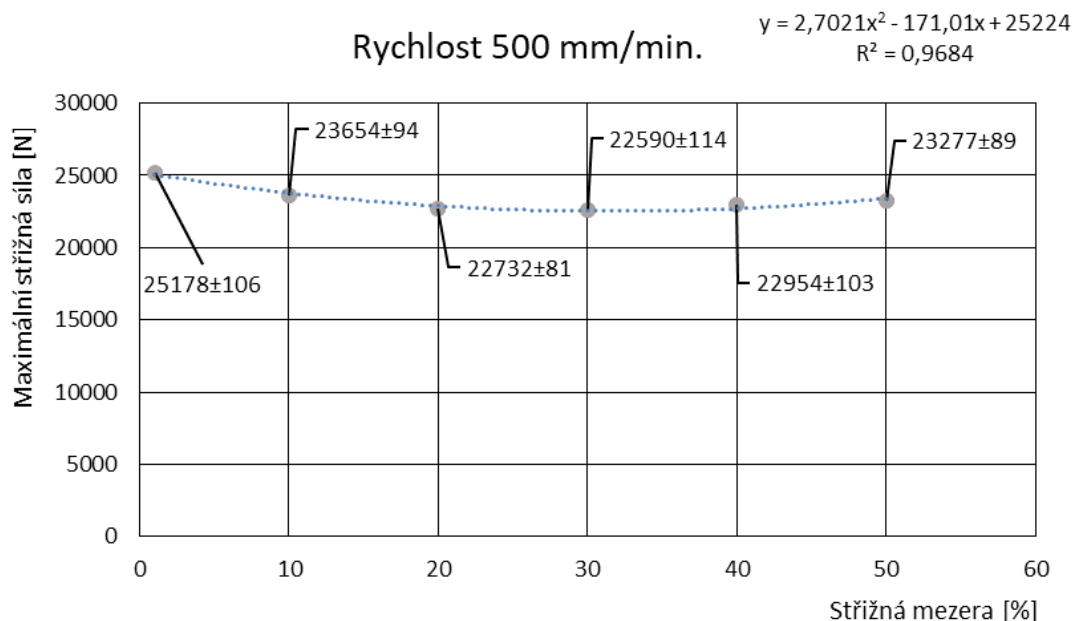
Obr. 4.1 Graf závislosti maximální střížné síly na velikosti střížné mezery pro rychlost 10 mm/min.

Z obrázku 4.2 je patrné, že střížná síla opět klesá jako v předešlém měření až k velikosti střížné mezery 20 %. Vzhledem k velikosti střední směrodatné odchylky na intervalu 20 % až 30 % nelze z naměřených hodnot jednoznačně určit, zda síla klesá nebo stoupá. Při střížné mezeře 40 % střížná síla nepatrně stoupla oproti hodnotě síly na 30 %. Další hodnota na 50 % se také mírně zvýšila. Z naměřených hodnot vyplývá, že zvětšování střížné mezery na intervalu 20 % až 50 % nemá tak výrazný vliv na změnu velikosti střížné síly jako v případě rychlosti zkoušky 10 mm/min.



Obr. 4.2 Graf závislosti maximální střížné síly na velikosti střížné mezery pro rychlost 100 mm/min.

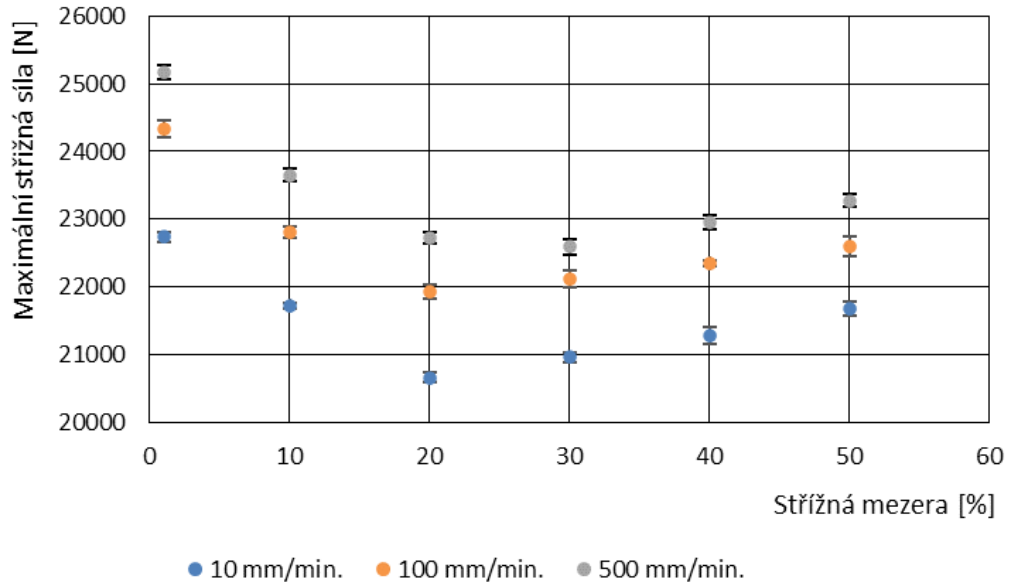
Z obrázku 4.3 je patrné, že střížná síla klesá obdobně jako v předešlých dvou měřeních až k hodnotě střížné mezery 20 %. Na intervalu 20 % až 30 % nelze určit pokles nebo zvýšení střížné síly z důvodu velikosti středních směrodatných odchylek. Mírný vzrůstající trend střížné síly se projevil až na hodnotě 40 % a 50 % střížné mezery. Stejně jako u předchozího měření se prokázalo, že zvětšování střížné mezery nemá tak výrazný vliv na velikost střížné síly v intervalu 20 % až 50 % oproti rychlosti zkoušky 10 mm/min.



Obr. 4.3 Graf závislosti maximální střížné síly na velikosti střížné mezery pro rychlost 500 mm/min.

Obrázek 4.4 ukazuje, že mění se rychlost zkoušky má jednoznačný vliv na velikost střížné síly. U každé jednotlivé střížné mezery se ukázalo, že se zvyšující rychlostí zkoušky se zvýší i střížná síla. Nárůst síly mezi rychlostmi 10 mm/min. a 100 mm/min. byl okolo 5 %. Mezi rychlostmi 100 mm/min. a 500 mm/min byl nárůst okolo 3 %. Naopak zvětšování střížné mezery nepřineslo tak jednoznačný výsledek. U rychlosti 10 mm/min. mají hodnoty rozdílné velikosti. Při rychlostech 100 mm/min. a 500 mm/min. jsou rozdílné hodnoty v rozmezí 1 % až 20 %. Dalším zvětšováním střížné mezery až do hodnoty 50 % se hodnoty střížné síly výrazně neliší.

Nejvyšší hodnoty střížné síly byly naměřeny vždy při stříhání s nejmenší střížnou mezerou. Na základě teoretických poznatků uvedených v kapitole 2.2.5 se dá předpokládat, že u stříhání s malou střížnou mezerou nedochází k protnutí trhlin šířících se materiálem od hran střížníku a střížnice (obr. 2.6 a). Zvětšování mezery pomohlo ke snížení střížné síly a správnému šíření trhlin (obr. 2.6 b). Pro stříhání tohoto materiálu vyšší rychlostí by se optimální střížná mezera měla pohybovat mezi 20 % až 30 %. S větší střížnou mezerou docházelo k postupnému nárůstu střížné síly. Při stříhání materiálu dochází k velkým plastickým deformacím a tím narůstá i potřebná síla k jeho přestřížení.



Obr. 4.4 - Graf závislosti maximální střížné síly na velikosti střížné mezery pro jednotlivé rychlosti

Z porovnání naměřených dat bylo zjištěno, že zvětšování hodnot střížné mezery nad 20 % nemá tak jednoznačný vliv na velikost střížné síly. K určení této hypotézy byla použita opět dvoufaktorová analýza rozptylu. Porovnány byly pouze hodnoty pro střížné mezery 30 % až 50 %. Statistická významnost vlivu jednotlivých faktorů byla rozhodnuta podmínkou z kapitoly 3.7. Vliv velikosti střížné mezery má stále statisticky významný vliv, ale mnohem nižší než při porovnání všech naměřených hodnot. Vliv rychlosti zkoušky je stále statisticky významný. Interakce obou faktorů má dle podmínky statisticky významný vliv na velikost střížné síly, ale mezi hodnotami  $F$  a  $F_{krit}$  je velmi malý rozdíl. Vliv není tak velký jako v předchozím porovnání.

Tab. 4.2 – ANOVA – výsledné hodnoty pro rozhodující podmínku

Označení	F	$F_{krit}$
Vliv velikosti střížné mezery	236,126	3,109
Vliv rychlosti zkoušky	1624,952	3,109
Interakce	3,738	2,484

Porovnání naměřených hodnot střížné síly a teoretického výpočtu přineslo překvapivý výsledek. Z tabulky 4.2 je patrné, že teoretický výpočet vůbec neodpovídá naměřeným hodnotám. Rozdíl mezi nejmenší naměřenou silou a výpočtem je 34 %. Za povšimnutí stojí, že výpočet vůbec nezohledňuje rychlost zkoušky a velikost střížné mezery. Zajímavostí je, že při uvažování koeficientu pro výpočet přetvárného odporu o hodnotě 0,8 by se výpočet zpřesnil.

Hodnota 0,8 se běžně vyskytuje ve středoškolských výpočtech. Rozdíl by tak klesl na 0,3 % oproti nejmenší naměřené hodnotě a 22 % oproti nejvyšší.

Tab. 4.3 - Porovnání maximálních střížných sil

Označení	Střížná síla [N]					
	$m_{s1}$	$m_{s2}$	$m_{s3}$	$m_{s4}$	$m_{s5}$	$m_{s6}$
10 mm/min.	22 738 ± 78	21 721 ± 43	20 656 ± 75	20 958 ± 81	21 279 ± 120	21 683 ± 109
100 mm/min.	24 332 ± 121	22 806 ± 86	21 922 ± 105	22 117 ± 118	22 345 ± 45	22 596 ± 149
500 mm/min.	25 178 ± 106	23 653 ± 94	22 731 ± 81	22 589 ± 114	22 953 ± 103	23 276 ± 89
Výpočet	15 128					
Středoškolský výpočet	20 243					

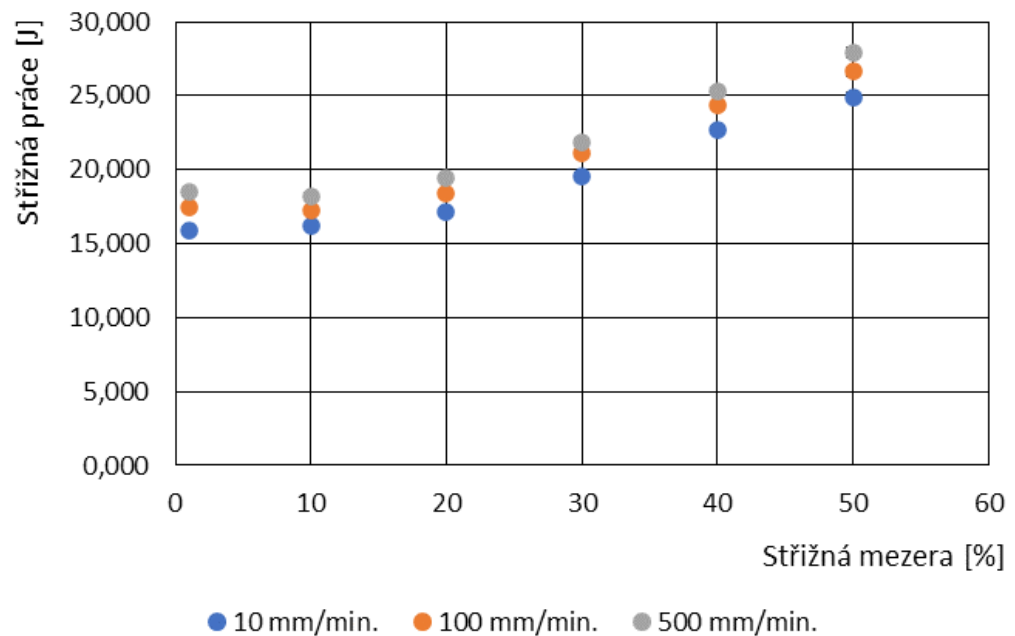
Porovnáním naměřených střížných prací a teoretického výpočtu se získá obdobný výsledek jako u předešlého porovnání. Porovnávané hodnoty jsou uvedené v tabulce 4.3. Vzorec pro střížnou práci vyplývá z výpočtu střížné síly. Zde dochází ke vzniku první odchylky. Další odchylka vznikne výběrem koeficientu zaplnění. Koeficient je vybrán z grafu (obr. 2.10) na základě mechanických hodnot a poměru střížné mezery vůči tloušťce materiálu. Výběr koeficientu z modré oblasti splňují pouze střížné mezery  $m_{s1}$  a  $m_{s2}$ . Na základě těchto faktů nelze tento graf používat u stříhání s poměrem střížné mezery vůči tloušťce materiálu menším než 0,01.

Tab. 4.4 - Porovnání střížných prací

Označení	Střížná práce [J]					
	$m_{s1}$	$m_{s2}$	$m_{s3}$	$m_{s4}$	$m_{s5}$	$m_{s6}$
10 mm/min.	15,909 ± 0,077	16,217 ± 0,047	17,158 ± 0,190	19,596 ± 0,112	22,653 ± 0,202	24,912 ± 0,249
100 mm/min.	17,421 ± 0,144	17,197 ± 0,115	18,429 ± 0,125	21,142 ± 0,153	24,373 ± 0,077	26,634 ± 0,268
500 mm/min.	18,520 ± 0,126	18,208 ± 0,172	19,430 ± 0,110	21,819 ± 0,195	25,343 ± 0,186	27,894 ± 0,317
Výpočet $m_{s1}$	4,198					
Výpočet $m_{s2}$	5,097					

Na obrázku 4.5 je zobrazena závislost střížných prací pro jednotlivé střížné mezery a rychlosti. Pro rychlost 10 mm/min. se vykonaná střížná práce se vzrůstající střížnou mezerou postupně navyšovala. U rychlosti 100 mm/min. střížná práce mezi hodnotami 1 % a 10 % nepatrně poklesla.

Se vzrůstající střížnou mezerou měla střížná práce vzrůstající trend. Pro rychlost 500 mm/min. platí podobná závislost jako pro rychlost 100 mm/min. Při porovnání závislosti střížné síly a střížné práce na velikosti střížné mezery můžeme pozorovat jistou podobnost. Se zvětšující se střížnou rychlostí docházelo k nárůstu střížné práce. S ohledem na snížení střížné práce by se optimální střížná mezera nacházela kolem hodnoty 10 %.



Obr. 4.5 - Graf porovnání naměřených střížných prací

## 5 Závěr

V rámci experimentální části této bakalářské práce byl zjištěn vliv velikosti střížné mezery na deformační odpor při stříhání, respektive střížnou sílu. Pro experiment byl použit materiál s označením CR5 UC E-O, který se používá v automobilovém průmyslu. Ze statistického vyhodnocení naměřených hodnot vyplynul statisticky významný vliv faktorů velikosti střížné mezery a rychlosti zkoušky. Dalším porovnáním hodnot bylo zjištěno, že při zvyšující se rychlosti zkoušky se zvyšuje i střížná síla. Nárůst síly byl z rychlosti 10 mm/min. na 100 mm/min. v průměru 5 % pro jednotlivé střížné mezery. Z rychlosti 100 mm/min. na 500 mm/min. byl nárůst okolo 3 %. Při porovnání velikostí střížných sil pro jednotlivé střížné rychlosti bylo zjištěno, že pro rychlost 10 mm/min. střížná síla při nejmenší střížné mezeře byla nejvyšší z naměřených hodnot. Následně hodnoty klesly až na nejmenší hodnotu při střížné mezeře  $m_{s3}$ . Dalším zvětšováním mezery narůstala i střížná síla. Podobný průběh byl zjištěn i u rychlostí 100 mm/min. a 500 mm/min. Zde hodnoty síly klesaly až ke střížné mezeře  $m_{s3}$  a  $m_{s4}$ . Nejmenší hodnotu u těchto mezer nelze jednoznačně určit z důvodu velikostí středních směrodatných odchylek. Následným zvětšováním mezery se projevil mírný nárůst sil. Tento nárůst nebyl tak výrazný jako u rychlosti 10 mm/min.

Z pohledu střížné práce bylo zjištěno, že pro rychlost 10 mm/min. práce narůstá se zvětšující se střížnou mezerou. U rychlostí 100 mm/min. a 500 mm/min. práce poklesla mezi střížnou mezerou  $m_{s1}$  a  $m_{s2}$ . Dalším zvětšováním mezery narůstala i střížná práce.

Naměřené hodnoty střížné síly a práce byly porovnány s teoretickými výpočty. Z pohledu tohoto experimentu se výpočty nepřiblížily naměřeným hodnotám. Odchylka výpočtu byla přes 34 %. Z těchto důvodů je použitý diagram k výběru koeficientu střížného odporu nevhodný pro výpočet materiálů s poměrem meze pevnosti a meze kluzu okolo hodnoty 0,5. Dalo by se tak předpokládat, že diagram byl složen na základě měření jiného konkrétního materiálu. Pro výpočet takových materiálů je vhodnější volit koeficient střížného odporu 0,8 známý ze středoškolských výpočtů.

## Literatura

- [1] HLUCHÝ, M., J. KOLOUCH a R. PAŇÁK. *Strojírenská technologie 2 - 1. díl*. Vyd. 2. Praha: Scientia, 2001. ISBN 978-80-7183-244-8.
- [2] BŘEZINA, Richard, Jiří PETRUŽELKA, VYSOKÁ ŠKOLA BÁŇSKÁ - TECHNICKÁ UNIVERZITA OSTRAVA a STROJNÍ FAKULTA. *Úvod do tváření II*. Ostrava: Vysoká škola báňská - Technická univerzita, 2001. ISBN 978-80-248-0068-4.
- [3] SOLFRONK, Pavel. *Nástroje pro plošné tváření - I. díl*. první. Liberec: Technická univerzita v Liberci, 2014. ISBN 978-80-7494-155-9.
- [4] SEMIATIN, S.L., ed. *ASM Handbook, Volume 14B, Metalworking: Sheet Forming*. Materials Park, Ohio: ASM International, 2006. ISBN 978-0-87170-710-9.
- [5] BOLJANOVIC, Vukota. *Sheet metal forming processes and die design*. New York: Industrial Press, 2004. ISBN 978-0-8311-3182-1.
- [6] KOTOUČ, Jiří, Jan ŠANOVEC, Jan ČERMÁK a Luděk MÁDLE. *Tvářecí nástroje*. Praha: ČVUT, 1993. ISBN 80-01-01003-01.
- [7] SOLFRONK, Pavel. Technologie II – 6. přednáška Technologie ohýbání - A. [online prezentace]. Technická univerzita v Liberci. 2019. [19.1.2021]. Dostupné z: <https://elearning.tul.cz/mod/resource/view.php?id=198404>
- [8] TSCHAETSCH, Heinz. *Metal forming practise: Processes - Machines - Tools*. Berlin ; New York: Springer-Verlag, 2006. ISBN 978-3-540-33216-9.
- [9] SOLFRONK, Pavel. Technologie II – 7. přednáška Technologie tažení. [online prezentace]. Technická univerzita v Liberci. 2019. [19.1.2021]. Dostupné z: <https://elearning.tul.cz/mod/resource/view.php?id=198406>
- [10] ŠTÍPKOVÁ, Michaela. *Vliv doby stárnutí na mech vlastnosti slitiny AW 2024* [online]. Liberec, 2018. Technická univerzita v Liberci, Fakulta strojní, katedra strojírenské technologie. Dostupné z: [https://dspace.tul.cz/bitstream/handle/15240/152037/Michaela\\_Stipkova\\_BP\\_2018.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://dspace.tul.cz/bitstream/handle/15240/152037/Michaela_Stipkova_BP_2018.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- [11] ČSN EN ISO 6892-1 *Kovové materiály - Zkoušení tahem - Část 1: Zkušební metoda za pokojové teploty*. B.m.: Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví. 2010. Třídící znak: 42 0310
- [12] *VW 50065 Flat Products Made of Steel for Cold Working*. B.m.: Ute Hager-Süß: Volkswagen Aktiengesellschaft. 2019. Třídící znak: 51251

## Seznam příloh

Příloha 1: Protokol statické zkoušky tahem pro směr odebrání vzorku 0°

Příloha 2: Protokol statické zkoušky tahem pro směr odebrání vzorku 45°

Příloha 3: Protokol statické zkoušky tahem pro směr odebrání vzorku 90°

Příloha 4: Protokol zkoušky stříhem pro střížnou mezeru  $m_{s1}$  a rychlost 10 mm/min.



## Přílohy

# STATICKÁ ZKOUŠKA TAHEM

EN ISO 6892-1

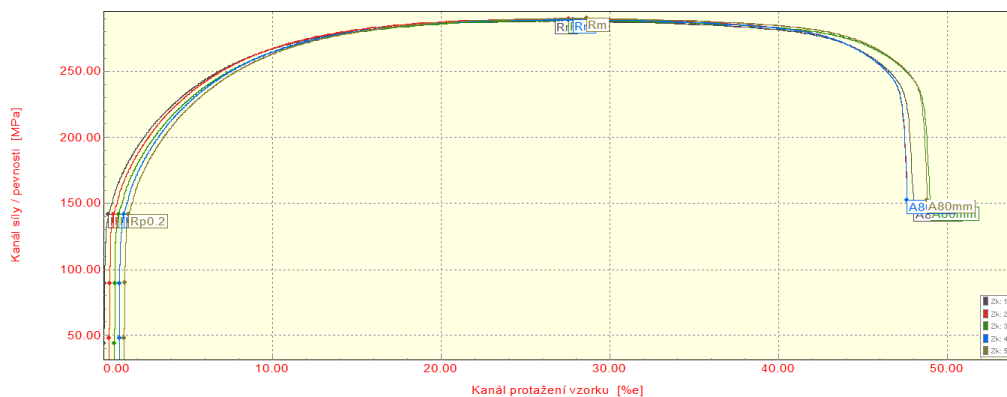
### VSTUPNÍ PARAMETRY

Název materiálu : CR5 UC E-O  
Rozměry vzorku : [0,8 x 20] mm  
Směr odebrání vzorku : 0°  
Teplota : RT  
Rychlost posuvu : proměnná 1[15] mm/min.  
Vypracoval : Jakub Vesecký  
Datum provedení testu : 11.03.2021  
Pozn. :

### VÝSTUPNÍ HODNOTY

Zkouška	Rp0.2 MPa	Rm MPa	Ag %	A80mm %
1	141.6	288.4	26.57	47.93
2	141.5	289.9	27.07	47.21
3	141.6	288.8	26.79	48.32
4	141.5	289.5	26.74	46.63
5	141.7	290.2	27.24	47.51

Statistika	Rp0.2 MPa	Rm MPa	Ag %	A80mm %
Počet zkoušek	5	5	5	5
Průměrná hodnota	141.6	289.4	26.88	47.52
Směrodatná odchylka	0.1	0.8	0.27	0.65
Minimální hodnota	141.5	288.4	26.57	46.63
Maximální hodnota	141.7	290.2	27.24	48.32



TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI  
Katedra strojírenské technologie  
Oddělení tváření kovů a plastů  
Studentská 2, 461 17, Liberec 1, CZ

# STATICKÁ ZKOUŠKA TAHEM

EN ISO 6892-1

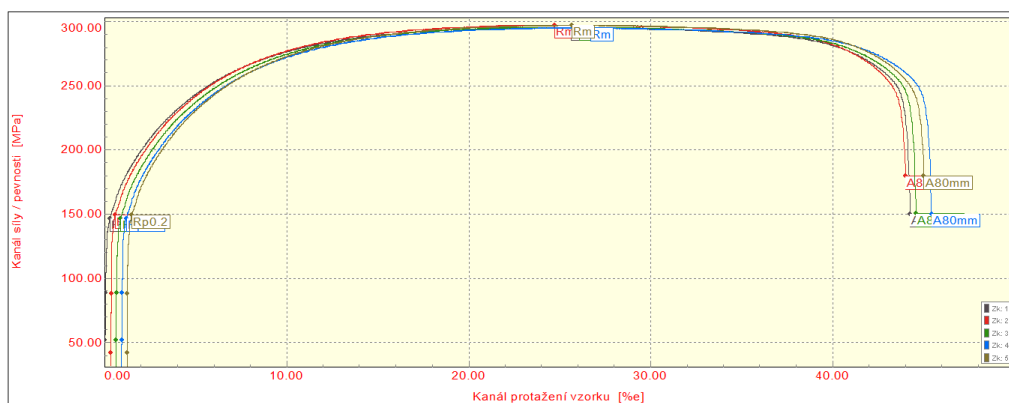
## VSTUPNÍ PARAMETRY

Název materiálu : CR5 UC E-O  
Rozměry vzorku : [0,8 x 20] mm  
Směr odebrání vzorku : 45°  
Teplota : RT  
Rychlost posuvu : proměnná 1[15] mm/min.  
Vypracoval : Jakub Vesecký  
Datum provedení testu : 11.03.2021  
Pozn. :

## VÝSTUPNÍ HODNOTY

Zkouška	Rp0.2 MPa	Rm MPa	Ag %	A80mm %
1	146.7	295.5	25.46	44.17
2	149.4	297.3	24.23	43.61
3	146.9	295.8	25.30	43.90
4	146.5	295.2	25.62	44.45
5	149.4	297.2	24.30	43.72

Statistika	Rp0.2 MPa	Rm MPa	Ag %	A80mm %
Počet zkoušek	5	5	5	5
Průměrná hodnota	147.8	296.2	24.98	43.97
Směrodatná odchylka	1.5	1.0	0.66	0.34
Minimální hodnota	146.5	295.2	24.23	43.61
Maximální hodnota	149.4	297.3	25.62	44.45



TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI  
Katedra strojírenské technologie  
Oddělení tváření kovů a plastů  
Studentská 2, 461 17, Liberec 1, CZ

# STATICKÁ ZKOUŠKA TAHEM

EN ISO 6892-1

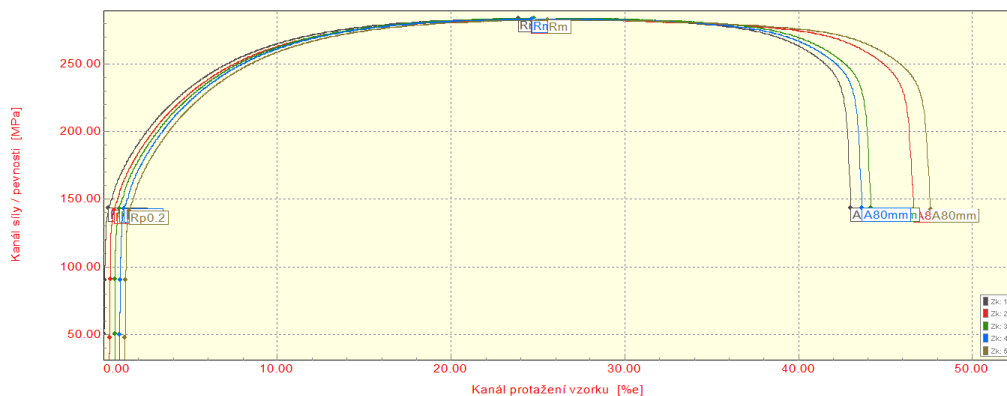
## VSTUPNÍ PARAMETRY

Název materiálu : CR5 UC E-O  
Rozměry vzorku : [0,8 x 20] mm  
Směr odebrání vzorku : 90°  
Teplota : RT  
Rychlost posuvu : proměnná 1[15] mm/min.  
Vypracoval : Jakub Vesecký  
Datum provedení testu : 11.03.2021  
Pozn. :

## VÝSTUPNÍ HODNOTY

Zkouška	Rp0.2 MPa	Rm MPa	Ag %	A80mm %
1	143.4	283.7	23.72	42.93
2	141.8	282.9	24.15	46.24
3	143.2	284.0	24.02	43.47
4	143.2	283.4	23.57	42.66
5	141.6	282.7	24.19	46.31

Statistika	Rp0.2 MPa	Rm MPa	Ag %	A80mm %
Počet zkoušek	5	5	5	5
Průměrná hodnota	142.6	283.3	23.93	44.32
Směrodatná odchylka	0.9	0.5	0.27	1.80
Minimální hodnota	141.6	282.7	23.57	42.66
Maximální hodnota	143.4	284.0	24.19	46.31



TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI  
Katedra strojírenské technologie  
Oddělení tváření kovů a plastů  
Studentská 2, 461 17, Liberec 1, CZ

# ZKOUŠKA STŘIHEM

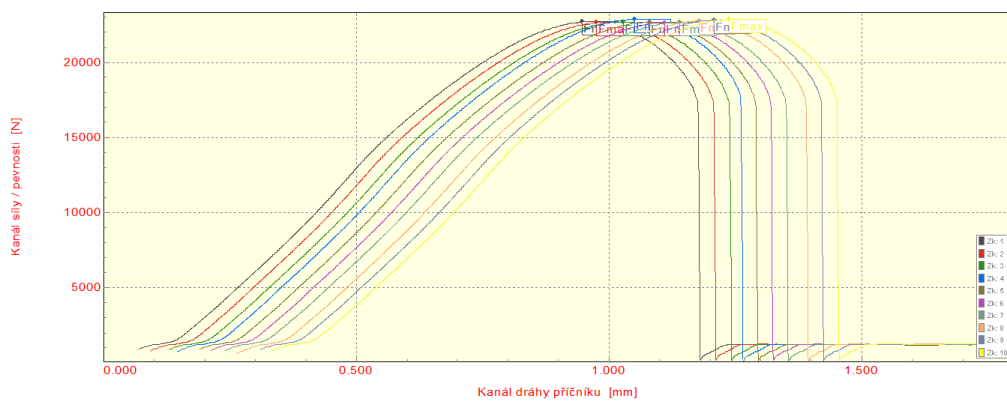
## VSTUPNÍ PARAMETRY

Název materiálu : CR5 UC E-O  
Rozměry vzorku : pás 0.8 x 60 mm  
Směr odebrání vzorku : 90°  
Teplota : RT  
Rychlost posuvu : 10 mm/min  
Vypracoval : Jakub Vesecký  
Datum provedení testu : 11.03.2021  
Pozn. : ms = 0,01 mm

## VÝSTUPNÍ HODNOTY

Zkouška	Fmax N
1	22719.20
2	22675.00
3	22687.70
4	22875.50
5	22691.00
6	22644.60
7	22672.20
8	22749.60
9	22823.10
10	22850.70

Statistika	Fmax N
Počet zkoušek	10
Průměrná hodnota	22738.86
Směrodatná odchylka	82.39
Minimální hodnota	22644.60
Maximální hodnota	22875.50



TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI  
Katedra strojírenské technologie  
Oddělení tváření kovů a plastů  
Studentská 2, 461 17, Liberec 1, CZ