



# VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

## FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

## ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE

INSTITUTE OF MANUFACTURING TECHNOLOGY

## STŘÍHÁNÍ JAKO DOKONČOVACÍ OPERACE

CUTTING AS A FINISHING OPERATION

### BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

### AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Martin Bednář

### VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Michaela Císařová, Ph.D.

BRNO 2016

# Zadání bakalářské práce

Ústav:	Ústav strojírenské technologie
Student:	<b>Martin Bednář</b>
Studijní program:	Strojírenství
Studijní obor:	Základy strojního inženýrství
Vedoucí práce:	<b>Ing. Michaela Císařová, Ph.D.</b>
Akademický rok:	2015/16

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma bakalářské práce:

## **Stříhání jako dokončovací operace**

### **Stručná charakteristika problematiky úkolu:**

Bakalářská práce je zaměřena na ostřížení příruby součásti vyrobené tažením. Jedná se o součást vyrobenou tažením, jejíž tvarovanou přírubu je nutno přistihnout do požadovaného tvaru dle výkresové dokumentace.

### **Cíle bakalářské práce:**

Práce bude obsahovat literární studii na možné technologie přesného stříhání součásti z plechu složitějšího tvaru. Zhodnocení technologie výroby součástí podobných tvarů. Návrh vhodné technologie výroby součásti a zpracování postupu výroby součásti doplněné o technologické a kontrolní výpočty včetně závěru.

### **Seznam literatury:**

Dvořák, M., Gajdoš, F. a Novotný, K. (2007): Technologie tváření: Plošné a objemové tváření. Akademické vydavatelství CERM, Brno.

HOSFORD, W. - F. and CADDEL, R. (2011): Metal Forming: Mechanics and Metalurgy. Cambridge University Press, New York.

Kotouč, J., Šanovec, J., Čermák, J. a Mádle, L. (1993): Tvářecí nástroje. ČVUT Praha, Praha.

Suchy, I. (2006): Handbook of die design. McGraw-Hill, New York.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2015/16

V Brně, dne

L. S.

---

prof. Ing. Miroslav Píška, CSc.  
ředitel ústavu

---

doc. Ing. Jaroslav Katolický, Ph.D.  
děkan fakulty

## **ABSTRAKT**

BEDNÁŘ Martin: Stříhání jako dokončovací operace.

---

Práce předkládá návrh technologie výroby výstřížku operací přistříhování. Součást je zhotovena z ocelového plechu jakosti 11 321. Na základě literární studie problematiky přistříhování a výpočtů bylo navrženo přistříhování ve dvou operacích. Pro výrobu byla doporučena volba postupového střížného nástroje se střížnou silou 173 kN v první operaci a 68 kN ve druhé operaci.

Klíčová slova: Ocel 11 321, přistříhování, přesné stříhání, stříhání

## **ABSTRACT**

BEDNÁŘ Martin: Cutting as a finishing operation.

---

The project elaborated design of technology production of the cutting by shaving operation. The component is made from sheet iron 11 321. Pursuant to of the literary pursuit a problem of the shaving and calculation was designed two operations of shaving. Recommended production choice was tool with nominal cutting force 173 kN in first operation and 68 kN in second operation.

Keywords: 11 321 steel, shaving, fine blanking, conventional blanking

## **BIBLIOGRAFICKÁ CITACE**

BEDNÁŘ, Martin. *Stříhání jako dokončovací operace*. Brno, 2016. 34s, 2 výkresy, 3 přílohy, CD. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství. Ústav strojírenské technologie, Odbor technologie tváření kovů a plastů. Vedoucí práce Ing. Michaela Císařová, Ph.D.

## **ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ**

Tímto prohlašuji, že předkládanou bakalářskou práci jsem vypracoval samostatně, s využitím uvedené literatury a podkladů, na základě konzultací a pod vedením vedoucího bakalářské práce.

V ..... dne 27.5.2016

.....  
Podpis

## **PODĚKOVÁNÍ**

Tímto děkuji paní Ing. Michaele Císařové, Ph.D. za cenné připomínky a rady týkající se zpracování bakalářské práce. Také děkuji mé rodině za morální a finanční podporu během studia.

# OBSAH

Zadání	
Abstrakt	
Bibliografická citace	
Čestné prohlášení	
Poděkování	
Obsah	

<b>ÚVOD</b> .....	9
<b>1 ROZBOR ZADÁNÍ</b> .....	10
<b>1.1 Výrobní možnosti</b> .....	10
1.1.1 Zhodnocení jednotlivých variant výroby .....	13
<b>2 STŘÍHÁNÍ</b> .....	14
<b>2.1 Průběh stříhání</b> .....	14
<b>2.2 Jakost střížné plochy</b> .....	15
2.2.1 Zpevnění střížné plochy .....	16
<b>2.3 Střížná vůle</b> .....	16
<b>2.4 Střížná síla</b> .....	18
2.4.1 Střížný odpor .....	19
<b>2.5 Střížná práce</b> .....	20
<b>2.6 Přesné stříhání</b> .....	22
<b>2.7 Přistříhování</b> .....	24
2.7.1 Průběh .....	24
2.7.2 Přídavek na přistříhování .....	25
2.7.3 Stanovení střížné síly .....	26
2.7.4 Přistříhovací nástroje.....	27
2.7.5 Materiály .....	27
<b>3 NÁVRH TECHNOLOGIE VÝROBY</b> .....	28
<b>3.1 Kontrola vhodnosti součástí</b> .....	28
<b>3.2 Určení střížné mezery</b> .....	30
<b>3.3 Přídavek na přistříhování</b> .....	30
<b>3.4 Stanovení počtu střížných operací</b> .....	31
<b>3.5 Přistříhovací operace hrubování</b> .....	32
<b>3.6 Přistříhovací operace hlazení</b> .....	33
<b>4 ZÁVĚRY</b> .....	34

Seznam použitých zdrojů	
Seznam použitých symbolů a zkratk	
Seznam obrázků	
Seznam tabulek	
Seznam příloh	
Seznam výkresů	



## ÚVOD [5], [12]

Technologie tváření spadá do oblasti beztržkového obrábění. Tvářením lze získat požadovaný tvar a rozměry dané součásti, která také získá výhodné mechanické vlastnosti v závislosti na následném zpracování. Výhodou tváření je vysoká produktivita práce, při které se často využívá automatizace a robotizace v rámci sériové výroby. Při tváření vzniká minimální odpad, čili získáváme vysokou využitelnost materiálu. Výrobky takto zpracované jsou již tvarově a rozměrově přesné a zpravidla není nutné přidávat další operace. Při tváření se zlepšuje struktura a vlastnosti kovu součásti, jejíž hmotnost je malá. Vysoká pořizovací cena nástroje a stroje je jednou z nevýhod této technologie.

Nejpoužívanějším polotovarem při plošném tváření je tabule či svitek plechu, který se zpravidla nastříhá na menší části pro použití např. při technologii tažení. Téma bakalářské práce je zaměřeno na technologii přístřihování, která spadá do kategorie přesného stříhání. Součást je nejdříve vystřižena a poté je přístřižena. Touto technologií lze získat tvarově a rozměrově přesné součásti, s kolmou a hladkou plochou stříhu.

Na obrázku 1 jsou uvedeny produkty zhotovené přesným stříháním.



Obr. 1 Součásti vyrobené přesným stříháním od firmy MPI Products [7]

## 1 ROZBOR ZADÁNÍ

Řešenou součástí je „krytka“. Z předchozí operace tažení má součást neakceptovatelnou jakost funkční plochy (vnější tvar). Krytka musí přesně zapadnout do protikusu (těsnění), viz obrázek 2, proto je vznesen požadavek na rozměrovou toleranci IT 7 a drsnost plochy  $R_a = 1,6$ . S takovou přesností krytka bez rizika zapadne do protikusu a její funkce zůstane zachována.

Součást má střední tvarovou náročnost. Vnější tvar je téměř kruhový vyjma zaoblených výstupků pro závitové otvory. 3D vzhled a základní rozměry jsou vytvořeny v programu Autodesk Inventor Professional 2016.



Obr. 2 Znázornění funkční části krytky

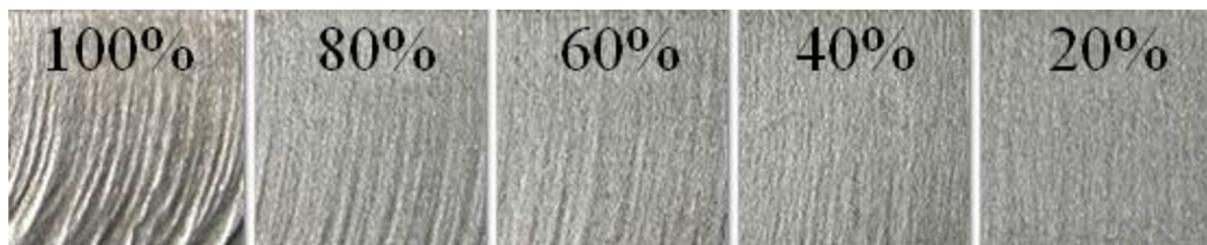
1 — protikus (těsnění); 2 — krytka

### 1.1 Výrobní možnosti [6], [9], [10], [13], [14], [18]

Navrhovaná součást lze vyrobit mnoha způsoby. Z nekonvenčních metod připadá v úvahu řezání vodním paprskem, plazmou nebo laserem. Konvenční způsob je zpravidla více používaný a méně nákladný. Možné vybrané technologie seřazené od nejhorší k nejlepší variantě pro zadanou součást jsou:

#### ❖ Řezání vodním paprskem

Základem technologie je vysokotlaké čerpadlo, jež prostřednictvím multiplikátoru vytváří tlak vody až přes 400 MPa. Od čerpadla je voda pomocí vysokotlakého vedení dopravována k řezací hlavě, kde je pomocí systémem trysek vytvořen „řezný nástroj“. Vodní paprsek bez příměsí o šířce (0,15 až 0,30) mm je schopný řezat měkké materiály (dřevo, gumu, těsnění, korek, apod.). Zatímco hydroabrazivní paprsek s příměsí brusného prvku (nejčastěji granátový „písek“) o šířce (0,8 až 1,5) mm je schopen řezat kovy, kámen, sklo a jiné materiály tloušťky větší než 100 mm. Při 100% rychlosti řezání vodním paprskem je kvalita povrchu velmi malá. Lze ji zpřesnit snižováním této rychlosti až do 20 %, kde se objevuje povrch bez viditelného rýhování (Obr. 3). Tabulka 1 popisuje výhody, nevýhody a přesnost této technologie.



Obr. 3 Povrch řezané plochy v závislosti na procentuální rychlosti posuvu [18]

Tab. 1 Řezání vodním paprskem - tolerance, drsnost, výhody a nevýhody [13].

Rozměrová tolerance		Drsnost řezané plochy	
IT 12 až IT 11		3,2 μm a více	
Výhody		Nevýhody	
řezání bez tepelného ovlivnění obrobku		kontakt s vodou – možný nástup koroze	
nedochází k poškození povrchových úprav		relativně malá řezná rychlost u tvrdších materiálů	
možnost osazení řezné hlavy na pětiosý držák		vysoké investiční a provozní náklady	
řezání široké škály materiálů			

#### ❖ Řezání plazmou

Řezání plazmou (Obr. 4) se provádí na řízeném CNC plazmovém pálicím stroji. Plazma je elektrický vodivý plyn s velmi vysokou teplotou (v plazmovém oblouku vznikají teploty až 30000 °C). Lze říci, že se pojednává o tzv. čtvrtém skupenství. Plazmové plyny se zpravidla používají jednoatomové (argon) nebo dvouatomové (vodík, dusík, kyslík, apod.). Plazmová tryska chlazená vodou dosahuje výkonnostně přes 2 W/cm<sup>2</sup> a paprsek proudí nadzvukovou rychlostí směrem k obráběné součásti. Touto intenzitou paprsek plazmy tepelně ovlivní materiál pouze do tloušťky 1 mm. Lze řezat všechny elektricky vodivé materiály (všechny druhy ocelí, hliník, mosaz, měď, atd.) tloušťky (1 až 45) mm. U řezání větších tlouštěk výrazně narůstá energetická náročnost a náklady se stávají méně příznivějšími. Další nevýhody a výhody znázorňuje tabulka 2.



Obr. 4 Řezání plazmou [14]

Tab. 2 Řezání plazmou - tolerance, drsnost, výhody a nevýhody [13].

Rozměrová tolerance		Drsnost řezané plochy	
IT 12 až IT 11		3,2 μm a více	
Výhody		Nevýhody	
možnost provozu více hořáku v sérii		relativně široká řezná spára	
kvalitní řez u materiálu do tloušťky 30 mm		nekvalitní řez u tlustých materiálů	
možnost řezat vysokolegované a pevné konstrukční oceli			
vysoká řezná rychlost			
dobrá automatizace			

### ❖ Řezání laserem

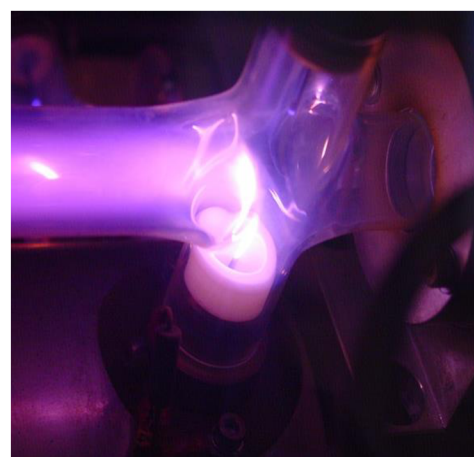
Řezání laserem se zpravidla provádí ve dvou rozměrech na CNC stolech. Energetická energie se přeměňuje v rezonátoru (Obr. 6) pomocí čistých plynů na laserové monochromatické záření, které je vedeno k řezací hlavě pomocí systému optických zrcadel nebo optickým kabelem. Následně je zaostřeno do technologicky přesně definovaného ohniska závislého na typu a tloušťce materiálu. V místě dopadu se energie světelného záření mění na energii tepelnou o hustotě energie řádově  $10^8 \text{ W} \cdot \text{mm}^{-2}$ . Pro kvalitní plochu řezu se doporučuje tloušťka materiálu do (25 až 30) mm s modifikací pro laserové řezání (např. Raex), viz obrázek 7. Hlavní výhody a nevýhody jsou uvedeny v tabulce 3. Řezaný materiál může být:

- taven a řezná spára je „profukována“ asistenčním interním plynem (nejčastěji dusíkem) — tzv. „**tavné řezání**“ (čisté nezoxidované řezy),
- taven a zároveň spalován asistenčním plynem (kyslíkem) — tzv. „**oxidační řezání**“ (řezy s patrnou stopou oxidace),
- taven a odpařován — tzv. „**sublimační řezání**“.

Existují dva druhy pracovního pohybu. Tzv. hybridní optika, kdy v jedné ose vykonává pohyb obrobek a v druhé se pohybuje nástroj (řezná hlava) nebo tzv. létající optika, kdy pohyb v obou osách provádí pouze nástroj.



Obr. 5 Neporušená povrchová úprava po řezání laserem [9]



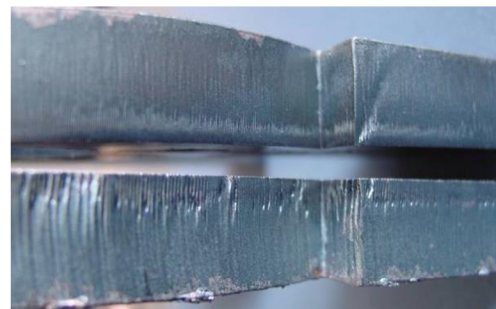
Obr. 6 Detail rezonátoru [9]

Tab. 3 Řezání laserem - tolerance, drsnost, výhody a nevýhody [13].

Rozměrová tolerance	Drsnost řezané plochy
IT 12 až IT 10	3,2 $\mu\text{m}$ až 12,5 $\mu\text{m}$
<b>Výhody</b>	<b>Nevýhody</b>
možnost řezání malých otvorů, úzkých písků a ostroúhlých tvarů	vysoké investiční a provozní náklady (vysoká spotřeba plynů)
malá šířka řezné spáry (0,1 až 0,5) mm	omezené tloušťky materiálu (hliník nejvíce do 10 mm)
vysoká řezná rychlost u tenkých materiálech	nutné přesné řízení vzdálenosti k povrchu obrobku
neporušuje povrchové úpravy (Obr. 5)	zhoršení stability procesu u řezání lesknoucích se povrchu obrobku
	vznik návarů

#### ❖ Metody přesného stříhání

Technologie přesného stříhání shrnuje metody stříhání plechů a pásů ve stříhadlech. Filosofie přesného stříhání spočívá ve způsobu rozšíření pásma plastického stříhu na celou tloušťku stříhaného materiálu. Rozměrové tolerance závisí na tloušťce plechu a pohybují se v rozmezí IT6 až IT9. Jako nejpřesnější varianta přesného stříhání se jeví metoda přistřihování. Jedná se o dokončovací metodu, která odděluje pouze malou část přídavku od součásti a zanechává vysoce jakostní plochu stříhu. Z hlediska zaměření bakalářské práce je přesné stříhání (včetně všech způsobů) podrobněji probráno v kapitole 2.6 a metoda přistřihování v kapitole 2.7.



Obr. 7 Porovnání kvality laserového řezu [9]  
*horní vzorek — povrchová úprava Raex; spodní vzorek — běžná ocel*

#### 1.1.1 Zhodnocení jednotlivých variant výroby [6], [9], [8], [13]

Pro výběr vhodné technologie je nutné zvážit dva faktory — cenu a kvalitu. V případě zadané součásti je nutné brát velký zřetel na přesnost díky stanoveným požadavkům. Z nekonvenčních metod vychází nejméně vhodná technologie vodního paprsku. Je poměrně drahá a relativně nepřesná. Nejpřesnější nekonvenční technologie se jeví řezání laserem. Nicméně tato technologie je velmi nákladná na pořízení a provoz (velká spotřeba plynů) a nedokáže dosáhnout rozměrové přesnosti IT 7.

Z konvenčních metod je nejideálnější kategorie přesného stříhání. Součást dosahuje vysoké geometrické přesnosti a kvality povrchu bez tepelného ovlivnění. Pořizovací a provozovací náklady jsou nižší než u nekonvenčních metod. Technologie přesného stříhání s nátlakovou hranou má srovnatelné parametry jakosti jako operace přistřihování. Klade si požadavek většího přídavku pro tlakovou hranu, a proto je tento způsob vyloučen. Ze všech uvedených způsobů bude pro výrobu krytky nejvhodnější způsob přistřihování. Dokáže dosáhnout požadované rozměrové tolerance IT 7 a vytvoří hladký povrch v střížné ploše.

## 2 STŘÍHÁNÍ [5], [12], [17]

Stříhání lze zařadit do podkategorie plošného tváření za studena i za tepla. Tváření za studena je vhodné zejména pro měkčí ocel (do pevnosti 400 MPa) nebo pro tenké plechy tloušťky do 3 mm. Za tepla se tváří materiály tvrdší a tlustší při ohřevu na teplotu kolem 700 °C.

V této technologické operaci dochází k oddělování materiálu protilehlými břity nožů, resp. řeznými hrany nástroje. Soudržnost materiálu se narušuje zejména v tzv. střížné rovině, tj. rovině, podél níž pohybující se nože vytvářejí protichůdnou dvojici sil „F“. Protichůdná dvojice sil vyvolává ohybový moment; ve smykových rovinách se rozvíjí/vzniká smykové napětí. Přesnost a kvalita střížné plochy je ovlivněna mnoha faktory, z nichž k nejdůležitějším patří velikost střížné mezery, vlastnosti stříhaného materiálu, kvalita střížného nástroje a způsob stříhání. Nevhodně zvolené faktory způsobují nekvalitní střížnou plochu (široké pásmo utržení a deformace materiálu — výstřížku) nebo zničení nástroje (vylomení břitů).

Dle způsobu použití lze stříhání rozdělit na:

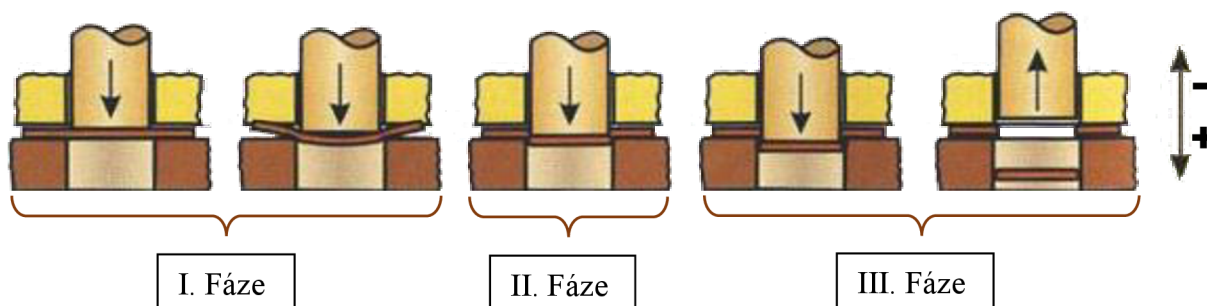
- a) přípravu polotovarů (stříhání tabulí nebo svitků plechů, stříhání profilů, vývalků, apod.),
- b) vystříhování součástek z plechu pro konečné použití nebo pro výrobky určené ke zpracování jinou technologií (ohýbání, protlačování, tažení, atd.),
- c) dokončovací a pomocné operace.

### 2.1 Průběh stříhání [1]

Střížný proces lze rozdělit do několika fází (obr. 8), kde se mění druh deformace (pružná a plastická) nebo směr pohybu nástroje:

- ♦ kladný směr (+) — přibližování a vnikání do materiálu,
- ♦ záporný směr (-) — vratný pohyb nástroje do původní polohy.

V první fázi nástroj dosedá, stlačuje, ohýbá a vtlačuje materiál do střížnice. Vše se děje v oblasti pružných deformací. Jakmile smykové napětí překročí mez kluzu daného materiálu, začnou vznikat plastické deformace a průběh stříhání se přesouvá do druhé fáze. Střížník vniká do plechu a ten do otvoru střížnice. Smykové napětí dále roste k mezi pevnosti. Ve třetí fázi začínají na hranách vznikat trhlinky. Ty se rozšiřují, až dojde k úplnému utržení (usmýknutí) materiálu. Po té se nástroj vrací do výchozí polohy.



Obr. 8 Průběh střížného procesu [17]

## 2.2 Jakost střížné plochy [12], [1], [3]

Kvalita střížné plochy není při běžném stříhání vysoká. Mírně zkosená plocha výstrižku, relativně drsný povrch [obecně se udává  $R_a = (2,5 \text{ až } 6,3)$ ] a ořep na konci jsou hlavní rysy střížné plochy.

Stříhání bez ostřin je technicky nemožné. Lze pouze zmenšit jejich velikost. Toho lze docílit správným mazáním, zvýšením střížné rychlosti a neopotřebeným střížným nástrojem. Přípustná ostřina musí jít bez větších problémů odstranit běžnými prostředky (omíláním, broušením, apod.).

Zvyšováním střížné (nárazové) rychlosti se skutečně zlepšuje jakost střížné plochy. Plocha má menší ostřiny a menší zasaženou oblast přetvořením a trvalou deformací. Nicméně tento trend platí pouze pro střížné rychlosti menší než kritická nárazová rychlost. Hodnota pro ocel je v rozmezí  $(50 \text{ až } 150) \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$ .

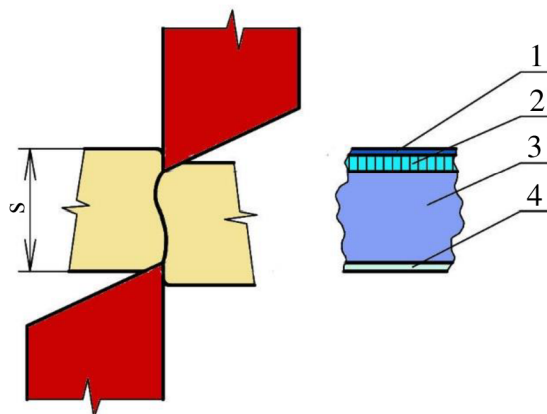
Rozměrová tolerance závisí na tvaru, rozměru a kvalitě materiálu součásti. Pro středně velké součásti do rozměru 200 mm a do tloušťky 4 mm obecně platí přesnosti IT 14 až IT 12.

Střížnou plochu lze rozdělit na čtyři části (Obr. 9). Část 3 tvoří u běžného stříhu 80 % střížné plochy, a proto je pro posouzení její kvality charakteristická. Jednotlivé části střížné plochy přímo souvisí s fázemi střížného procesu (Obr. 8) a nazývají se:

- 1) pásmo zaoblení (elastická deformace) — Fáze I,
- 2) pásmo smyku (plastická deformace) — Fáze II,
- 3) pásmo utržení — Fáze III,
- 4) pásmo otlačení — Fáze I.

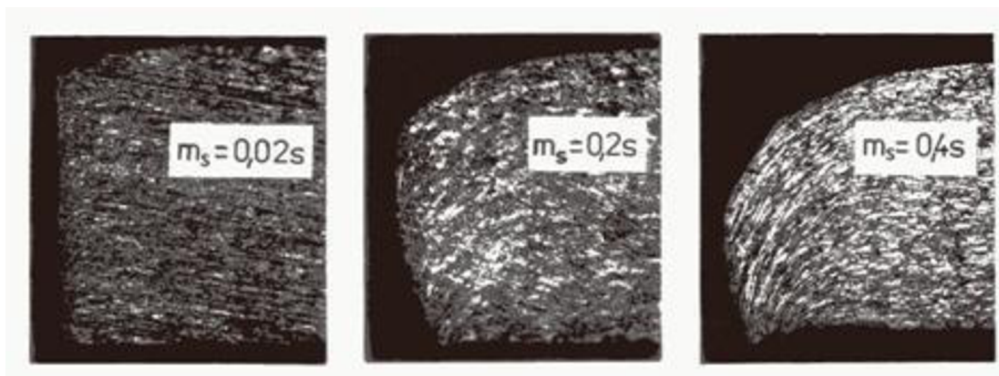
Mezi další důležité faktory ovlivňující přesnost a kvalitu povrchu patří:

- a) vlastnostech stříhaného materiálu,
- b) velikosti střížné mezery (Obr. 10),
- c) druhu a stavu nástroje,
- d) charakteru geometrického tvaru stříhaného obrazce,
- e) kvalitě povrchu a přesnosti činných částí střížníku a střížnice.



Obr. 9 Kvalita střížné plochy [12]

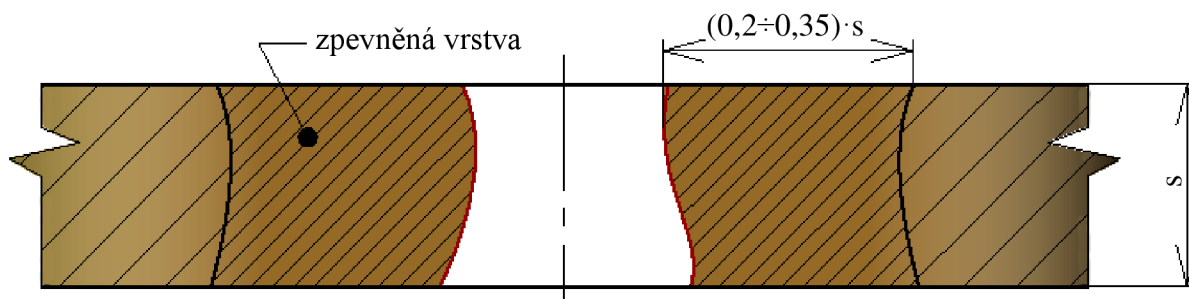
1 — zaoblení vstupní hrany plechu; 2 — zatlačení nože do vzniku trhliny; 3 — vlastní střížná plocha; 4 — zatlačení spodního nože



Obr. 10 Kvalita střížné plochy pro různou velikost střížné mezery [17]

### 2.2.1 Zpevnění střížné plochy [1], [12]

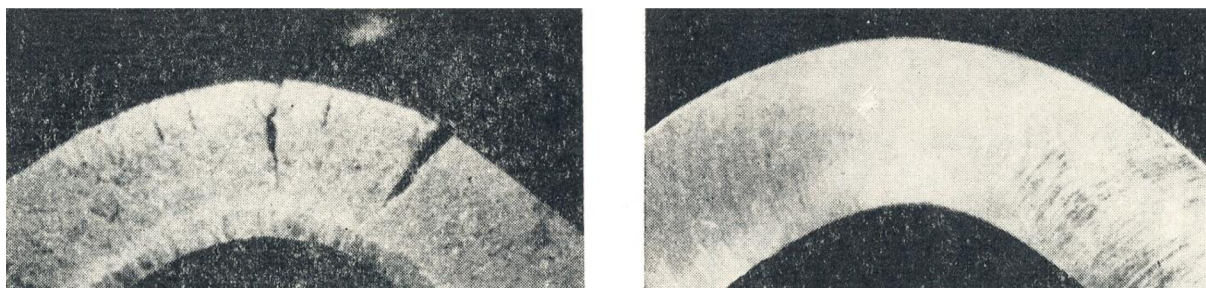
Zpevnění střížné plochy je význačnou složkou kvality povrchu. Vzniká kolem roviny stříhu a zasahuje do hloubky 20 % tloušťky materiálu u tenkých měkkých plechů a více než 35 % pro tlusté a tvrdé materiály, viz obrázek 11. V dané oblasti se materiál trvale deformuje, dochází



Obr. 11 Zpevnění materiálu při stříhání [1]

*Červená křivka zobrazuje střížnou plochu. Jemnější šrafy značí zpevnění materiálu.*

ke zvětšení jeho pevnosti, meze kluzu a snížení tvárnosti. V dalších operacích po vystříhnutí může zpevnění způsobit problémy. Pokud budou například otvory namáhány tažením či roztahováním (nýtování), na ploše stříhu vzniknou trhliny. Proto není doporučen ohyb stříhané hrany bez dokončovací operace, viz obrázek 12. Následky zpevnění lze odstranit vyžiháním (z ekonomického hlediska nevýhodné) nebo obrobením povrchové vrstvy u roviny stříhu.



Obr. 12 Ohyb stříhané hrany [12]

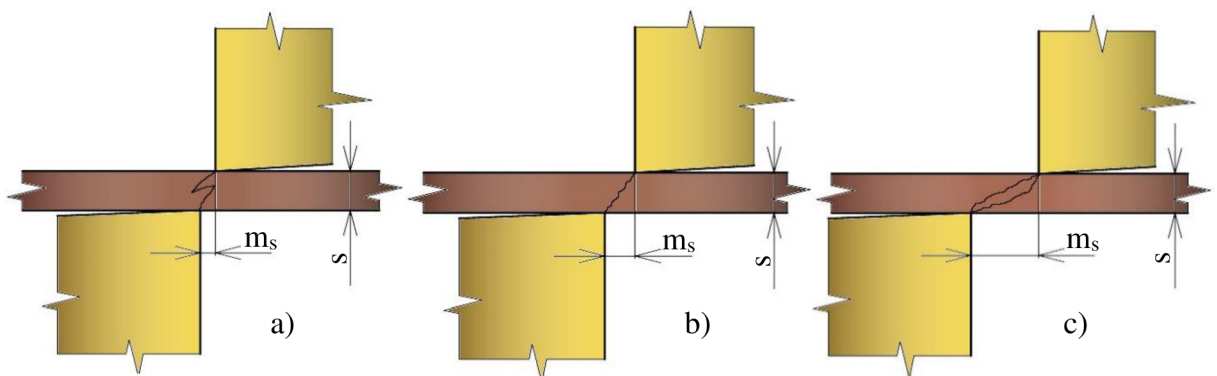
*vlevo — ohyb stříhaného plechu; vpravo — ohyb obrobeného plechu*

### 2.3 Střížná vůle [1], [3], [17]

Při každé střížné operaci je nutná střížná vůle, jelikož nelze postavit nástroj bez střížné vůle kvůli nebezpečí havárie. Střížná vůle se docílí výrobou střížníku s menšími rozměry než odpovídající otvor ve střížnici (stříhání přesného vnějšího obvodu výstřížku) nebo zvětšením rozměru střížnice (děrování otvorů). Díky tomu vniká střížník do střížnice s vůlí po celém jeho obvodu. Rozdílem mezi rozměrem střížnice a střížníku je určena střížná vůle „ $v$ “. Jednostranný rozdíl vytváří střížnou mezeru „ $m_s$ “, jejíž velikost je nutné dodržet rovnoměrně na všech místech křivky stříhu. Správně volená velikost střížné vůle zaručuje, že trhliny, které při stříhání vzniknou, se setkají. Tím je zaručeno správné usmýknutí stříhané plochy (Obr. 13). Střížná vůle má dále vliv na:

- a) střížnou sílu (zmenšování střížné vůle se nepatrně zvyšuje střížná síla),
- b) trvanlivost břítu,
- c) kvalitu střížných ploch,
- d) vznik ostřin,
- e) výslednou střížnou práci (zmenšování střížné vůle se zvyšuje práce až o 40 %).

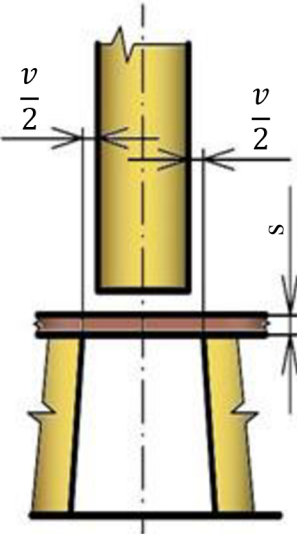




Obr. 13 Tvar střížné plochy pro různé střížné mezery (poloviční střížné vůle) [1]  
*a — malá střížná vůle; b — správná střížná vůle; c — velká střížná vůle*

Velikost střížné vůle se určuje zejména podle druhu materiálu a jeho tloušťky. Stanovuje se v procentech tloušťky stříhaného materiálu (Tab. 4). Je třeba brát v potaz, že u nástroje s velkou životností se stanovuje menší střížná vůle, jelikož opotřebením nástroje se střížná vůle zvětšuje.

Tab. 4 Velikost střížné vůle [1].

	Druh materiálu	Střížná vůle v [%]	
		do 2,5 mm	2,5 až 6 mm
	Ocel měkká	5	7 až 8
	Ocel středně tvrdá	6	6 až 8
	Ocel tvrdá	7 až 9	7 až 10
	Hliník	4 až 7	5 až 9
	Dural	7 až 8	7 až 10
	Měď měkká	4 až 5	5 až 6
	Měď polotvrdá a tvrdá	6 až 7	6 až 7
	Mosaz měkká	4 až 5	4 až 6
	Mosaz polotvrdá a tvrdá	5 až 6	5 až 7
	Papír, lepenka	2 až 3	3
	Fíbr, textil	2 až 4	—

Střížnou vůli lze stanovit i ze vztahů sestavených na základě praktických zkušeností:

- vztah pro plechy tloušťky do 3 mm

$$v = c \cdot s \cdot 0,64 \cdot \sqrt{\tau_s} \text{ [mm]}, \quad (2.1)$$

kde  $\tau_s$  — střížný odpor (Tab. 5) [MPa],

- vztah pro plechy tloušťky větší než 3 mm

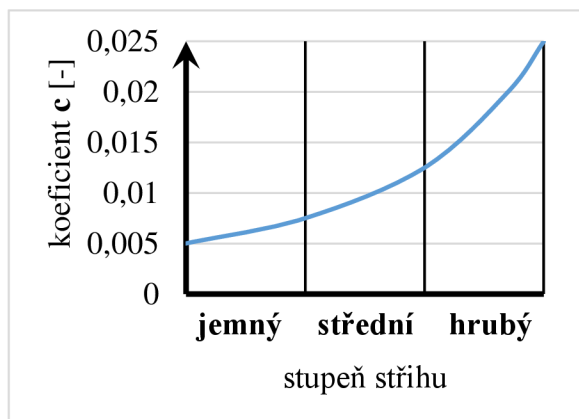
$$v = (1,5 \cdot c \cdot s - 0,015) \cdot 0,32 \cdot \sqrt{\tau_s} \text{ [mm]}, \quad (2.2)$$

kde  $c$  — koeficient závislý na stupni stříhu (Obr. 14).

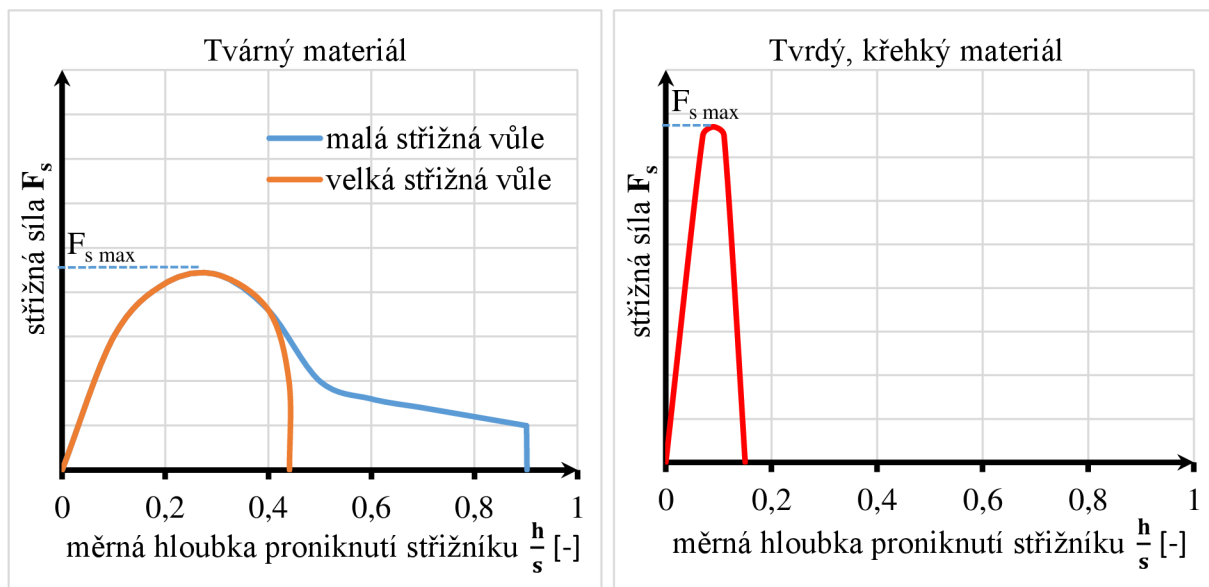
## 2.4 Střížná síla [1], [3], [6], [8], [17]

Velikost střížné síly se při střížné operaci mění. Nejprve dochází v pásmu stříhu k plastické deformaci, při níž střížná síla přiměřeně stoupá. Když střížník pronikne do hloubky (5 až 8) % tloušťky materiálu, nastává deformace stříhaného materiálu, při které napětí v pásmu stříhu odpovídá mezi kluzu. Nicméně plastická deformace zapříčiní zpevnění stříhaného materiálu v pásmu stříhu a vzrůst střížného odporu. Zpočátku je vzrůst střížného odporu větší než zmenšování průřezu během stříhání. S pokračující deformací se zpevnění materiálu postupně zpomaluje a dojde k dosažení maximální střížné síly. Jakmile je zmenšování průřezu větší než vzrůst střížného odporu, střížná síla klesá. Rychlost poklesu přímo závisí na vlastnostech stříhaného materiálu a velikosti střížné vůle. Průběh střížné síly pro různé případy lze nalézt v obrázku 15.

Při reálném stříhání nikdy nevznikne „čistý“ smyk (resp. stříh), ale kombinované namáhání. Díky částečnému ohybu materiálu se mění průřez směrem k vyšším hodnotám, než před začátkem střížného procesu. Pokud se přihlédne i k částečně otupeným nožům, zvýší se skutečná střížná síla o (15 až 30) % než vypočítaná. Dále je třeba počítat s třením mezi střížníkem a stříhaným materiálem a mezi výstřížkem a střížnicí. Obecně dosahují třecí síly 6 % maximální střížné síly. Tření lze zmenšit vhodným mazáním a správnou konstrukcí nástroje (např. zabráněním zadírání, kuželovitým otvorem ve střížnici).



Obr. 14 Doporučené hodnoty koeficientu  $c$  [3]



Obr. 15 Schéma závislosti dráhy střížníku na střížné síle [8]  
 $F_s$  — střížná síla;  $h$  — aktuální hloubka střížné hrany v materiálu

➤ Stanovení střížné síly pro rovnoběžné nože dle [3]:

$$F_s = c_s \cdot l \cdot s \cdot 0,8 \cdot R_m \text{ [N]}, \quad (2.3)$$

kde  $c_s$  — součinitel otupení (1,15 až 1,30) [-]

$l$  — délka stříhu [mm]

$s$  — tloušťka stříhaného materiálu [mm]

$R_m$  — napětí na mezi pevnosti v tahu [MPa].

Střížná síla pro šikmé nože se stanovuje rozdílným způsobem. Při stříhání s rovnoběžnými noži se překonává odpor po celé délce stříhu v okamžiku, kdy hrana střížného nástroje začne tlačit na materiál. Stříhání se šikmými noži je výhodnější, neboť pro stejnou tloušťku plechu a délku stříhu je potřeba mnohem menší síla, než u nožů rovnoběžných. Materiál se stříhá postupně, tudíž maximální střížná síla „ $F_{ss}$ “ závisí pouze na sklonu nožů a tloušťce stříhaného materiálu a nikoliv na délce stříhu.

➤ Stanovení střížné síly pro šikmé nože dle [17]:

$$F_{ss} = \frac{1}{2} \cdot c_s \cdot s^2 \cdot 0,8 \cdot R_m \cdot \frac{1}{\operatorname{tg} \varphi} \text{ [N]}, \quad (2.4)$$

kde  $\varphi$  — úhel stříhu, resp. úhel sklonu nožů ( $2^\circ$  až  $6^\circ$  pro tabulové nůžky,  $7^\circ$  až  $20^\circ$  pro pákové nůžky) [ $^\circ$ ].

#### 2.4.1 Střížný odpor [1], [3]

Střížný odpor je schopnost stříhaného materiálu bránit se proti svému oddělení. Závisí na mnoha činitelích, z nichž jsou nejdůležitější mechanické vlastnosti stříhaného materiálu. S rostoucí pevností v tahu „ $R_m$ “ a klesající tvárností střížný odpor „ $\tau_s$ “ roste. Malý střížný odpor lze nalézt u stříhaného materiálu s větší tloušťkou a s delší křivkou stříhu (a její pravidelností). Nejmenší střížný odpor se dosáhne při optimální střížné vůli. Mezi další faktory ovlivňující střížný odpor lze zařadit konstrukci se stavem stříhadla a jeho podmínkami během stříhání (tzn. rychlost stříhání, velikost tření, mazání a chlazení).

➤ Stanovení střížného odporu dle [3]:

$$\tau_s = \frac{F_s}{S_s} \text{ [MPa]}, \quad (2.5)$$

kde  $S_s$  — plocha stříhu (obsah střížné plochy) [ $\text{mm}^2$ ].

Střížný odpor lze také určit z materiálových charakteristik v tabulce 5 nebo lze stanovit jeho přibližnou hodnotu dle vztahu:

$$\tau_s = 0,8 \cdot R_m \text{ [MPa]}. \quad (2.6)$$

Tab. 5 Pevnostní hodnoty oceli [1].

Druh oceli	Označení oceli ČSN	Střížný odpor — $\tau_s$ [MPa]	Pevnost v tahu — $R_m$ [MPa]	Tažnost $\delta$ [%]
<b>Uhlíkové obvyklé jakosti</b>	10 340	280 až 360	340 až 420	23 až 25
	10 370	320 až 400	370 až 450	18 až 20
	10 422	360 až 450	420 až 500	18 až 20
	11 500	440 až 530	500 až 600	15 až 17
<b>Uhlíkové s nízkým obsahem C</b>	11 301.20	240 až 330	280 až 380	33
	11 321.20	240 až 330	280 až 380	33
	11 331.3	240 až 340	280 až 400	23 až 26
<b>Uhlíkové tvářené za studena</b>	11 340.22	290 až 400	340 až 460	14
	11 340.25	520 až 700	600 až 800	3
	11 341.20	240 až 340	280 až 400	26
<b>Uhlíkové ušlechtilé</b>	12 000.20	700	max. 800	—
	12 010.1	300	min. 340	24
	12 020.20	330 až 440	380 až 500	23
	12 041.20	390 až 520	450 až 600	20
	12 061.1	min. 540	min. 620	13
	12 071.20	480 až 600	550 až 700	17
<b>Slitinové ušlechtilé</b>	13 180.20	700	max. 800	14
	14 160.0	820	950	—
	14 220.30	560	max. 650	—
<b>Korozivzdorné</b>	17 021.3	470	550	—
	17 041.21	600	700	—

## 2.5 Střížná práce [1], [6]

Velikost střížné práce je nutné znát zejména pro správné určení typu lisu (resp. ke stanovení energetické spotřeby při výrobě), na kterém daná střížná operace bude probíhat. Potřebná střížná práce pro vystřížení součásti je přímo úměrná střížné síle a hloubce vtlačení střížníku do materiálu (než dojde k jeho odlomení).

- Stanovení střížné práce pro rovnoběžné nože dle [1]:

$$A = \frac{K_A \cdot F_s \cdot s}{1000} [\text{J}], \quad (2.7)$$

kde  $K_A$  — součinitel hloubky vtlačení (Tab. 5) [-].

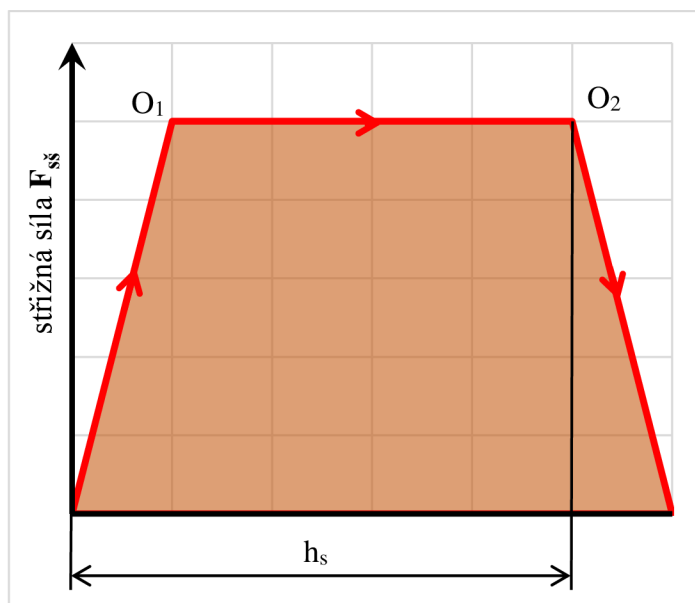
- Stanovení střížné práce pro šikmé nože dle [6]:

$$A_s = F_{ss} \cdot h_s [\text{J}], \quad (2.8)$$

kde  $h_s$  — dráha při stříhání (Obr. 5) [mm].

U střížné práce pro šikmé nože se nezohledňuje součinitel hloubky vtlačení jako u rovnoběžných nožů, kde se materiál odděluje naráz po celé délce stříhu, jelikož břit u šikmého nože vniká do součásti postupně.

Horní pohyblivý břit vniká pod úhlem „ $\varphi$ “ do stříhaného materiálu zatím stoupá velikost střížné síly „ $F_{ss}$ “ až do velikosti vyznačené „ $O_1$ “ (Obr. 16), a protože stříhá po celé délce stříhu pořád stejnou plochu (spodní část břitu již prošla celou tloušťkou materiálu), je její velikost konstantní, než dojde k ustřížení po celé délce stříhu do bodu „ $O_2$ “. Respektive horní část břitu dále nevniká do materiálu. Pak síla klesá na nulovou hodnotu a dochází k dostřížení.



Obr. 16 Pracovní diagram - stříhání šikmými noži [6]  
Podbarvená oblast značí celkovou práci „ $A_s$ “.

Tab. 6 Součinitel vtlačení  $K_A$  [3].

Materiál	Tloušťka materiálu $s$ [mm]			
	do 1	1 až 2	2 až 4	nad 4
Ocel měkká $\tau_s = 250$ až $350$ MPa	0,70 až 0,65	0,65 až 0,60	0,60 až 0,50	0,45 až 0,35
Ocel středně tvrdá $\tau_s = 350$ až $500$ MPa	0,60 až 0,55	0,55 až 0,50	0,50 až 0,42	0,40
Ocel tvrdá $\tau_s = 500$ až $700$ MPa	0,45 až 0,42	0,42 až 0,38	0,38 až 0,33	0,30 až 0,20
Hliník, měď (žihané)	0,75 až 0,70	0,70 až 0,65	0,65 až 0,55	0,50

## 2.6 Přesné stříhání [1], [3], [5], [6], [12], [17]

Při výše popsaných metodách stříhu má střížná plocha i vystřižená součást určitou standardní jakost. Plocha výstřížku je mírně zkosená s vytaženou ostřinou a drsnost povrchu se pohybuje v rozmezí  $R_a = (3,5 \text{ až } 6,3)$  při stříhání vnějších tvarů a  $R_a = (2,5 \text{ až } 6,3)$  při děrování.

Aby bylo možné stříhané díly vyhotovit bez dalších následujících operací, vznikly metody přesného stříhání zlepšující jakost povrchu střížné plochy a zpřesňující stříhané rozměry. Největším rozdílem proti běžnému stříhání je zmenšení střížné vůle na minimum pro eliminaci tahové složky napětí od ohybového namáhání. Napjatost se blíží čistému smyku, což je klíčovým faktorem k dosažení nejvyšší jakosti. Udávaná rozměrová přesnost se pohybuje v rozmezí IT 6 (pro tloušťku plechu do 1 mm) až IT 9 (pro tloušťku plechu nad 6 mm). Podrobnější hodnoty přesností a drsností povrchů jsou uvedeny níže v tabulce 7.

Tab. 7 Obecně dosažitelná přesnost a drsnost povrchu při přesném stříhání dle normy [3].

Tloušťka plechu s [mm]	Přesnost vnějšího obrysu	Přesnost otvoru	Drsnost povrchu
do 2,5	IT 8 až IT 6	IT 7 až IT 6	$R_a = (0,45 \text{ až } 1)$
2,5 až 4	IT 9	IT 8	
nad 4	IT 10	IT 9	

Metody přesného stříhání jsou:

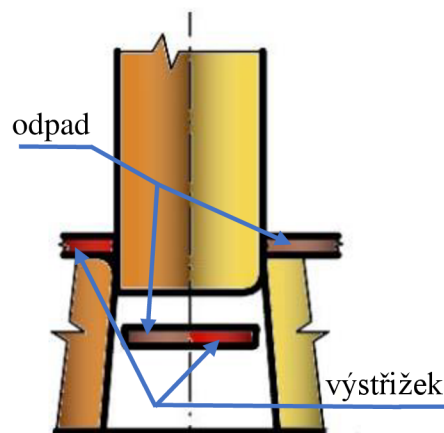
### ❖ Stříhání nástrojem se zaoblenou hranou

Stříhání se zaoblenou hranou lze realizovat dvěma způsoby. Jedna funkční část nástroje, buď střížník nebo střížnice je vypracována bez břitu, se zaoblením střížné hrany. Druhá část je nabroušena. Na obrázku 17 jsou zobrazeny obě metody. Uspořádání vlevo je určeno pro kvalitní povrch díry, vpravo pro kvalitní povrch výstřížku. Dosažitelné přesnosti jsou IT 11 až IT 9 a drsnost povrchu se pohybuje v rozmezí  $R_a = (0,8 \text{ až } 0,4)$ . Stříhání se zaoblenou hranou je vhodné zejména pro tvárné materiály (měkké oceli, mosaz, hliník a jeho slitiny).

Poloměr zaoblení střížnice (resp. střížníku) se volí mezi (15 až 20) % z tloušťky stříhaného materiálu podle tvaru součástí. U tvarově složitých součástí (zářezy, ostré přechody) se volí poloměr zaoblení střížnice (resp. střížníku)  $R_s = 0,25 \cdot s$  a střížná vůle  $v = (0,01 \text{ až } 0,02) \text{ mm}$ . Při takto malé střížné vůli je nezbytné zajistit dokonalé pozicování střížníku vůči střížnici.

### ❖ Stříhání s tlačnou hranou

Stříhání s tlačnou hranou je velmi výhodný technologický postup. Tlačná hrana se nachází na přidržovači (popř. i druhá na střížnici pro materiál o tloušťce 4 mm a vyšší) mimo křivku stříhu. Jakmile je tlačná hrana vtlačena do plechu, v místě stříhu vznikne trojosá tlaková napjatost, viz obrázek 18. Tlačná hrana vytvoří tlakovou složku na stříhaný materiál, jenž podporuje čisté usmýknutí výstřížku. Nepříznivé radiální plastické deformace jsou zachyceny



Obr. 17 Přesné stříhání se zaoblenou hranou [5]  
vlevo — zaoblená střížnice;  
vpravo — zaoblený střížník

tlačnou hranou a materiál se neprohne. Je obecně známo, že při vyšším podílu tlakových napětí roste schopnost materiálu se plasticky deformovat. Při vyšším podílu tahových napětí se u materiálu porušuje soudržnost a vznikají trhliny, což je nežádoucí efekt.

Mezi hlavní nevýhody lze zařadit větší rozměry polotovaru na výstřižek oproti klasickému stříhání, což vede k produkci nadměrného odpadu. Dále je důležité dbát na tvarovou složitost výstřižku (nelze zhotovit např. příliš ostré rohy).

#### ❖ Stříhání se zkoseným přídržovačem

Tento způsob přesného stříhání je v praxi používán méně. Na rozdíl od stříhání s tlačnou hranou, zkosený přídržovač vyvozuje pouze dvojosý stav napjatosti. Velikost vrcholového úhlu přídržovače se obecně uvádí  $\alpha_v = 178^\circ 30'$ . Poloměr zaoblení na střížné hraně střížnice je  $R_s \geq 0,01$  mm (Obr. 19).

#### ❖ Kalibrování otvorů

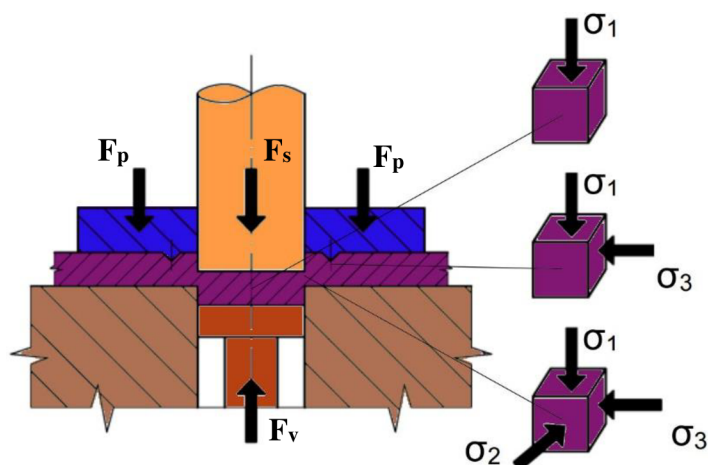
Princip kalibrování vnějšího tvaru spočívá v protlačení výstřižku přes střížnici, jež má zaoblené hrany  $R_s = (0,5 \text{ až } 1,5)$  mm dle tloušťky plechu. Pro kalibrování otvorů se používá kalibrovací trn (Obr. 20). Skládá se ze zaváděcí a výstupní části. Mezi nimi se nachází jedna nebo více ploch o šířce (1 až 3) mm se zkoseným náběhem a výběhem pod úhlem  $5^\circ$ . Lépe se kalibrují otvory s dostatečnou vzdáleností od okraje plechu.

Povrch kalibrované plochy je zpevněn a okraje otvorů jsou nepatrně rozšířeny. Vlivem odpružení po kalibraci je kalibrování méně přesné než přistříhování s vyššími silovými nároky.

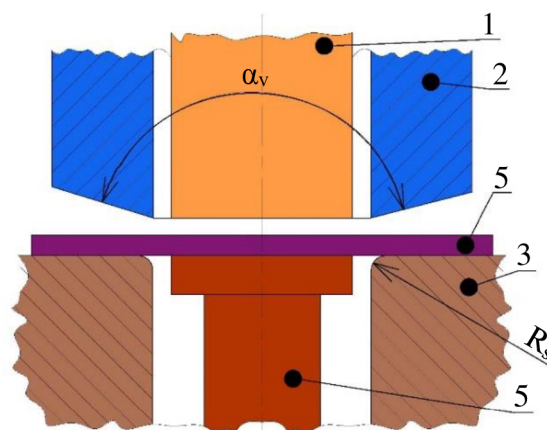
#### ❖ Přistříhování

Přistříhování se vyznačuje velmi vysokou jakostí a rozměrovou přesností stříhané plochy. To je zapříčiněno zejména velmi malým přídavkem na přistříhování a malou střížnou vůlí nástroje.

Vzhledem k zaměření bakalářské práce na technologii přistříhování je tato problematika podrobněji popsána v následující kapitole.

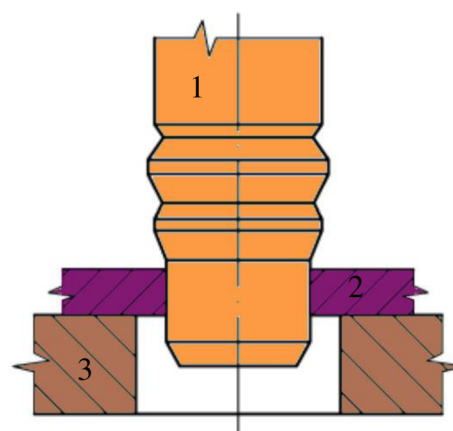


Obr. 18 Přesné stříhání s tlačnou hranou [11]  
 $F_p$  — síla přídržovače;  $F_v$  — síla vyhazovače



Obr. 19 Přesné stříhání se zkoseným přídržovačem [6]

1 — střížník; 2 — přídržovač; 3 — střížnice;  
4 — vyhazovač; 5 — stříhaný materiál



Obr. 20 Kalibrování otvoru [11]

1 — kalibrovací trn; 2 — děrovaný polotovar; 3 — střížnice

## 2.7 Přistřihování [5], [8], [17]

Přistřihování je dokončovací operace (ve výjimečných situacích se přistřihuje ve dvou operacích), u které se odebírá pouze malé množství materiálu. Přistřihované plochy jsou přibližně kolmé k základní rovině, tj. protilehlé plochy jsou prakticky rovnoběžné. Jakost povrchu odpovídá jakosti povrchu získaného jemným obráběním. Dosažená drsnost střížné plochy se všeobecně uvádí  $R_a = (0,4 \text{ až } 1,6)$  a kolmost střížné plochy se pohybuje v rozmezí  $(0,01 \text{ až } 0,02)$  mm pro materiál do tloušťky 4 mm.

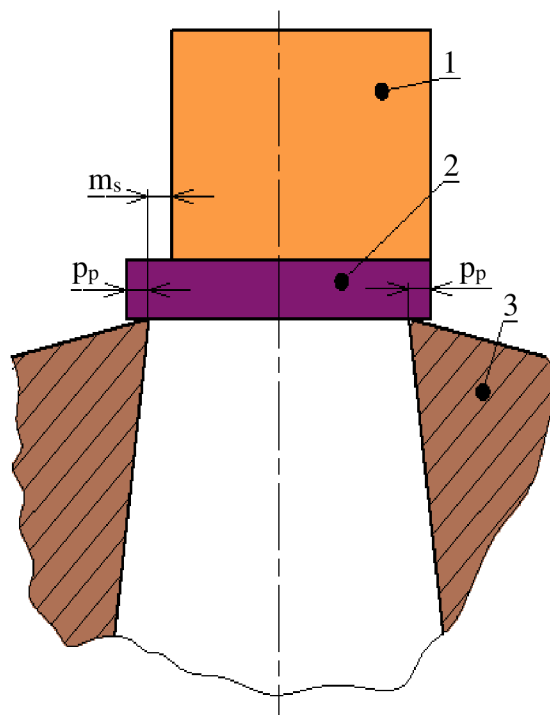
### 2.7.1 Průběh [6], [8]

Pracovní střížný pohyb může vykonávat střížný prvek (nástroj) nebo opracovávaný předmět. Přistřihování lze rozdělit do dvou hlavních způsobů.

Vlevo na obrázku 21 je přistřihování s kladnou vůlí. Střížník je menší než otvor střížnice a je mezi nimi na každé straně střížná mezera „ $m_s$ “. Materiál během přistřihování není opřen o hranu střížnice a vzniká riziko předčasného oddělení (ulomení). Takto vzniklá lomová plocha neodpovídá rozměrům ani kvalitě povrchu zbylé přistřižené ploše.

Pravá část obrázku 21 znázorňuje tzv. přistřihování se zápornou vůlí. Střížník má větší rozměr o přídavek na přistřihování „ $p_p$ “ na každé straně než střížnice. Materiál se během přistřihování opírá o hranu střížnice. Takže během přistřihování jsou napětí na zbyvajícím průřezu menší a riziko předčasného odlomení značně klesá. Na konci operace výstřížek zůstává nedostřihnout, jelikož je nepřipustné, aby se střížník dotkl střížnice, což by mělo za následek snížení životnosti funkčních částí nástroje nebo jejich poškození. Zbývající dostřihování se provádí v další operaci přistřihnutím následujícího polotovaru.

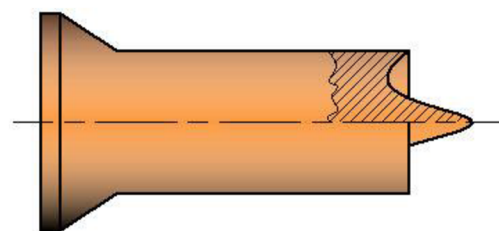
Během stříhu se odděluje materiál a přemisťuje kolmo k opracované ploše (směrem od plochy pryč). U přistřihávání vnějšího tvaru tento odstřížek nepůsobí žádné problémy. Tahové napětí zaniká a odpad nerušeně klouže po střížnici. U vnitřních tvarů je odchod odstřížku brzděn. Odstřížek je tlakovými napětími pěchován a začne se hromadit. Nad střížnou hranou vznikají pásma zvýšených napětí a ty způsobují vylamování drobných částeczek zhoršující kvalitu střížného povrchu.



Obr. 21 Schéma operace přistřihování s kladnou/zápornou vůlí [8]  
1 — střížník; 2 — přistřihovaný polotovar; 3 — střížnice



Nerušný odchod odstřížku je u přistřihování velmi důležitý. Proto je nutné z tohoto hlediska optimalizovat návrh polotovaru a velikost přídavku na přistřihování. Tvoření odstřížku lze ovlivnit vhodným uspořádáním stříhacího nástroje. Na obrázku 22 lze pozorovat děrovací střížník s vhodným sklonem (úhel čela „ $\gamma$ “) k svinutí odstřížku při náznaku jeho pěchování během střížné operace. Bez pěchování zůstane střížná plocha hladká, jakostní. U přistřihování vnějších tvarů z hlediska hospodárnosti nelze střížnici nepravidelného tvaru opatřit vhodným sklonem ( $0^\circ$  je vhodné pro broušení na rovinných bruskách). Naopak u střížnic jednoduchých geometrických tvarů (např. kruhový) je vhodné úhel čela zavést. Správný úhel čela se volí dle materiálových charakteristik dle tabulky 8.



Obr. 22 Děrovací střížník s vedením odstřížku [8]

Tab. 8 Sklon (úhel čela) střížného prvku [8].

Materiál	Úhel čela $\gamma$ [°]
ocel ( $R_m \leq 900$ MPa)	10 až 12
ocel ( $R_m \leq 600$ MPa)	12 až 16
hliníková slitina, měkká mosaz	10 až 15

### 2.7.2 Přídavek na přistřihování [5], [8]

Velikost přídavku na přistřihování „ $p_p$ “ se liší podle použitého pracovního postupu a určuje se zvlášť pro výstřížky a přesné výstřížky. K faktorům určujícím nejmenší hodnotu přídavku na přistřihování patří:

- výchozí drsnosti opracovávaných ploch,
- odchylky tvaru a polohy polotovarů,
- odchylky vznikající při středění polotovarů v přistřihovacím nástroji,
- tloušťka materiálu (Obr. 30).

Tvarové odchylky ve sloučených nebo postupových stříhadlech jsou malé, zanedbatelné. Zaoblení po stříhu je u vnitřního a vnějšího tvaru je na jedné straně u postupových stříhadel a ve sloučených je zaoblení na obou stranách.

Je nutné také přihlédnout k lidskému faktoru. Pokud je výroba závislá na zručnosti dělníka (např. při výrobě výstřížků několika operacemi, podle šablon, vkládáním nebo přirážením) nebo na přesnosti posuvu (přistřihování), nemusí být přesná shoda rozměrů a tvarů výstřížků.

Pokud daná technologičnost konstrukce výrobků je složitějšího tvaru (ostré vnitřní nebo vnější rohy o úhlu menším  $90^\circ$ ) je nutné přídavek na přistřihování mírně zvýšit. Jinak by docházelo k silnému trhání střížné plochy.

Pokud stanovený přídavek na přistřihování určený z obrázku 30 nepřesáhne hodnotu přídavku na hlazení „ $p_{p2}$ “ (Obr. 31), je nutné přistřihovat na nejméně dvě operace.

### 2.7.3 Stanovení střížné síly [8], [12]

Výsledná síla „ $F_{sv}$ “, tj. síla, s níž musí nástroj působit na opracovávanou součást, aby došlo k oddělení přídavku od požadovaného tvaru, je součet střížné síly „ $F_s$ “ a třecí síly „ $F_t$ “ (mezi opracovávanou součástí a střížným prvkem). Platí:

$$F_{sv} = F_s + F_t \text{ [N]}. \quad (2.9)$$

➤ Střížná síla se vypočítá dle vztahu:

$$F_s = f_s \cdot b_s \cdot p_p \cdot C \text{ [N]}, \quad (2.10)$$

kde  $f_s$  — měrná střížná síla [MPa]

$b_s$  — šířka (resp. obvod) přídavku na přistříhování [mm]

$p_p$  — tloušťka přídavku na přistříhování [mm]

$C$  — opravný koeficient [-].

Opravný koeficient zpřesňuje výslednou střížnou sílu při přistříhování. Zahrnuje do výpočtu předem známé faktory, které jsou:

- 0,9 — pro sklon střížného prvku (úhel čela)  $20^\circ$  (lineární průběh mezi  $0^\circ$  a  $20^\circ$ ),
- 0,9 — pro zcela ostrou střížnou hranu,
- 1,2 — pro uhlazenou a lehce opotřebovanou hranu.

➤ Třecí síla se vypočítá dle vztahu:

$$F_t = S_s \cdot f_t \text{ [N]}, \quad (2.11)$$

kde  $S_s$  — styčná plocha mezi součástí a střížným prvkem, tj. šířka (resp. obvod)

přídavku na přistříhování násobená tloušťkou stříhaného materiálu [mm<sup>2</sup>]

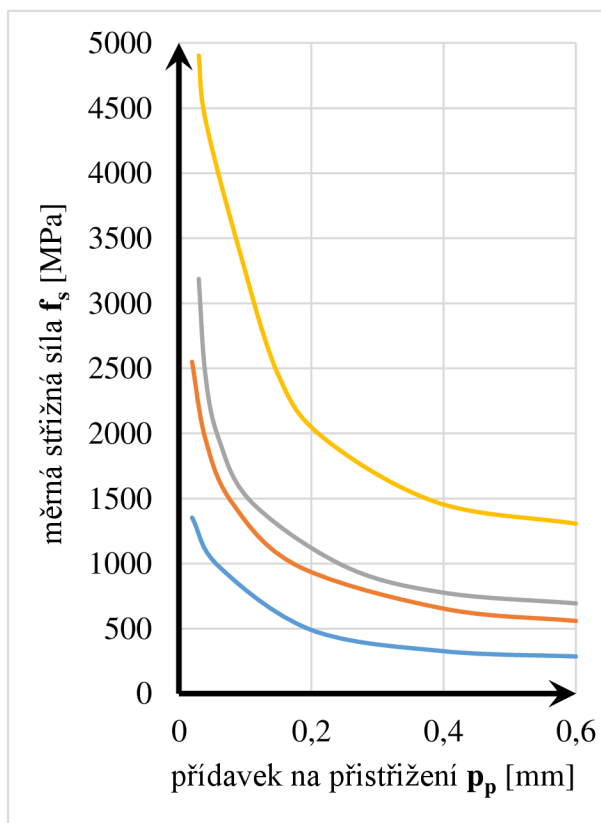
$f_t$  — měrná třecí síla mezi součástí a střížným prvkem [MPa].

Měrná třecí síla se dle praktických zkušeností volí v rozmezí (10 až 50) MPa. Pro rázové opracovávání se volí střední hodnota z intervalu, tj. 25 MPa. Měrná třecí síla je všeobecně větší u vnějších tvarů než u tvarů vnitřních a u materiálů s velkou tvárností než u materiálu s tvárností malou. Závisí také na opracovávaném obrysu a opotřebením střížné hrany.

Obr. 23 Závislost měrné střížné síly na tloušťce odstřížku [8]

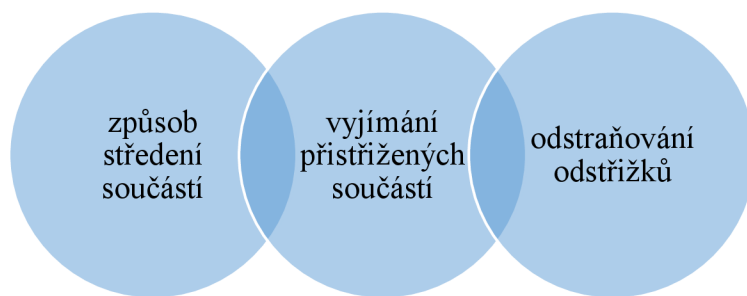
Diagram znázorňuje průběh pro sklon střížného prvku (úhel čela)  $0^\circ$ .

křivka a — čistý hliník 99,5 %; křivka b — slitiny lehkých kovů; křivka c — elektrolytická měď a další polotvrdé materiály; křivka d — ocel  $R_m=490$  MPa.



#### 2.7.4 Přistřihovací nástroje [1], [8]

Pro posouzení účelnosti nástrojů pro přistřihování jsou nejdůležitější tři faktory (Obr. 24). Pro nástroje na dokončovací operace je nejdůležitější středění udávající celkovou jeho přesnost. Ideální koncepce středění nezatěžuje podávání polotovarů. Zajišťuje jejich přesnou polohu a zároveň zabráňuje nesprávnému založení. Hotové součásti musí z nástroje snadno odcházet. Lze použít např. vyhazovač napomáhající správnému vysunutí hotové součásti ze středění. Na konci každého zdvihu musí být zajištěn odchod odstřížků z nástroje. Odstřížky mohou vypadávat samy nebo být vyfouknuty stlačeným vzduchem.



Obr. 24 Důležité faktory pro přistřihovací nástroje

Materiálové požadavky na přistřihovací nástroje jsou obdobné jako u jiných stříhadel. Střížné prvky, jež jsou klíčové pro kvalitu přistřížků, se vyrábí z nástrojových nebo rychlořezných ocelí. Hrany je nutné po určité době přebrousit, aby střížná operace neztrácela na kvalitě. Lze se setkat i s tzv. segmentovou konstrukcí. Například do střížnice vyhotovené z rychlořezné oceli lze přidat segment slinutého karbidu pro zkvalitnění střížné hrany. Segmenty bývají často vyměnitelné.

#### 2.7.5 Materiály [1], [8], [12]

Absolutní většina kovových materiálů, používané v lisovací technice se hodí také k přistřihávání. Je důležité, aby měly dostatečnou tvárnost za studena a minimální mez kluzu. Pro hospodárnou využitelnost nástrojů se volí nízkouhlíkové (do obsahu asi 1 % C) a nízkolegované oceli s pevností  $R_m \leq 600$  MPa. Je vhodné přepočítat obsah legujících prvků na ekvivalentní obsah uhlíku a následně porovnat vhodnost dle diagramu uvedeného v příloze 1. Jelikož je u přistřihování snaha vybírat materiály s co nejmenším množstvím uhlíku, jsou příměsi z pozůstatků hutního pochodu (síra, fosfor, dusík, vměstky, apod.) nežádoucí. Tabulka 5 zobrazuje základní výčet vhodné oceli. Pro podrobnější výčet oceli vhodné pro tváření za studena lze nahlédnout do přílohy 1. Vhodné lehké, nezelezné kovy společně s plasty se nachází v příloze 2.

Výše uvedené požadavky jsou kladeny z důvodu ovlivnění struktury materiálu. Například ocel tepelně nezpracovaná se strukturou feriticko-perlitickou s lamelárním perlitem je vhodná pouze pro přistřihování tvarů s velkým zaoblením rohů. Při malém poloměru zaoblení můžou vzniknout mikroskopické trhlinky. Naopak oceli žíhané s globulárním perlitem jsou vhodné pro přistřihování složitějších tvarů s malým poloměrem zaoblení. Makrostruktura oceli nemá vykazovat metalurgické vady (shluky nekovových vměstků, segregace, trhliny, apod.), jež jsou po naleptání viditelné okem.

### 3 NÁVRH TECHNOLOGIE VÝROBY

Zadaná součást „krytka“ (Obr. 25) je zhotovena z předchozí operace tažení. Výtažek byl vyroben z plechu tloušťky 3 mm. Takto tenký materiál je problematický zpřesnit dle zadaných požadavků, proto je operace přistříhování vhodná. Výroba krytky se zúží na jednu (maximálně dvě) operace a nebude potřeba další dokončovací proces. Ušetří se výdaje, zrychlí produktivita, sníží zmetkovitost a zvýší bezpečnost práce.



Obr. 25 Zadaná součást „krytka“

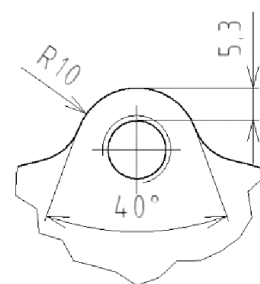
#### 3. 1 Kontrola vhodnosti součásti [1], [4], [12]

Přistříhování má specifické požadavky na materiál a technologičnost konstrukce zadané součásti. Zadaný materiál 11 321 (DC01) je vhodný pro tváření (válcování) za studena, k středně hlubokému tažení, lakování, protlačování a smaltování. Jedná se o ocel nelegovanou, jakostní. Její mechanické vlastnosti jsou uvedeny v tabulce 9 níže. Dle kapitoly 2.7.5 materiál vyhovuje předpokladům pro technologii přistříhování.

Tab. 9 Základní charakteristiky oceli 11 321 [4].

Označení dle normy			Mechanické vlastnosti		
ČSN	EN ISO	DIN	R <sub>m</sub> [MPa]	R <sub>e</sub> [MPa]	δ <sub>min</sub> [%]
11 321	DC01	St 2	280 až 380	235	29

Technologičnost konstrukce výstřížků výrazně ovlivňuje kvalitu střížné plochy a hospodárnost výroby (např. životnost funkčních částí nástroje). V praxi lze nalézt nomogramy k určení šířky drážky v plechu, minimální vzdálenosti mezi otvory (případně mezi otvorem a hranou součásti), poloměru rohů a hran součásti, minimálního modulu ozubení apod. V zadané součásti jsou nebezpečná pouze místa okolo otvoru, viz obrázek 26.



Obr. 26 Nebezpečné místo součásti

Vzdálenost otvoru a hrany součásti  $a = 5,3$  mm odpovídá dle obrázku 27 oblasti lehké obtížnosti S1.

Podle obrázku 28 ( $s = 3$  mm;  $\alpha = 40^\circ$ ) se určí minimální poloměr zaoblení rohů a hran  $R_1 = 1,1$  mm. Diagram platí pouze pro materiály s pevností  $R_{m1} = 400$  MPa a pro ostatní pevnosti lze hodnotu přepočítat pomocí přímé úměry (pro materiály s vyšší pevností bude úměrně poloměr zaoblení rohů a hran vyšší a naopak). Zadaná pevnost oceli  $R_m = (280 \text{ až } 380)$  MPa je přibližně o 20% nižší než pevnost „ $R_{m1}$ “, čili úbytek pro nižší pevnost činí:

$$R_2 = 0,2 \cdot R_1 = 0,2 \cdot 1,1 = 0,22 \text{ mm}, \quad (3.1)$$

výsledný vnější poloměr zaoblení:

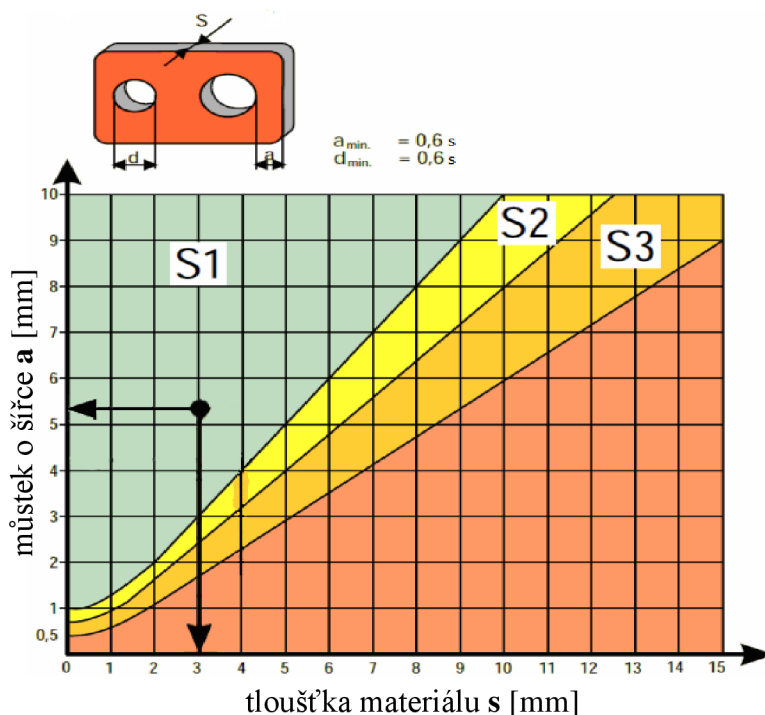
$$R_v = R_1 - R_2 = 1,1 - 0,22 = 0,88 \text{ mm}, \quad (3.2)$$

$$R_v \leq R, \quad (3.3)$$

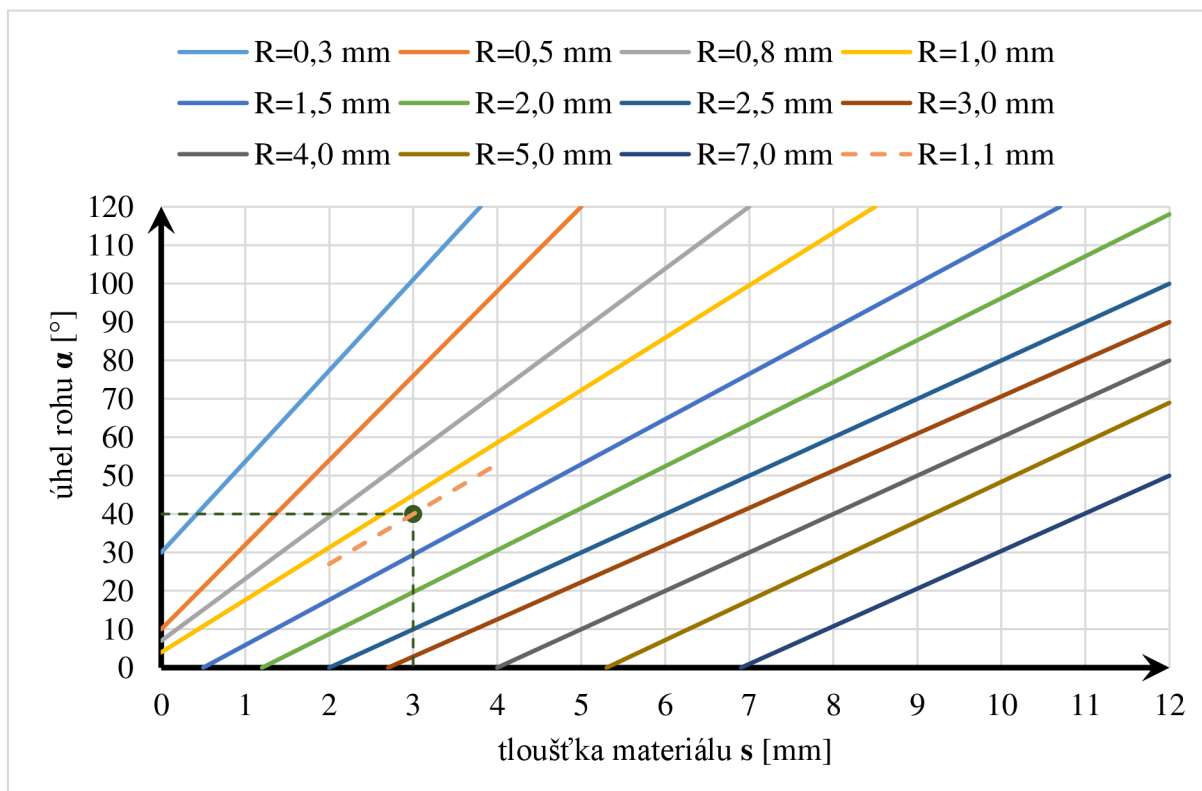
- kde  $R_2$  — úbytek vnějšího poloměru zaoblění pro materiál s nižší pevností [mm]
- $R_1$  — vnější poloměr zaoblění odečtený z nomogramu [mm]
- $R_v$  — výsledný poloměr vnějšího zaoblění [mm]
- $R$  — poloměr zaoblění součásti (Obr. 26).

Vnitřní poloměr zaoblění je přibližně 60 % z hodnoty poloměru vnějšího. V nebezpečném místě zadané součásti lze vnitřní poloměr nalézt, nicméně jeho velikost je natolik bezpečná, že se kontrola zanedbává.

Vnější poloměr zaoblění  $R = 10$  mm několikanásobně převyšuje minimální přípustnou hodnotu „ $R_v$ “. **Součást z hlediska technologičnosti konstrukce vyhovuje.**



Obr. 27 Nomogram k určení minimální šířky můstku [15]

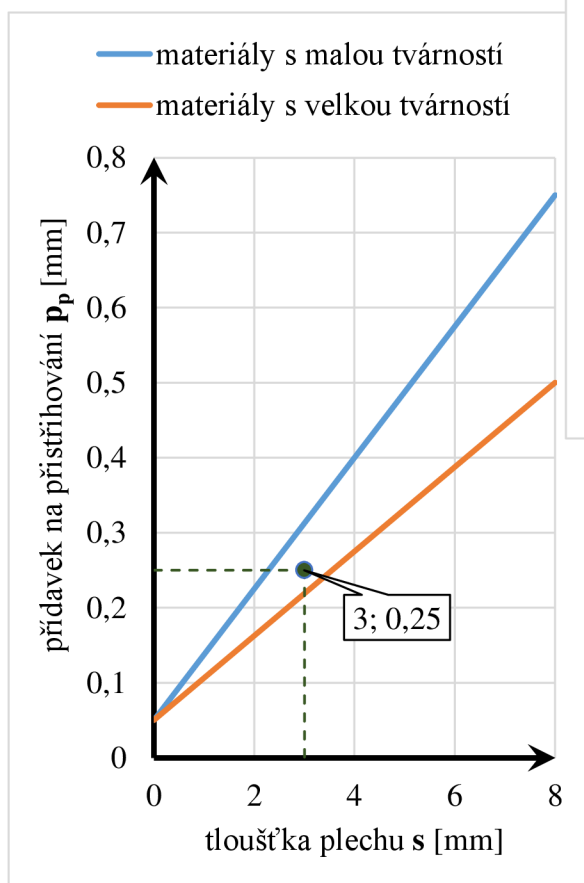


Obr. 28 Minimální velikost poloměru rohů a hran vystřihované součásti [12]

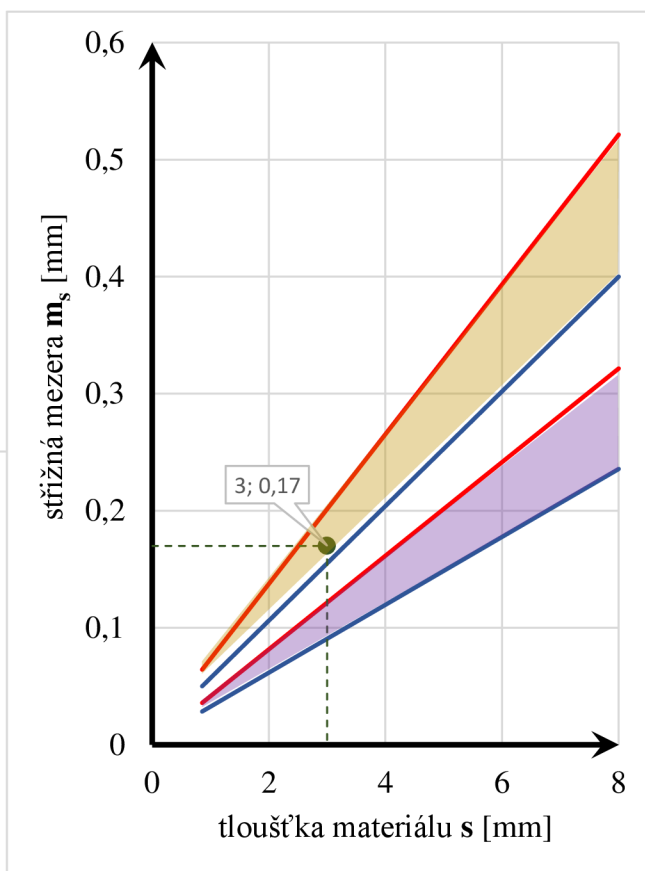
### 3.2 Určení střížné mezery [8]

Pro určení přídavku na přistřihování je důležité nejprve znát střížnou mezeru. Pro přistřižení výstřižků s vnějším tvarem činí střížná mezera (5 až 6,5) % z tloušťky materiálu. Pro vnitřní tvary je menší a má velikost (3 až 4) % z tloušťky materiálu.

Střížná mezera pro zadanou součást se určí z nomogramu, viz obrázek 29. Pro součást vnějšího tvaru tloušťky 3 mm je stanovena velikost  $m_s = 0,17$  mm.



Obr. 30 Směrná hodnota minimálního přídavku na přistřihování pro vnější tvar [8]



Obr. 29 Závislost střížné mezery na tloušťce materiálu [8]

### 3.3 Přídavek na přistřihování [8]

Nejmenší přípustná hodnota přídavku na přistřihování vychází z několika faktorů zmíněných v kapitole 2.7.2. Lze jej přibližně určit v závislosti na mechanických vlastnostech materiálu (resp. jeho tvárnosti) a tloušťce plechu. Odpovídá nejmenší možné hodnotě při určené střížné mezeře „ $m_s$ “, kdy při nižších hodnotách může přispět k zhoršení jakosti střížné plochy.

Navrhovaná součást má tloušťku plechu  $s = 3$  mm a materiál 11 321 je středně tvárný. Přídavek na přistřihování dle obrázku 30 volím  $p_p = 0,25$  mm.

### 3.4 Stanovení počtu střížných operací [8],

Počet stříhů je určován v závislosti přípustného přídavku na přistříhování „ $p_p$ “ a požadované jakosti povrchu. Zpravidla platí přímá úměra. Čím je tloušťka odstřížku menší, tím bude výsledná kvalita povrchu lepší. Převyšuje-li přídavek na přistříhování přípustný přídavek na hlazení „ $p_{p2}$ “, vznikne potřeba zpravidla dvou stříhů. Při prvním stříhu (hrubování) se odebere co největší část materiálu „ $p_{p1}$ “. Druhý stříh (hlazení) odebere zbylou část materiálu a vytvoří jakostní střížnou plochu.

Ke stanovení „ $p_{p1}$ “ a „ $p_{p2}$ “ je nutné znát poměr meze kluzu k mezi pevnosti v tahu „ $p_\sigma$ “. Pro Zadaný materiál s mezi pevnosti  $R_m = (280 \text{ až } 380) \text{ MPa}$  se nachází poměr „ $p_\sigma$ “ v intervalu:

$$p_\sigma = \frac{R_e}{R_m} [-], \quad (3.4)$$

$$p_\sigma \in \left\langle \frac{235}{280}; \frac{235}{380} \right\rangle,$$

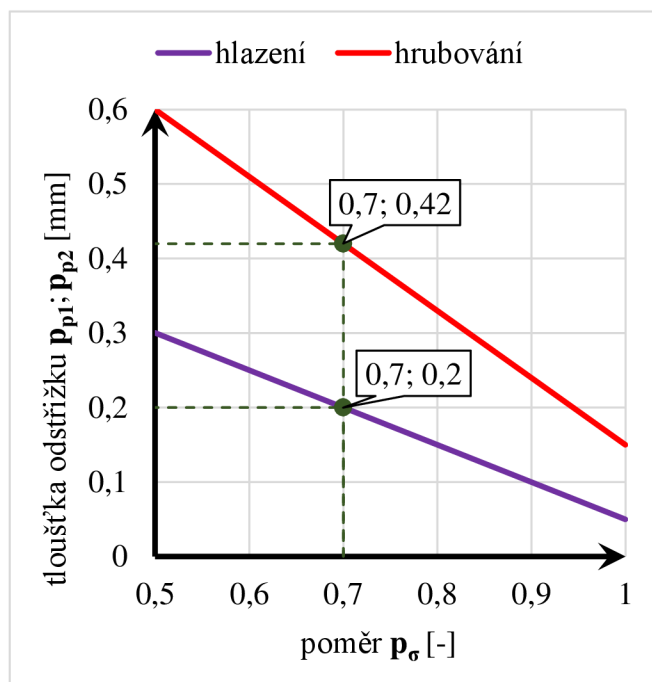
$$p_\sigma \in \langle 0,618; 0,839 \rangle.$$

Pro daný materiál byl zvolen přibližně střední hodnota z intervalu  $p_\sigma = 0,7$ .

Z obrázku 31 je zřejmé, že pro požadovanou jakost povrchu je nutné mít k operaci hlazení připraven polotovar s velikostí přídavku nejvíce  $p_{p2}=0,2 \text{ mm}$ . Jelikož platí nerovnost:

$$p_p \geq p_{p2} \quad (3.5)$$

$$0,25 \geq 0,2$$



Obr. 31 Směrné hodnoty přídavků na přistříhování pro operaci hrubování a hlazení [8]

**bude nutné přistříhovat danou součást na dvě operace – hrubování a hlazení.**

Během hrubování je možné odebrat odstřížek  $p_{p1} = 0,42 \text{ mm}$  (Obr. 31). Sečtením obou operací (hrubování a hlazení) lze odstříhnout nejvíce z každé strany přídavek „ $p_{p \max}$ “:

$$p_{p \max} = p_{p1} + p_{p2} = 0,42 + 0,2 = 0,62 \text{ mm}. \quad (3.6)$$

Největší rozměr tvarové příruby (Obr. 32)  $L = 150 \text{ mm}$  může dosahovat rozměrů:

$$L_{\max} = L + 2 \cdot p_{p \max} = 150 + 2 \cdot 0,62 = 151,24 \text{ mm}, \quad (3.7)$$

$$L_{\min} = L + 2 \cdot p_p = 150 + 2 \cdot 0,25 = 150,5 \text{ mm}. \quad (3.8)$$

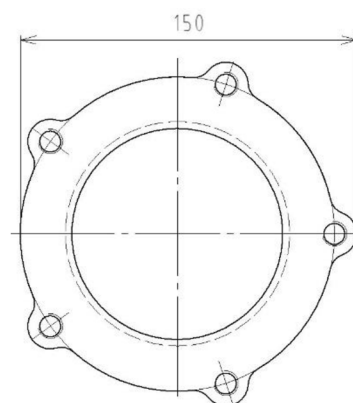
Rozdílem těchto hodnot získáme délkovou toleranci „ $IT_L$ “:

$$IT_L = L_{\max} - L_{\min} = 151,24 - 150,5 = 0,74 \text{ mm}. \quad (3.9)$$

Dle tabulky 10 se zařazuje „ $IT_L$ “ mezi IT 13 a IT 14. Předcházející technologická operace polotovaru je tažení, které dosahuje běžně přesnosti IT 11 až IT 12. **Požadavek z hlediska rozměrové tolerance na předchozí operaci tažení je akceptovatelný.**

Tab. 10 Vybrané hodnoty systému ISO pro toleranci délkových rozměrů [16].

Jmenovitý rozměr [mm]		Toleranční stupně IT (3 až 13) a jejich číselné hodnoty základních tolerancí ISO [μm]									
přes	do	6	7	8	9	10	11	12	13	14	
120	180	25	40	63	100	160	250	400	630	1000	



Obr. 32 Největší rozměr tvarové příruby

### 3.5 Přistřihovací operace hrubování [12]

Pro správné přistřihnoutí je nutné ze stanovených faktorů nejdříve hrubovat. K určení výsledné síly (minimální síla nástroje působící na přistřižek během hrubování) je potřeba znát měrnou střížnou sílu podle obrázku 23 ( $p_p = p_{p1} = 0,42$  mm; křivka c)  $f_s = 735$  MPa a šířku (resp. obvod) přídatku na přistřihování  $b_s = 489,329$  mm, který byl určen pomocí programu Autodesk Inventor Professional 2016 (Obr. 33), měrnou třecí sílu  $f_t = 25$  MPa (rázové opracování), opravným koeficientem  $C = 0,9$  (pro zcela ostrou hranu) a styčnou plochu mezi součásti a střížným prvkem:

$$S_s = b_s \cdot s = 489,329 \cdot 3 = 1467,987 \text{ mm}^2. \quad (3.10)$$

Střížná síla se určí dle vztahu 2.10:

$$F_{s1} = f_s \cdot b_s \cdot p_{p1} \cdot C,$$

$$F_{s1} = 330 \cdot 489,329 \cdot 0,42 \cdot 0,9 = 135950,274 \text{ N},$$

třecí síla pomocí vztahu 2.11:

$$F_{t1} = S_s \cdot f_t = 1467,987 \cdot 25 = 36699,675 \text{ N},$$

výsledná síla (vztah 2.9):

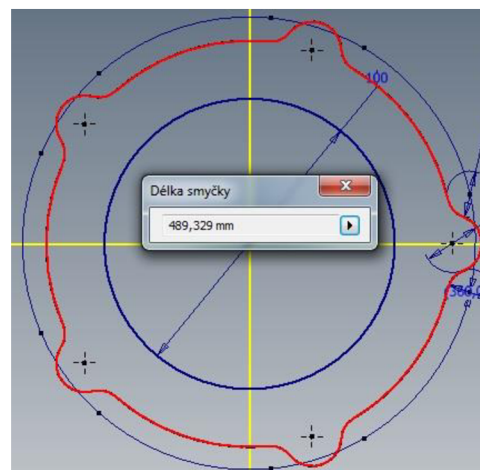
$$F_{sv1} = F_{s1} + F_{t1} = 135950,274 + 36699,675 = 172649,949 \text{ N}.$$

Síla nástroje se zpravidla určuje v jednotkách kN, proto je výhodné výslednou sílu pro zjednodušení zaokrouhlit na hodnotu  $F_{sv1} = 172,650$  kN.

Pro určení práce postačí vztah 2.7 z druhé kapitoly, jelikož není v tomto ohledu rozdíl, zdali součást přistřihujeme či stříháme. Nicméně za střížnou sílu „ $F_{s1}$ “ ve vztahu 2.7 se dosadí výsledná síla „ $F_{sv1}$ “ (určuje se celková střížná práce pro nástroj). Bude platit  $F_{s1} = F_{sv1}$ . Pomocí střížného odporu  $\tau_s = 300$  MPa (zvoleno dle tabulky 5) se určí součinitel vtlačení  $K_A = 0,55$  (zvoleno pomocí tabulky 6). Velikost střížné práce je:

$$A_1 = \frac{K_A \cdot F_{s1} \cdot s}{1000} = \frac{0,55 \cdot 172650 \cdot 3}{1000} = 284,8725 \text{ J},$$

po zaokrouhlení je velikost střížné práce v operaci hrubování  $A_1 = 284,8$  J.



Obr. 33 Velikost obvodu tvarové příruby



### 3.6 Přistřihovací operace hlazení

Ve druhé operaci se již součást bude „hladit“. Jedná se o dokončovací přistřih na požadovanou rozměrovou toleranci a drsnost střížné plochy. K výpočtu výsledné síly a práce se bude přistupovat obdobně jako v první operaci vyjma přídavku na přistřihování, který je nyní roven  $p_{p2} = 0,2$  mm.

Střížná síla dle vztahu 2.10:

$$F_{s2} = f_s \cdot b_s \cdot p_{p2} \cdot C = 735 \cdot 489,329 \cdot 0,2 \cdot 0,9 = 64738,2267 N,$$

třecí síla pomocí vztahu 2.11 (velikost třecí síly je stejná jako v 1. operaci), viz:

$$F_{t2} = S_s \cdot f_t = 1467,987 \cdot 25 = 36699,675 N,$$

Výsledná síla (vztah 2.9):

$$F_{sv2} = F_{s2} + F_{t2} = 64738,2267 + 36699,675 = 68407,9017 N$$

Výsledná síla po zaokrouhlení je  $F_{sv2} = 68,408$  kN.

K určení střížné práce se opět použije vztah 2.7 se stejným ustanovením  $F_{s2} = F_{sv2}$  jako v operaci hrubování. Součinitel vtlačení zůstává stejný, jelikož se nemění materiál součásti.

Velikost střížné práce je:

$$A_2 = \frac{K_A \cdot F_{s2} \cdot s}{1000} = \frac{0,55 \cdot 68408 \cdot 3}{1000} = 112,8732 J$$

V operaci hlazení je střížná práce po zaokrouhlení  $A_2 = 12,9$  J.

## 4 ZÁVĚRY

Rozměry zadané součásti „krytky“ jsou přijatelné pro zvolenou technologii a některé několikrát převyšují minimální doporučenou mez technologičnosti tvaru součásti. Obtížnost přistříhnutí řešené tvarové příruby bylo vyhodnoceno jako lehká úroveň. Materiál 11 321 je vhodný pro tváření za studena a vyhovuje daným předpokladům pro přistříhování.

Nejmenší přídavek na přistříhování  $p_p = 0,25$  mm byl stanoven v závislosti na určené střížné mezeře  $m_s = 0,17$  mm. Jelikož přistříhovací operace hlazení vyžaduje maximální přídavek  $p_{p2} = 0,2$  mm, bude nutné přistříhovat ve dvou krocích. Řešenou součást lze přistříhnout v jedné operaci za podmínky změny zadaného materiálu. Při menším poměru meze kluzu k pevnosti tahu materiálu „ $p_\sigma$ “ by vzrostl dovolený přídavek k přistřížení u operace hlazení „ $p_{p2}$ “ a překročil by minimální hodnotu přídavku na přistříhování vnějšího tvaru „ $p_p$ “. Je doporučena změna za materiál podobných mechanických vlastností, například ocel 11 320, 11 373 nebo 11 423.

Dle stanovených sil je nutné zvolit postupový přistříhovací nástroj s vhodným lisem, jenž zvládne působit silou 172,650 kN v prvním přistříhu (hrubování) a silou 68,408 kN v druhém přistříhu (hlazení). Půdorysný rozměr součásti je (150 x 150) mm.

## SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ [2]

1. BOBČÍK, Ladislav. 1983. *Střížné nástroje pro malosériovou výrobu*. Praha: SNTL - Nakladatelství technické literatury, 213 s. : il., tabulky, grafy.
2. CITACE PRO. *Generátor citací* [online]. 2013 [cit. 2016-05-27]. Dostupné z: <http://citace.lib.vutbr.cz/info>
3. ČSN 22 6015, *Lisovací stroje. Stříhadla a střížné vřtle. Směrnice pro výpočet a konstrukci*. 1977. Praha: Vydavatelství Úřadu pro normalizaci a měření.
4. ČSN 41 1321, *Oceř 11 321*. 1988. Praha: Vydavatelství Úřadu pro normalizaci a měření.
5. DVOŘÁK, Milan, František GAJDOŠ a Karel NOVOTNÝ. 2013. *Technologie tváření: plošné a objemové tváření*. Vyd. 5., V Akademickém nakladatelství CERM 3. vyd. Brno: Akademické nakladatelství CERM. ISBN 9788021447479.
6. DVOŘÁK, Milan. 2001. *Technologie. II*. Brno: CERM, 238 s. : il. ISBN 8021420324.
7. Fineblanking. c2016. *MPI Products LLC* [online]. [cit. 2016-05-27]. Dostupné z: <http://www.mpiproducts.com/fineblanking/>
8. GUIDI, Alfons, Vladimír HORÁK a Werner FIALA. 1969. *Přístřihování a přesné stříhání*. Praha: SNTL, 138 s. : il.
9. *CHPS s.r.o - řezání vodním paprskem, řezání laserem, zpracování kovů* [online]. Chomutov: CHPS [cit. 2016-05-23]. Dostupné z: <http://www.chps.cz/>
10. KOČMAN, Karel. 2011. *Technologické procesy obrábění*. Brno: Akademické nakladatelství CERM. ISBN 9788072047222.
11. KOSÍŘ, Tomáš. *Návrh výroby krytu senzoru vyráběného technologií přesného stříhání*. Brno, 2014. 61s, 4 výkresy, 3 přílohy, CD. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství. Ústav strojírenské technologie, Odbor technologie tváření kovů a plastů. Vedoucí práce Ing. Eva Peterková, Ph.D.
12. NOVOTNÝ, Josef a Zdeněk LANGER. 1980. *Stříhání a další způsoby dělení kovových materiálů*. Praha: SNTL - Nakladatelství technické literatury, 213 s. : il.
13. *PLAZMA řezání hutního materiálu, prodej hutního materiálu* [online]. [cit. 2016-05-23]. Dostupné z: <http://www.plazmacz.cz/>
14. Řezání plazmou, plamenem. c1991-2016. *Svářecí technika Schinkmann.cz* [online]. [cit. 2016-05-27]. Dostupné z: <http://www.schinkmann.cz/rezani-plazmou-plamenem>
15. STEINER, Jaromír. *Stříhání součástí s vyšší přesností*. Brno, 2013. 54s, 8 výkresů, 5 příloh, CD. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství. Ústav strojírenské technologie, Odbor technologie tváření kovů a plastů. Vedoucí práce doc. Ing. Ladislav Žák, Ph.D.
16. SVOBODA, Pavel a Jan BRANDEJS. 2013. *Výběry z norem pro konstrukční cvičení*. Vyd. 5. Brno: Akademické nakladatelství CERM. ISBN 9788072048380.
17. *Technologie plošného tváření - stříhání*. 2005. *Katedra tváření kovů a plastů - Skripta* [online]. Liberec: Lenfeld [cit. 2016-05-23]. Dostupné z: [http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta\\_tkp/sekce/06.htm](http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta_tkp/sekce/06.htm)

18. Water jet cutting explained in detail. c2012. *Safire Water jet* [online]. [cit. 2016-05-27]. Dostupné z: <http://www.safirewaterjet.co.uk/water-jet-cutting-explained-in-detail-by-safire-water-jet.html>

## SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

1/2

Označení	Legenda	Jednotka
A	Střížná práce pro rovnoběžné nože	[J]
A <sub>š</sub>	Střížná práce pro šikmé nože	[J]
a	Délka můstku	[mm]
b <sub>s</sub>	Šířka (obvod) přídavku	[mm]
C	Opravný koeficient	[-]
c	Koeficient závislý na stupni stříhu	[-]
c <sub>s</sub>	Součinitel otupení	[-]
d	Průměr otvoru	[mm]
F	Síla střížných nožů	[N]
F <sub>p</sub>	Síla přidržovače	[N]
F <sub>s</sub>	Střížná síla pro rovnoběžné nože	[N]
F <sub>sš</sub>	Střížná síla pro šikmé nože	[N]
F <sub>sv</sub>	Výsledná střížná síla	[N]
F <sub>t</sub>	Třecí síla	[N]
F <sub>v</sub>	Síla vyhazovače	[N]
f <sub>s</sub>	Měrná střížná síla	[MPa]
f <sub>t</sub>	Měrná třecí síla	[MPa]
h	Aktuální hloubka střížné hrany v materiálu	[mm]
h <sub>s</sub>	Dráha	[mm]
IT <sub>L</sub>	Délková tolerance tvarové příruby	[mm]
K <sub>A</sub>	Součinitel hloubky vtlačení	[-]
L	Rozměr tvarové příruby	[mm]
l	Délka stříhu	[mm]
m <sub>s</sub>	Střížná mezera	[mm]
p <sub>p</sub>	Přídavek na přistřihování	[mm]
p <sub>p1</sub>	Přídavek na hrubování	[mm]
p <sub>p2</sub>	Přídavek na hlazení	[mm]
p <sub>σ</sub>	Poměr meze kluzu k mezi pevnosti v tahu	[-]
R	Zaoblení rohu součásti	[mm]
R <sub>1</sub>	Odečtený poloměr zaoblení rohu	[mm]
R <sub>2</sub>	Úbytek pro nižší pevnost	[mm]
R <sub>a</sub>	Drsnost povrchu	[μm]
R <sub>e</sub>	Mez kluzu v tahu	[MPa]
R <sub>m</sub>	Mez pevnosti v tahu	[MPa]
R <sub>s</sub>	Poloměr zaoblení střížnice	[mm]
R <sub>v</sub>	Výsledný poloměr zaoblení rohu	[mm]
S <sub>s</sub>	Obsah střížné plochy	[mm <sup>2</sup> ]
s	Tloušťka materiálu	[mm]
v	Střížná vůle	[mm]

## SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

2/2

Označení	Legenda	Jednotka
$\alpha$	Úhel rohu	[°]
$\alpha_v$	Vrcholový úhel přidržovače	[°]
$\gamma$	Úhel čela střížného prvku	[°]
$\delta$	Tažnost	[%]
$\tau_s$	Střížný odpor	[MPa]
$\varphi$	Úhel sklonu šikmého nože	[°]

## SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1 Součásti vyrobené přesným stříháním od firmy MPI Products [7] .....	9
Obr. 2 Znázornění funkční části krytky .....	10
Obr. 3 Povrch řezané plochy v závislosti na procentuální rychlosti posuvu [18] .....	10
Obr. 4 Řezání plazmou [14].....	11
Obr. 5 Neporušená povrchová úprava po řezání laserem [9] .....	12
Obr. 6 Detail rezonátoru [9].....	12
Obr. 7 Porovnání kvality laserového řezu [9].....	13
Obr. 8 Průběh střížného procesu [17] .....	14
Obr. 9 Kvalita střížné plochy [12] .....	15
Obr. 10 Kvalita střížné plochy pro různou velikost střížné mezery [17].....	15
Obr. 11 Zpevnění materiálu při stříhání [1].....	16
Obr. 12 Ohyb stříhané hrany [12].....	16
Obr. 13 Tvar střížné plochy pro různé střížné mezery (poloviční střížné vůle) [1] .....	17
Obr. 14 Doporučené hodnoty koeficientu $c$ [3] .....	18
Obr. 15 Schéma závislosti dráhy střížníku na střížné síle [8].....	18
Obr. 16 Pracovní diagram - stříhání šikmými noži [6].....	21
Obr. 17 Přesné stříhání se zaoblenou hranou [5] .....	22
Obr. 18 Přesné stříhání s tlačnou hranou [11] .....	23
Obr. 19 Přesné stříhání se zkoseným přídržovačem [6] .....	23
Obr. 20 Kalibrování otvoru [11] .....	23
Obr. 21 Schéma operace přistříhování s kladnou/zápornou vůlí [8] .....	24
Obr. 22 Děrovací střížník s vedením odstřížku [8].....	25
Obr. 23 Závislost měrné střížné síly na tloušťce odstřížku [8].....	26
Obr. 24 Důležité faktory pro přistříhovací nástroje .....	27
Obr. 25 Zadaná součást „krytka“ .....	28
Obr. 26 Nebezpečné místo součásti .....	28
Obr. 27 Nomogram k určení minimální šířky můstku [15] .....	29
Obr. 28 Minimální velikost poloměrů rohů a hran vystříhované součásti [12].....	29
Obr. 29 Závislost střížné mezery na tloušťce materiálu [8].....	30
Obr. 30 Směrná hodnota minimálního přídávku na přistříhování pro vnější tvar [8] .....	30
Obr. 31 Směrné hodnoty přídávků na přistříhování pro operaci hrubování a hlazení [8] .....	31
Obr. 32 Největší rozměr tvarové příruby .....	32
Obr. 33 Velikost obvodu tvarové příruby .....	32

## SEZNAM TABULEK

Tab. 1 Řezání vodním paprskem - tolerance, drsnost, výhody a nevýhody [13].....	11
Tab. 2 Řezání plazmou - tolerance, drsnost, výhody a nevýhody [13].....	11
Tab. 3 Řezání laserem - tolerance, drsnost, výhody a nevýhody [13].....	12
Tab. 4 Velikost střížné vůle [1]. .....	17
Tab. 5 Pevnostní hodnoty oceli [1]. .....	20
Tab. 6 Součinitel vtlačení $K_A$ [3].....	21
Tab. 7 Obecně dosažitelná přesnost a drsnost povrchu při přesném stříhání dle normy [3]. ...	22
Tab. 8 Sklon (úhel čela) střížného prvku [8]. .....	25
Tab. 9 Základní charakteristiky oceli 11 321 [4].....	28
Tab. 10 Vybrané hodnoty systému ISO pro toleranci délkových rozměrů [16]. .....	32



## SEZNAM PŘÍLOH

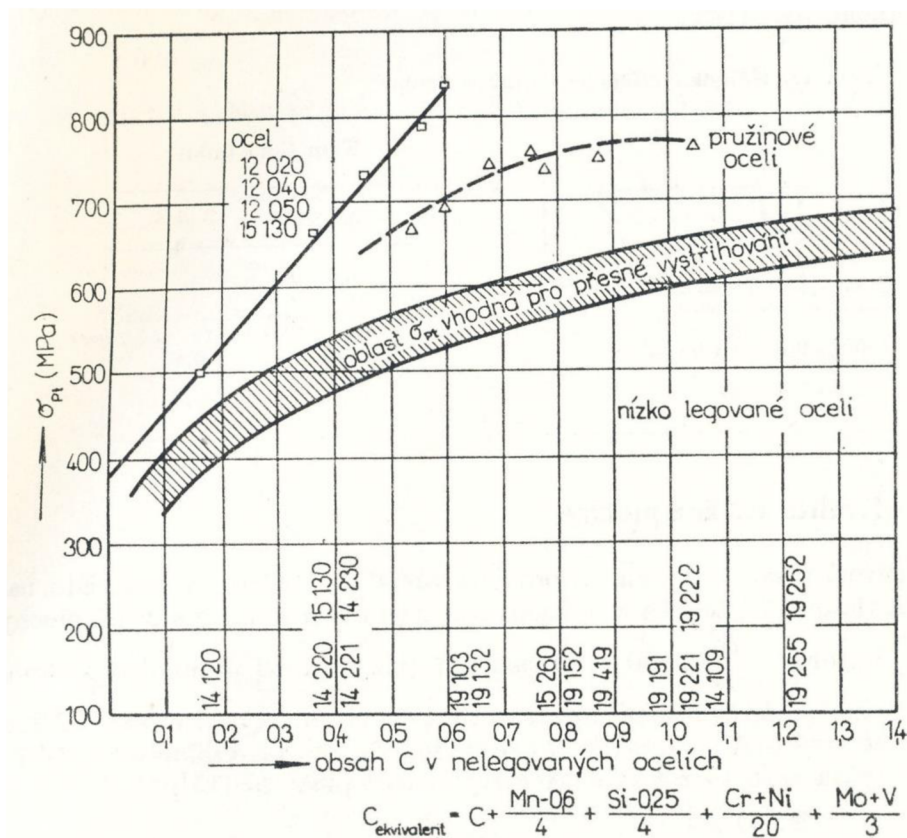
- Příloha 1 Oceli vhodné pro přesné vystřihování/přistřihování [12]  
Tabulka druhů oceli používané pro přesné vystřihování/přistřihování [12]
- Příloha 2 Tabulky pro určení střížného odporu „ $\tau_s$ “ (v tabulce jako „ $k_s$ “) pro neželezné materiály [1]
- Příloha 3 Renderový snímek zadané součásti

## SEZNAM VÝKRESŮ

- Krytka (požadavek) BP-01-162007
- Krytka (zadání) BP-02-162007

*Uvedené výkresové dokumentace mají spíše informativní charakter.*

Oceli vhodné pro přesné vystřihování/přistřihování [12].



Tabulka druhů oceli používané pro přesné vystřihování/přistřihování [12].

Ocel	Chemické složení							Mechanické vlastnosti
	C	Mn	Si	Cr	Ni	P	S	
11 300.20	0,09	—	—	—	—	0,040	0,040	340/220
11 320.21	0,11	—	—	—	—	0,045	0,045	400/180
11 330.30	0,13	—	—	—	—	0,050	0,050	400/300
11 343.20	0,17	—	—	—	—	0,050	0,050	420/190
11 373.20	0,22	—	—	—	—	0,050	0,050	420/210
11 423.21	0,24	—	—	—	—	0,050	0,050	520/230
11 700.20	0,65	—	—	—	—	0,055	0,055	780/380
12 010.1	0,14	0,65	0,37	0,15	0,30	0,040	0,040	400/230
12 014.1	0,06	0,45	0,15	—	—	0,020	0,020	450/350
12 020.1	0,13	0,60	0,17	0,35	0,30	0,040	0,040	420/260
12 023.1	0,19	0,65	0,37	0,25	0,30	0,040	0,040	370/220
12 024.1	0,24	0,65	0,37	—	—	0,040	0,040	400/240
12 040.1	0,40	0,80	0,37	0,25	0,30	0,040	0,040	400/290
12 050.1	0,50	0,80	0,37	0,25	0,30	0,040	0,040	550/300
12 060.1	0,60	0,80	0,37	0,25	0,30	0,040	0,040	610/350
12 061.1	0,65	0,80	0,37	0,25	0,30	0,040	0,040	670/390
13 180.0	0,80	1,20	0,35	0,30	0,40	0,035	0,040	—
14 109.3	1,10	0,50	0,35	1,65	0,30	0,027	0,030	740/—
14 180.0	0,80	0,50	0,35	0,60	—	0,030	0,030	1 150/—
14 220.0	0,19	1,40	0,37	1,10	—	0,035	0,035	—
14 260.3	0,60	0,80	1,60	0,70	0,50	0,035	0,035	—
16 221.0	0,19	1,0	0,37	0,20	1,50	0,035	0,035	—
17 242	0,25	2,0	1,0	20,0	11,5	0,045	0,030	—
17 024	0,45	0,90	0,70	14,0	—	0,040	0,035	—
19 192	1,05	0,40	0,35	0,20	0,25	0,030	0,035	—
19 312.3	0,85	2,15	0,35	0,25	0,35	0,030	0,035	—
19 452.3	0,65	0,90	1,90	1,0	0,35	0,030	0,035	—

Tabulky pro určení střížného odporu „ $\tau_s$ “ (v tabulce jako „ $k_s$ “) pro neželezné materiály [1].

Tab. 2b. Pevnostní hodnoty lehkých a neželezných kovů

Druh materiálu	Označení materiálu ČSN	Střížný odpor $k_s$ (MPa)	Pevnost v tahu $\sigma_{Pt}$ (MPa)
Slitina hliníku	42 4057.1	50 až 70	max. 110
	42 4412.1	110 až 120	max. 230
	42 4451.1	60 až 80	max. 150
	42 4201.1	110 až 130	max. 230
	42 4203.1	120 až 130	max. 240
	42 4253.6	260 až 280	420
Mosaz	42 3212.1	260	300
	42 3212.2	300	350
	42 3212.3	340	400
	42 3234.1	340	400
	42 3256.1	300	350
	42 3256.3	430	500
Bronz	42 3016.1	300	350
	42 3016.2	350	400
	42 3016.3	430	500
	42 3016.4	520	600
Měď	42 3001.1	180	200
	42 3001.3	260	300
	42 3005.1	180	210
Zinek		120 až 200	140 až 230

Tab. 2c. Pevnostní hodnoty plastů

Materiál	Střížný odpor $k_s$ (MPa)	Pevnost v tahu $\sigma_{Pt}$ (MPa)
Fibr obyčejný	120	
Papír obyčejný	20 až 30	
Lepenka	30 až 60	30 až 60
Tvrzený papír	80 až 110	80 až 130
Tvrzené tkaniny	80 až 150	90 až 135
Pertinax	70 až 80	40 až 30
Mikanit	100	18 až 20
Pryž	6 až 10	
Kůže	54	

Renderový snímek zadané součásti

