

# Technická příprava výroby sdruženého tvářecího nástroje

Bc. Marek Holčák

---

Diplomová práce  
2010



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně  
Fakulta technologická

---

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně

Fakulta technologická

Ústav výrobního inženýrství

akademický rok: 2009/2010

## ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Bc. Marek HOLČÁK**

Studijní program: **N 3909 Procesní inženýrství**

Studijní obor: **Výrobní inženýrství**

Téma práce: **Technická příprava výroby sduženého tvářecího nástroje**

Zásady pro vypracování:

- 1) Hodnoťte teorii a technologii tváření
- 2) Vypracujte konstrukční a technologickou dokumentaci nástroje
- 3) Experimentálně určete průběh stříhání a ražení
- 4) Proveďte ekonomické hodnocení projektu



Rozsah práce:

Rozsah příloh:

Forma zpracování diplomové práce: **tištěná/elektronická**

Seznam odborné literatury:

- **BLAŠČÍK, František, POLÁK, Karol. Teória tvárnenia. 1. vyd. Bratislava : Alfa – vydavateľstvo technickej a ekonomickej literatúry Bratislava, SNTL – Nakladateľství technické literatury Praha, 1985. 376 s.**
- **BOBČÍK, Ladislav. Střížné nástroje pro malosériovou výrobu. 1. vyd. Praha : SNTL – Nakladatelství technické literatury Praha, 1983. 216 s.**
- **FOREJT, Milan, PÍŠKA, Miroslav. Teorie obrábění, tváření a nástroje. 1. vyd. Brno : Akademické nakladatelství CERM Brno, 2006. 226 s. ISBN 80-214-2374-9.**
- **NESLUŠAN, Miroslav, et al. Experimentálne metódy v trieskovom obrábaní. 1. vyd. Žilina : Žilinská univerzita v Žiline, 2007. 343 s. ISBN 978-80-8070-711-8.**

Vedoucí diplomové práce: **doc. Ing. Imrich Lukovics, CSc.**  
Ústav výrobního inženýrství

Datum zadání diplomové práce: **19. února 2010**

Termín odevzdání diplomové práce: **19. května 2010**

Ve Zlíně dne 22. ledna 2010

doc. Ing. Petr Hlaváček, CSc.  
*děkan*



doc. Ing. Miroslav Maňas, CSc.  
*vedoucí katedry*



Příjmení a jméno: HOLCÁK MAZEK

Obor: ÚZROBNÍ INŽENÝRSTVÍ

## PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že

- beru na vědomí, že odevzdáním diplomové/bakalářské práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb. o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších právních předpisů, bez ohledu na výsledek obhajoby <sup>1)</sup>;
- beru na vědomí, že diplomová/bakalářská práce bude uložena v elektronické podobě v univerzitním informačním systému dostupná k nahlédnutí, že jeden výtisk diplomové/bakalářské práce bude uložen na příslušném ústavu Fakulty technologické UTB ve Zlíně a jeden výtisk bude uložen u vedoucího práce;
- byl/a jsem seznámen/a s tím, že na moji diplomovou/bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, zejm. § 35 odst. 3 <sup>2)</sup>;
- beru na vědomí, že podle § 60 <sup>3)</sup> odst. 1 autorského zákona má UTB ve Zlíně právo na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona;
- beru na vědomí, že podle § 60 <sup>3)</sup> odst. 2 a 3 mohu užít své dílo – diplomovou/bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití jen s předchozím písemným souhlasem Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše);
- beru na vědomí, že pokud bylo k vypracování diplomové/bakalářské práce využito softwaru poskytnutého Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně nebo jinými subjekty pouze ke studijním a výzkumným účelům (tedy pouze k nekomerčnímu využití), nelze výsledky diplomové/bakalářské práce využít ke komerčním účelům;
- beru na vědomí, že pokud je výstupem diplomové/bakalářské práce jakýkoliv softwarový produkt, považují se za součást práce rovněž i zdrojové kódy, popř. soubory, ze kterých se projekt skládá. Neodevzdání této součásti může být důvodem k neobhájení práce.

Ve Zlíně 10.5.2010

  
.....

<sup>1)</sup> zákon č. 111/1998 Sb. o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších právních předpisů, § 47 Zveřejňování závěrečných prací:

(1) Vysoká škola nevydělečně zveřejňuje disertační, diplomové, bakalářské a rigorózní práce, u kterých proběhla obhajoba, včetně posudků oponentů a výsledku obhajoby prostřednictvím databáze kvalifikačních prací, kterou spravuje. Způsob zveřejnění stanoví vnitřní předpis vysoké školy.

(2) Disertační, diplomové, bakalářské a rigorózní práce odevzdané uchazečem k obhajobě musí být též nejméně pět pracovních dnů před konáním obhajoby zveřejněny k nahlížení veřejnosti v místě určeném vnitřním předpisem vysoké školy nebo není-li tak určeno, v místě pracoviště vysoké školy, kde se má konat obhajoba práce. Každý si může ze zveřejněné práce pořizovat na své náklady výpisy, opisy nebo rozmnoženiny.

(3) Platí, že odevzdáním práce autor souhlasí se zveřejněním své práce podle tohoto zákona, bez ohledu na výsledek obhajoby.

<sup>2)</sup> zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, § 35 odst. 3:

(3) Do práva autorského také nezasahuje škola nebo školské či vzdělávací zařízení, užije-li nikoli za účelem přímého nebo nepřímého hospodářského nebo obchodního prospěchu k výuce nebo k vlastní potřebě dílo vytvořené žákem nebo studentem ke splnění školních nebo studijních povinností vyplývajících z jeho právního vztahu ke škole nebo školskému či vzdělávacímu zařízení (školní dílo).

<sup>3)</sup> zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, § 60 Školní dílo:

(1) Škola nebo školské či vzdělávací zařízení mají za obvyklých podmínek právo na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla (§ 35 odst. 3). Odpírá-li autor takového díla udělit svolení bez vážného důvodu, mohou se tyto osoby domáhat nahrazení chybějícího projevu jeho vůle u soudu. Ustanovení § 35 odst. 3 zůstává nedotčeno.

(2) Není-li sjednáno jinak, může autor školního díla své dílo užít či poskytnout jinému licenci, není-li to v rozporu s oprávněnými zájmy školy nebo školského či vzdělávacího zařízení.

(3) Škola nebo školské či vzdělávací zařízení jsou oprávněny požadovat, aby jim autor školního díla z výdělku jím dosaženého v souvislosti s užitím díla či poskytnutím licence podle odstavce 2 přiměřeně přispěl na úhradu nákladů, které na vytvoření díla vynaložily, a to podle okolností až do jejich skutečné výše; přitom se přihlédne k výši výdělku dosaženého školou nebo školským či vzdělávacím zařízením z užití školního díla podle odstavce 1.

## **ABSTRAKT**

Cílem této diplomové práce je konstrukce, technologie, ekonomické hodnocení sdruženého tvářecího nástroje pro součást z oblasti elektrotechnického průmyslu – kontakt a také konstrukce laboratorního nástroje sloužícího k měření střížných a razících sil. Co se sdruženého tvářecího nástroje týče, výrobek bude realizován v deseti krocích. Mezi kroky výrobní jsou zahrnuty i kroky technologické sloužící např. k přesnému středění pásu plechu. Výrobek bude dále povrchově upraven pocínováním či postříbřením.

Klíčová slova: tváření, stříhání, ohýbání, ražení, sdružený tvářecí nástroj

## **ABSTRACT**

The target of this Master thesis is construction, technology, economic value of a combined forming tool for a constituent from the electrotechnical industry line – contact and a construction of a laboratory tool, which we use to measuring of cutting and stamping force. As to the combined forming tool, product will be realized with ten steps. There are involved technology steps among production steps. We use theirs for instance to the precise centring of the sheet – iron strip. The product will be treated by tinning and silvering.

Keywords: forming, cutting, bending, stamping, combined forming tool

## **Poděkování**

Úvodem chci poděkovat svému otci Aloisovi Holčákovi a Ing. Josefovi Foukalovi za technické rady, obrovskou pomoc a obětavost při zpracovávání této diplomové práce. Dále chci poděkovat vedoucímu své diplomové práce Prof. Ing. Imrichovi Lukovicovi, CSc. za konzultace spojené s touto prací.

## **Motto**

*Složité věci mívají většinou jednoduchá řešení*

Prohlašuji, že odevzdaná verze diplomové práce a verze elektronická nahraná do IS/STAG jsou totožné.

Ve Zlíně 10.5.2010

.....

Podpis diplomanta

# OBSAH

<b>ÚVOD</b> .....	<b>11</b>
<b>I TEORETICKÁ ČÁST</b> .....	<b>12</b>
<b>1 TVÁŘENÍ</b> .....	<b>13</b>
1.1 PRINCIP TVÁŘENÍ .....	13
1.1.1 Krystalická stavba kovů .....	14
1.1.2 Mechanismy plastické deformace .....	15
1.2 DEFORMAČNÍ ZPEVNĚNÍ .....	16
1.3 ZOTAVOVÁNÍ.....	18
1.4 REKRYSTALIZACE .....	18
1.5 DEFORMAČNÍ ODPEVNĚNÍ.....	19
1.6 DEFORMAČNÍ STÁRNUTÍ .....	19
1.7 POJMY Z OBLASTI TVÁŘENÍ.....	20
1.7.1 Plasticita .....	20
1.7.2 Tvářitelnost.....	20
1.8 ROZDĚLENÍ TVÁŘECÍCH PROCESŮ .....	21
1.9 ZÁKONITOSTI TVÁŘENÍ .....	26
1.9.1 Zákon stálosti objemu .....	26
1.9.2 Zákon nejmenšího odporu .....	26
1.9.3 Zákon neodlučitelnosti elastických deformací .....	27
1.9.4 Ostatní zákony .....	27
1.10 DOPROVODNÍ JEVY PLASTICKÉ DEFORMACE.....	27
<b>2 STRÍHÁNÍ</b> .....	<b>28</b>
2.1 PRINCIP STRÍHÁNÍ.....	28
2.2 STRÍHACÍ OPERACE.....	30
2.3 ZÁKLADNÍ POJMY .....	30
2.3.1 Střížný odpor .....	30
2.3.2 Střížná síla .....	31
2.3.3 Střížná práce .....	33
2.3.4 Stírací a protlačovací síla.....	34
2.3.5 Střížná vůle.....	36
2.4 NÁSTRÍHOVÝ PLÁN.....	37
2.5 KVALITA STRÍŽNÉ PLOCHY A PŘESNOST VÝSTŘÍŽKŮ .....	39
2.5.1 Kvalita střížné plochy .....	39
2.5.2 Přesnost výstřížků .....	40
<b>3 OHÝBÁNÍ</b> .....	<b>41</b>



3.1	PRINCIP OHÝBÁNÍ.....	41
3.2	OHÝBACÍ OPERACE.....	42
3.3	ZÁKLADNÍ POJMY.....	43
3.3.1	Rozvinutá délka .....	43
3.3.2	Nejmenší poloměr ohybu.....	44
3.3.3	Nejmenší vzdálenost hrany od ohybu.....	44
3.3.4	Odpružení.....	45
3.3.5	Ohýbací síla .....	47
3.3.6	Přidržovací síla.....	48
3.3.7	Ohýbací práce .....	48
<b>4</b>	<b>RAŽENÍ.....</b>	<b>49</b>
4.1	PRINCIP RAŽENÍ.....	49
4.2	ZÁKLADNÍ POJMY.....	49
4.2.1	Tvárnost .....	49
4.2.2	Razicí síla.....	50
<b>5</b>	<b>MĚŘENÍ TVÁŘECÍCH SIL .....</b>	<b>52</b>
<b>6</b>	<b>ZÁVĚR TEORETICKÉ ČÁSTI.....</b>	<b>54</b>
<b>II</b>	<b>PRAKTICKÁ ČÁST .....</b>	<b>55</b>
<b>7</b>	<b>KONSTRUKCE SDRUŽENÉHO TVÁŘECÍHO NÁSTROJE .....</b>	<b>56</b>
7.1	VÝROBEK .....	56
7.2	VÝROBNÍ POŽADAVKY .....	56
7.3	NÁSTŘIHOVÝ PLÁN.....	57
7.4	VÝPOČET VYUŽITÍ PLECHU.....	57
7.5	STŘIŽNÁ VŮLE.....	58
7.6	VÝPOČET SIL.....	58
7.6.1	Výpočet střižných sil.....	58
7.6.2	Výpočet stírací síly.....	59
7.6.3	Výpočet protlačovací síly .....	59
7.6.4	Výpočet ohýbacích a kalibrovacích sil .....	60
7.6.5	Výpočet razicích sil.....	60
7.6.6	Výpočet síly vyvinuté pružinami.....	60
7.6.7	Výpočet síly lisu.....	60
7.6.8	Výpočet těžiště pro umístění stopky.....	61
7.7	PŘEHLED A POPIS SOUČÁSTÍ NÁSTROJE.....	62
7.7.1	Spodní část nástroje .....	62
7.7.2	Horní část nástroje .....	65
7.7.3	Sestava nástroje .....	66
7.8	EKONOMICKÉ HODNOCENÍ PROJEKTU.....	67
<b>8</b>	<b>LABORATORNÍ NÁSTROJ.....</b>	<b>69</b>

8.1	STŘIŽNÁ VŮLE.....	70
8.2	VÝPOČET SIL.....	70
8.2.1	Výpočet střížné síly.....	70
8.2.2	Výpočet stírací síly.....	70
8.2.3	Výpočet protlačovací síly.....	71
8.2.4	Výpočet razicí síly.....	71
8.2.5	Výpočet síly lisu.....	71
8.3	POPIS LABORATORNÍHO NÁSTROJE.....	72
8.4	EXPERIMENTÁLNÍ URČENÍ PRŮBĚHU STRÍHÁNÍ A RAŽENÍ.....	74
	<b>ZÁVĚR .....</b>	<b>76</b>
	<b>SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY.....</b>	<b>78</b>
	<b>SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK.....</b>	<b>79</b>
	<b>SEZNAM OBRÁZKŮ.....</b>	<b>82</b>
	<b>SEZNAM TABULEK .....</b>	<b>84</b>
	<b>SEZNAM PŘÍLOH .....</b>	<b>85</b>

## ÚVOD

Mnoho strojírenských firem spolupracuje mimo jiné i s firmami z oblasti elektrotechnického průmyslu. Spolupráce spočívá v tom, že strojírenské firmy vyrábí a dodávají firmám elektrotechnickým různé krabice a pouzdra přístrojů, vyrábí jim nástroje pro výrobu nejrůznějších kontaktů a podobně.

Tato práce se zabývá technickou přípravou výroby a ekonomickým hodnocením sdruženého tvářecího nástroje právě pro výrobu elektrotechnických kontaktů. Zadavatelem je staroměstská strojírenská firma C.S.O. spol. s r.o., která s firmami z elektrotechnického průmyslu také spolupracuje.

Jak již bylo zmíněno, kontakt bude vyráběn pomocí sdruženého tvářecího nástroje zahrnujícího tvářecí operace jako je stříhání, ražení a ohýbání. Jelikož budou mít výrobky mírné ostříny, které by mohly být dále nežádoucí, bude využito technologie omílání k jejich odstranění. Materiálem pro daný výrobek bude cínový bronz CuSn6 (ČSN 42 3016), který se v podobných případech používá. Nakonec bude výrobek povrchově upraven pocínováním, nebo postříbřením.

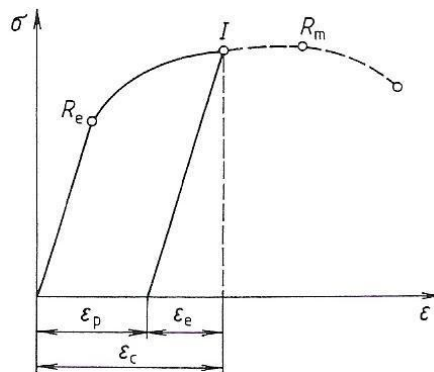
Dále se práce zabývá konstrukcí laboratorního nástroje sloužícího k měření střížných a razicích sil. Nástroj umožňuje výměnu střížníku a střížnice za razník a raznici, a také přebroušování tvářecích prvků. Nástroj je konstruován pro vstupní materiál, kterým je ocelový plech 11 373 a tloušťce 1 mm, ale je zde i jistá možnost použití materiálů a jejich tloušťek jiných, v některých případech však vyžadujících úpravy nástroje.

## I. TEORETICKÁ ČÁST

# 1 TVÁŘENÍ

## 1.1 Princip tváření

Zatížení kovových materiálů vyvolá deformaci  $\varepsilon_C$ . Tato deformace se skládá ze dvou dílčích deformací – deformace elastické  $\varepsilon_E$  (vratné) a deformace plastické  $\varepsilon_P$  (trvalé). Pro tváření jsou nejdůležitější deformace plastické, tedy trvalé. Na tomto obrázku [7] jsou na trhacím diagramu znázorněny zmiňované deformace.

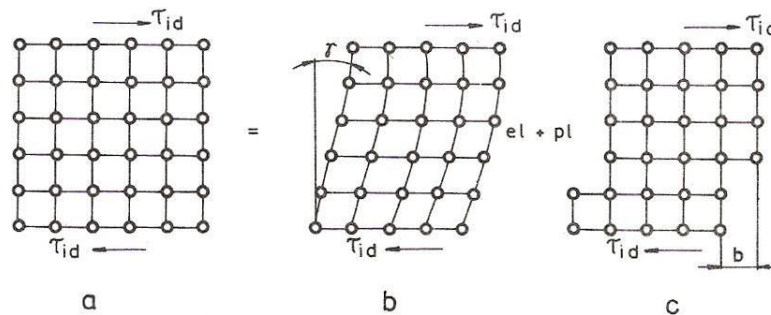


Obr. 1. Závislost deformačního napětí na deformaci

Platí tedy:

$$\varepsilon_C = \varepsilon_E + \varepsilon_P \quad (1)$$

Na níže uvedeném obrázku jsou znázorněny elasticko – plastické deformace ideálního krystalu, tj. krystalu s rovnovážnou polohou atomů bez poruch (s periodickým uspořádáním). [1]



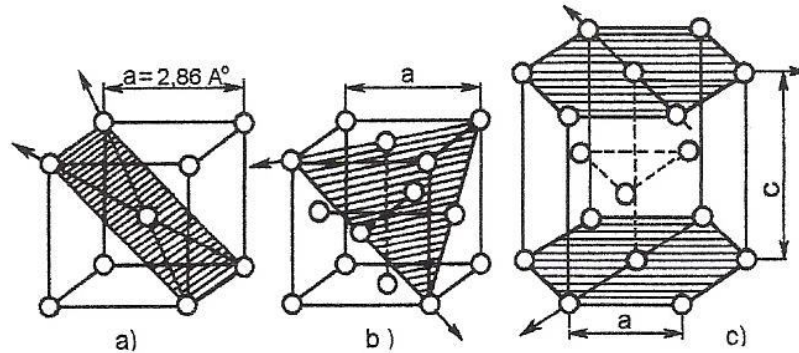
Obr. 2. Elasticko - plastická deformace ideálního krystalu

a – zatížení smykem; b – elastická deformace; c – plastická deformace



### 1.1.1 Krystalická stavba kovů

Atomy kovů jsou uspořádány v krystalových mřížkách. Tyto mřížky mají pravidelné geometrické uspořádání s nejnižší hladinou energie. Většina technických kovů krystalizuje v soustavě krychlové nebo šesterečné. Mřížky a jejich kluzné roviny (roviny obsazené nej hustěji atomy) jsou znázorněny na obrázku níže. [8]



Obr. 3. Základní typy krystalových mřížek s příklady skluzových rovin a směrů

V krychlové prostorově středěné mřížce krystalizuje např. [8]:

- Železo  $\alpha$
- Železo  $\delta$
- Chrom
- Wolfram
- Molybden
- Tantal

V krychlové plošně středěné:

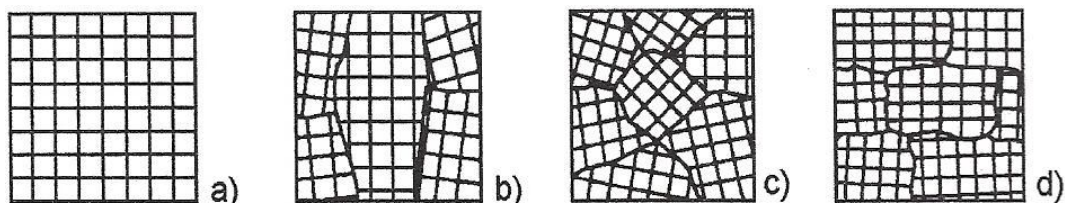
- Měď
- Hliník
- Olovo
- Stříbro
- Nikl

- Platina
- Železo  $\gamma$

V šesterečné mřížce:

- Hořčík
- Zinek
- Titan
- Kobalt
- Berylium

Na tomto obrázku [8] jsou schémata uspořádání krystalů:



Obr. 4. Schémata uspořádání krystalů

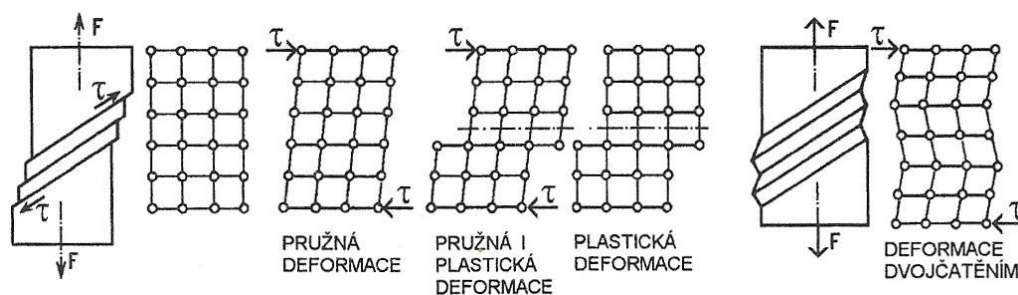
a – monokrystal; b – mozaikový krystal; c – polykrystal; d – polykrystal s texturou

U monokrystalu je objem kovu tvořen jedním krystalem. Zpravidla ani vnitřní stavba monokrystalů není ideálně pravidelná a jednotlivá subzrna tvoří tzv. strukturu mozaikovou. Reálné kovy a slitiny jsou polykrystalické, tvořené shlukem různě orientovaných zrn, s kvaziizotropními vlastnostmi, (např. mechanickými). Volbou vhodné technologie tváření za studena můžeme dosáhnout přednostní orientace mřížky v jednotlivých zrnech s výraznou anizotropií vlastností, tzv. texturu. [8]

### 1.1.2 Mechanismy plastické deformace

Hlavním znakem plastické deformace je nevratnost děje při zachování krystalické struktury kovu. Deformace mohou nastat buď na hranicích nebo uvnitř zrn. Existují proto pouze dva mechanismy plastické deformace. Jsou to skluz a dvojčatění. Převažujícím mechanismem plastické deformace je skluz. [8]

Na tomto obrázku [8] je pro ilustraci schématicky znázorněna pružná a plastická deformace monokrystalu skluzem a dvojčatěním.



Obr. 5. Pružná a plastická deformace monokrystalu skluzem a dvojčatěním

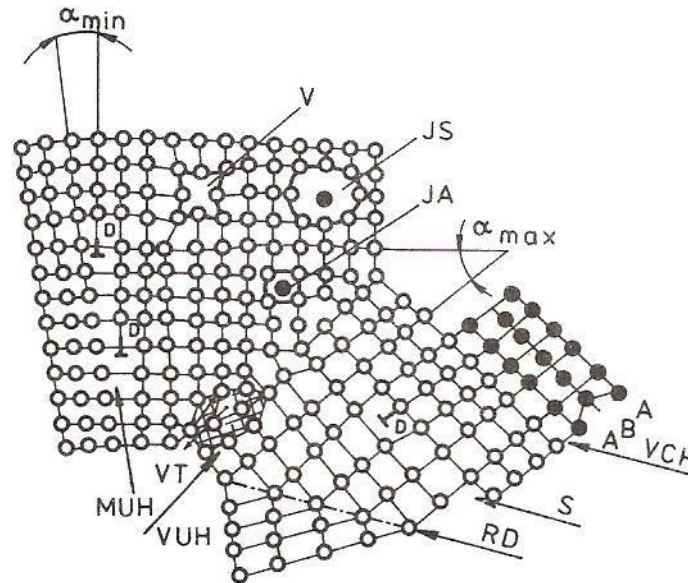
Deformace polykrystalického kovu jsou mnohem složitější a mění se od jednoho zrna ke druhému. Protože roviny kluzu v sousedních zrnech nejsou spolu rovnoběžné (rozličná orientace sousedních zrn), kluz se při přechodu přes hranice jednotlivých zrn zpomaluje (naráží na překážku). Tím se odpor při deformaci zvětšuje. [10]

## 1.2 Deformační zpevnění

Zpevnění se projevuje narůstajícím odporem materiálu proti přetvoření. Tento proces převládá při tváření za studena při teplotách  $T \leq 0,3 \cdot T_{TAVENI} [K]$ . [8]

Plastická deformace není podmíněna ideální mřížkou, ale hustotou a rozložením poruch krystalové mřížky. [2]

Příklady poruch jsou patrné z obrázku [1]:



Obr. 6. Poruchy v kovech

V – vakance; JS, JA – interstice (substituční, adiční); D – dislokace; MUH - malouhlové hranice; VUH – velkouhlové hranice; S – stupně; RD – roviny dvojčatění; VCH – vrstevové chyby; VT – vměstky

Tak například při tváření monokrystalu za studena je řídicím mechanismem plastické deformace většinou skluzový proces, jehož nositelem jsou pohyblivé dislokace. Vše, co brzdí pohyb, nebo způsobí zastavení dislokací se projeví vzrůstem elasticity na úkor plasticity. Na další plastické deformace potřebujeme stále větší vnější napětí. [1]

Deformační zpevnění se projeví zvýšením pevnosti, tvrdosti a meze kluzu, zatímco tažnost a houževnatost klesá. [5]

Při tváření za studena se jednotlivá zrna tvářením protahují ve směru tváření. Přitom se usměrňují jejich krystalografické osy v jednom směru a vzniká takzvaná textura. Toto uspořádání způsobuje, že mechanické vlastnosti materiálu v různých směrech jsou různé, což se nazývá anizotropií mechanických vlastností. [5]

Část deformační energie při tváření za studena se akumuluje v atomové mřížce kovu větší hustotou dislokací. Atomy v okolí dislokace mají vyšší energii než atomy v pravidelně uspořádané mřížce. Proto kov v deformovaném stavu je termodynamicky nestabilní a má snahu

vrátit se do stabilnějšího stavu, to je do stavu s atomovou mřížkou o menším množství dislokací a pravidelněji uspořádanou. Jakmile se však zvýší teplota kovu tvářeného za studena nad určitou mez, začne nejprve probíhat děj zotavování a při dalším zvyšování teploty nastává rekrytalizace. [5]

### 1.3 Zotavování

Zotavování – probíhá za poměrně nízkých teplot (1/3 až 1/4 teploty tavení daného kovu), čas výdrže na teplotě zotavování je velice krátký. Mechanické vlastnosti ani vzhled mikrostruktury (ani velikost a tvar zrn) se zotavením prakticky nemění. Zotavením se především snižují vnitřní napětí a zvyšují některé fyzikální vlastnosti, např. elektrická vodivost. [5]

### 1.4 Rekrytalizace

Vzniká u kovů tvářených za studena při následujícím ohřevu na teplotu vyšší než je teplota zotavení. Vznikají nová zrna, která mají pravidelnější tvar, nejsou protažena ve směru tvářením jako zrna původní. Vlastnosti kovu jsou tedy po rekrytalizaci podobné jeho vlastnostem před tvářením za studena. [5]

Proces rekrytalizace závisí [8]:

- Na původní velikosti přetvoření (s růstem deformace roste i termodynamická nestabilita kovu a tím se snižuje teplota potřebná k rekrytalizaci)
- Na teplotě (s rostoucí teplotou exponenciálně roste i rychlost rekrytalizace a snižuje se potřebný čas k jejímu uskutečnění)
- Na chemickém složení (s rostoucí čistotou kovu klesá rekrytalizační teplota. Nečistoty brzdí pohyb dislokací)

#### Sekundární rekrytalizace

Sekundární rekrytalizace nastává po ukončení primární rekrytalizace dalším žháním a je způsobena zmenšováním volné energie na hranicích zrn. Hranice zrn se napřimují, malá zrna se zmenšují a velká rostou. Celková plocha zrn se zmenšuje. Po velké deformaci a za vyšších teplot žháním jsou některé kovy po primární rekrytalizaci náchylné k nápadně velkému růstu zrn. [8]



## 1.5 Deformační odpevnění

Opevnění je buď částečné, nebo úplné odstranění příčin zpevnění a je závislé na teplotě a čase. Může probíhat současně se zpevňováním s určitým časovým zpožděním nebo následně po uskutečněném ohřevu po tváření. Při teplotách  $T \geq 0,7 \cdot T_{TAVENI} [K]$  je podíl opevnění tak významný, že se mechanické a fyzikální vlastnosti kovů v průběhu tváření za tepla v podstatě nezmění. Proces zpevnění je eliminován procesem opevnění. Při tváření za studena je často nutné vrátit kov jeho původní vlastnosti z těchto hlavních důvodů.

- Potřebujeme uskutečnit další tvářecí operace bez nebezpečí vyčerpání plasticity. (např. před dalším tahem při hlubokém tažení nebo před další operací objemového tváření složitých součástí), a proto provádíme mezioperační žíhání.
- Máme obnovit nebo dosáhnout optimálních fyzikálních vlastností (např. elektrickou vodivost).

Po tváření za studena je v krystalické mřížce akumulována značná část deformační energie a tvářený materiál je značně termodynamicky nestabilní. Návrat do stavu s nižší volnou energií nemůže nastat samovolně, ale cestou tepelně aktivovaných dějů. [8]

## 1.6 Deformační stárnutí

Je způsobeno interakcí intersticiálně uložených cizích atomů v mřížce. Atomy dusíku a uhlíku se snaží difúzní cestou zaujmout energeticky nejvýhodnější polohu a přemisťují se do okolí dislokací, kde se hromadí.

Průběh stárnutí je závislý na přítomnosti a množství cizích atomů a vzhledem k difúznímu charakteru děje i na teplotě. Jinak řečeno; při stárnutí oceli tvářené za studena blokuje volné dislokace atomy dusíku a uhlíku rozpuštěné ve feritu. Ke stárnutí jsou náchylné nízkouhlíkové oceli s vyšším obsahem dusíku. Následný ohřev po tváření na 200 až 250 °C proces stárnutí urychluje.

Nežádoucí vliv stárnutí na tvářitelnost je možné odstranit buď snížením obsahu dusíku v oceli (tj. vázat ho chemicky na prvky s vyšší afinitou – Al, V, Ti, B) nebo provedením malé plastické deformace k uvolnění dislokací, například válcováním za studena s malým úběrem kolem 1 %, střídavým ohybem na rovnacích kladkách apod. [8]

Tento proces se označuje jako renovace (obnova schopnosti materiálu se tvářet).

## 1.7 Pojmy z oblasti tváření

### 1.7.1 Plasticita

Plasticita je velikost plastické deformace, kterou je např. zkušební vzorek (kov) schopen snést, než dojde k jeho porušení. Hodnocení plasticity probíhá z hlediska kvalitativního, nebo kvantitativního. Kvalitativně se plasticita hodnotí odvozenými všeobecnými a od podmínek deformace nezávislými ukazateli a kvantitativně se hodnotí naměřenými charakteristickými materiálovými hodnotami a odvozenými vztahy ve smluvních zkušebních podmínkách. [1]

### 1.7.2 Tvářitelnost

Je to schopnost překonat trvalou změnu, aniž by došlo k porušení tělesa v konkrétních a podmíněných technologických podmínkách. Hodnotí se komplexními složitými a jednotlivými ukazateli, které jsou odvozeny z kvalitativních a kvantitativních charakteristik ze základních (tah, tlak) a napodobňujících zkoušek (technologické). [1]

Technologické zkoušky mají za úkol se co nejvíce přiblížit podmínkám skutečných technologických metod, jelikož ne všechny vlivy se dají vystihnout zkouškami základními (jako je tah, tlak, ohyb apod.). Pokud by se totiž vzala např. tahová zkouška, která se uskutečňuje za smluvních podmínek (rozměry vzorku, jednoosý stav napjatosti, pokojová teplota, absence tření...) a chtěl by se z ní použít odhad tvářitelnosti do např. technologie hlubokého tažení, zjistilo by se, že se podstatně změnily všechny podmínky a nejvíce stav napjatosti. [1]

Proto se objevují různé zkoušky, které jsou bližší skutečným podmínkám a které nám zajistí přesnější ukazatel tvářitelnosti. Pro ilustraci je přiložen výpis některých zkoušek pro různé technologie [1].

Pro technologii tažení:

- Zkouška klínová
- Zkouška hloubením, hloubením s otvorem
- Zkouška rozšiřováním otvoru
- Zkouška kalíškovací, kalíškovací s přidržením příruby, kalíškovací rázová

- Zkouška hydraulická membránová

Pro technologii ohýbání:

- Zkouška silou
- Zkouška ohybem
- Zkouška střídavým ohybem
- Zkouška překládáním s vložkou, bez vložky, vícenásobným přeložením

Pro technologii stříhání:

- Zkouška stříhem
- Zkouška dvojitým stříhem
- Zkouška vystřihováním

Existuje však ještě řada dalších zkoušek např. pro technologii kování.

## 1.8 Rozdělení tvářecích procesů

Tvářecí procesy, můžeme rozdělit podle různých hledisek [2].

Podle stavu napjatosti:

- Tváření plošné – proces, u něhož trvalá změna probíhá za stavu rovinné nebo přibližně rovinné napjatosti (tváření plechu).
- Tváření objemové – trvalá změna ve stavu prostorové napjatosti.

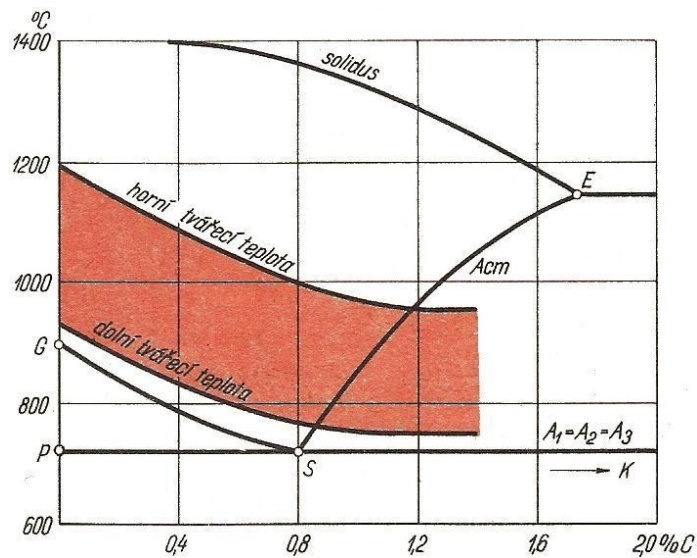
Podle změn probíhajících v materiálu:

- Tváření za studena – tváření pod rekrystalizační teplotou.
- Tváření za tepla (kování) – tváření v oblasti teplot nad rekrystalizační teplotou.

Tváření za studena – probíhá za teplot, které jsou výrazně nižší, než je teplota rekrystalizace. V průběhu technologických operací probíhá proces zpevňování a tvoří se deformační textura. K obnovení plasticity kovů a případně ke zjemnění struktury se používá rekrystalizačního žhání. [8]

Tváření za tepla – probíhá za teplot, které jsou vyšší, než je teplota rekrytalizace. Současně probíhá primární rekrytalizace a opakované obnovování tvaru zrna umožňuje prakticky neomezené přetvoření. (Pro uhlíkové oceli je rozmezí tvářecích – kovacích teplot od 900 °C do 1 300 °C.) [8]

Na tomto obrázku [11] je znázorněn rozsah tvářecích teplot u uhlíkových ocelí:



Obr. 7. Rozsah tvářecích teplot u uhlíkových ocelí

Výhody a nevýhody tváření za tepla [8]:

Výhody:

- Malé přetvárné odpory za vysokých teplot tváření, které se s rostoucím stupněm přetvoření nemění
- Obnova a dynamické odpevnění vláknité struktury
- Potřeba menších tvářecích sil a tím i menší přetvárné práce
- Menší silové namáhání nástroje

Nevýhody:

- Velká spotřeba energie na ohřev, vyšší investiční náklady
- Značné tepelné namáhání nástroje a stroje
- Menší tvarová a rozměrová přesnost (větší přídavky)
- Horší kvalita oduhličeného a okujeného povrchu
- Menší využití materiálu?
- Vlákňitá struktura výkovku s rozdílnými mechanickými vlastnostmi podél a napříč

Pozn.: Literatura [8] ještě uvádí „Tváření za částečného ohřevu – poloohřevu (probíhá při teplotách, kdy dochází k tepelně aktivovanému pohybu dislokací a ke snížení jejich hustoty – anihilací. Tento proces zotavování nastává již při nižších teplotách. (K zmenšení počtu dislokací dochází tehdy, když se v jedné skluzové rovině setkají dvě dislokace s opačným směrem. Tím obě dislokace zmizí. [5]). U nízkouhlíkových ocelí se při 200 °C zvýší tažnost asi o 20 až 30 % proti výchozím hodnotám tváření za studena. Teplota je nižší než teplota rekystalizace, a proto je tvářecí děj doprovázen deformačním zpevněním při menších hodnotách přetvárných odporů. [8]



Termíny tváření za tepla či za studena však mohou být zavádějící, protože pro některý druh materiálu se může jednat o tváření za tepla, i když nebyl proveden ohřev (např. u olova).

Proto je pro představu k dispozici tabulka [7] teplot tavení a minimálních rekrystalizačních teplot některých kovů.

	$T_{\text{REK min}}$ [°C]	$T_{\text{TAV}}$ [°C]
<b>Cín</b>	0	232
<b>Olovo</b>	0	327
<b>Zinek</b>	20 až 100	419
<b>Měď</b>	100 až 200	1083
<b>Hořčík</b>	100 až 150	650
<b>Hliník</b>	150 až 250	658
<b>Stříbro</b>	200	960
<b>Zlato</b>	200	1063
<b>Železo</b>	400 až 450	1530
<b>Platina</b>	450	1771
<b>Nikl</b>	600	1452
<b>Molybden</b>	900	2500
<b>Tantal</b>	1000	3030
<b>Wolfram</b>	1150	3370

Tab. 1. Teploty tavení a minimální rekrystalizační teploty některých kovů

Dále můžeme tvářecí procesy rozdělit podle vlivu setrvačných sil:

- Statické – probíhají při tak malé rychlosti tváření, že nemusí být uvažovány setrvačné síly ani tvářecího stroje, ani tvářeného materiálu.
- Dynamické – rychlost tváření je taková, že setrvačné síly jsou srovnatelné s přetvárnými silami.

Podle změn teploty tvářeného materiálu v průběhu děje:

- Tvářecí procesy izotermické – teplota tvářeného materiálu se v průběhu tvářecího procesu nemění.
- Neizotermické – teplota tvářeného materiálu se mění jednak vlivem ohřevu transformací části přetvárné energie v energii tepelnou, jednak sdílením tepla s okolím, hlavně s nástroji.
- Adiabatické – teplota tvářeného materiálu vzrůstá, neboť teplo se v průběhu děje neodvádí.

Podle charakteru přetvoření:

- Ohýbání
- Tažení
- Tlačení
- Pěchování
- Protlačování
- Ražení
- Kování
- Válcování
- Kalibrování
- Stříhání

Podle použitého tvářecího stroje:

- Tváření na lisech
- Tváření na bucharech
- Tváření na ostatních strojích

Literatura [1] uvádí:

Podle teploty deformace rozdělujeme tváření na:

- Tváření za studena – deformační procesy probíhají pod teplotou rekrystalizace, přičemž řídicím procesem je tu zpevnění.
- Tváření s neúplným zpevněním – tváření za poloohřevu nad teplotou zotavení, ale pod teplotou rekrystalizace.
- Tváření za tepla – deformační procesy probíhají nad teplotou rekrystalizace, přičemž řídicím procesem je odpevnění.
- Tváření s neúplným opevněním – tváření s neúplným ohřevem nad teplotou rekrystalizace, ale pod (nebo na) spodní kovací teplotou.

## 1.9 Zákonitosti tváření

Při tváření je nutno respektovat a zohledňovat několik zákonitostí. Pro ilustraci jsou zde některé uvedeny.

### 1.9.1 Zákon stálosti objemu

Při volných tvářecích procesech jsou velké nehomogenní deformace charakterizované v jednotlivých souřadnicových směrech hodnotami skutečných anebo logaritmických deformací. Přitom platí zákon stálosti objemu, podle kterého součet skutečných logaritmických deformací se rovná nule. Zákon stálosti objemu je jedním ze základních zákonů platných pro rozvoj plastické deformace při volných deformačních procesech. Deformační stav v určitém bodě volného tělesa určují tři hlavní deformace ve třech hlavních směrech. [1]

Zákon stálosti objemu v podstatě říká:

$$V_1 = V_0 = konst. \quad (2)$$

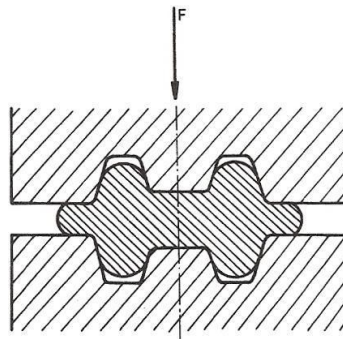
Kde je:

$V_0$  ..... objem tělesa před plastickou deformací

$V_1$  ..... objem tělesa po plastické deformaci

### 1.9.2 Zákon nejmenšího odporu

Zákon nejmenšího odporu hovoří, že pokud se mohou body deformovaného tělesa přemisťovat v různých směrech, přemísťuje se každý bod ve směru nejmenšího odporu. Tento zákon je patrný např. při plnění dutiny zápustky: [1]



Obr. 8. Plnění dutiny zápustky

### 1.9.3 Zákon neodlučitelnosti elastických deformací

Zákon neodlučitelnosti elastických deformací hovoří, že trvalou deformaci tělesa provází jeho pružná deformace, jejíž závislost na napětí určuje Hookeův zákon. [1] Tento zákon má za následek fakt, že rozměry tělesa po uvolnění zatížení nebudou totožné s rozměry tělesa při konečném okamžiku jeho zatížení. V praxi se tento rozdíl nazývá dopružování a je nežádoucí zejména u technologie ohýbání. [1]

### 1.9.4 Ostatní zákony

Existuje ještě několik dalších zákonů, které se v tváření objevují. Zde jsou ještě některé zákony, které uvádí literatura [1]:

- Zákon stálosti potenciální energie
- Zákon zbytkových napětí
- Zákon zpevnění
- Zákon tření
- Zákon podobnosti
- Bauschingerův efekt

## 1.10 Doprovodní jevy plastické deformace

Plastická deformace má za následek některé doprovodní jevy. Ty jsou z velké části nevyhodné. Jsou to např. [1]:

- Anizotropie
- Tepelný efekt
- Změna objemu
- Zbytková napětí
- Změny elektrické a tepelné vodivosti
- Tření a povrchové efekty
- Poruchy tvářitelnosti

## 2 STŘÍHÁNÍ

Technologie stříhání spadá do plošného tváření. Nástroje pro tuto technologii mají nejrůznější konstrukce závislé na tvaru, velikosti a složitosti výrobku. Výrobek se v této technologii označuje pojmy výlisek, nebo výstřížek.

Tato technologie má sice velmi progresivní charakter, ale na druhou stranu se při ní objevuje několik faktorů, které je nutno buďto respektovat anebo technologii upravit tak, aby se výskyt alespoň některých omezil. Používají se např. technologie přístřihování, přesného stříhání, kalibrování, apod. [3]

Některé faktory [3]:

- Drsnost střížné plochy, která je daná průběhem deformace a jakostí materiálu
- Zkosení střížné plochy vlivem střížné vůle
- Zaoblení a zeslabení tloušťky výstřížku podél střížné plochy
- Zpevnění střížné plochy do určité hloubky
- Prohnutí některých výstřížků ohybovým momentem obou složek střížné síly

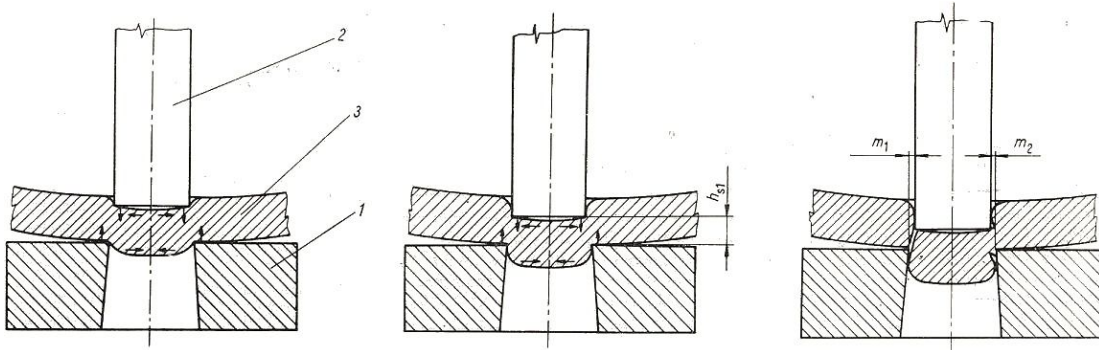
### 2.1 Princip stříhání

Střížný proces se dá v podstatě rozdělit do tří fází [3]:

- I. Fáze: tlačení střížníku na stříhaný materiál, je vyvoláno napětí, které je menší než je mez pružnosti stříhaného materiálu. V této fázi se vyskytuje pouze deformace pružná. Hloubka vniku střížníku do stříhaného materiálu v této fázi je závislá zejména na jeho mechanických vlastnostech a bývá 5 až 8 % jeho tloušťky.
- II. Fáze: napětí, které zde vzniká je větší, než je mez kluzu stříhaného materiálu. Deformace je již trvalá. Hloubka vniku střížníku do stříhaného materiálu je závislá na jeho mechanických vlastnostech, ale lze říci, že se pohybuje mezi 10 až 25 % jeho tloušťky. Konečná hodnota napětí v této fázi je na mezi pevnosti ve stříhu.
- III. Fáze: stříhaný materiál je namáhán nad mezí pevnosti ve stříhu. Hloubka vniku střížníku do stříhaného materiálu se pohybuje mezi 10 až 60 % jeho tloušťky. Tato hodnota je závislá jednak na velikosti střížné mezery a také na druhu stříhaného materiálu. V této fázi začínají vznikat mikroskopické a poté makroskopické trhliny

v materiálu u hran střížníku a střížnice. Ty se rychle prodlužují, až dojde k úplnému oddělení výstřížku od výchozího materiálu. Rychlost, jakou trhliny postupují je závislá na vlastnostech stříhaného materiálu a průběh na velikosti střížné mezery. Tvrdý a křehký materiál se oddělí téměř okamžitě, naproti tomu materiál měkký a houževnatý poměrně pomalu.

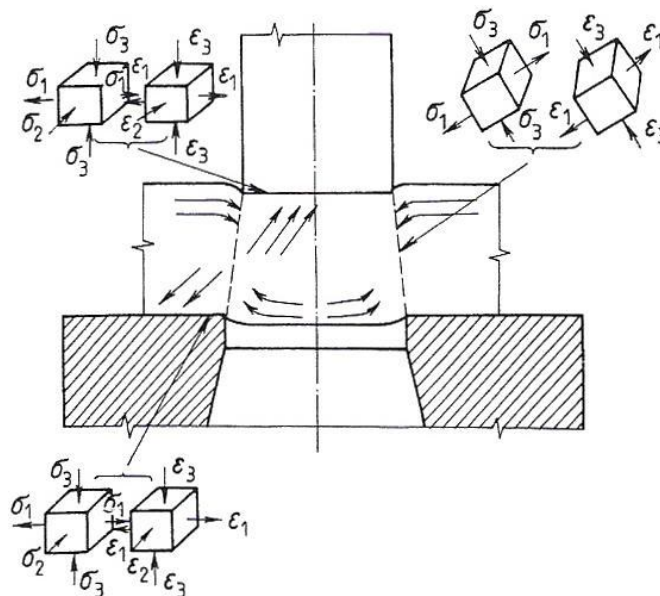
Na následujícím obrázku [3] jsou znázorněny jednotlivé střížné fáze (zleva I., II., III.):



Obr. 9. Průběh jednotlivých fází stříhání

1 – střížnice; 2 – střížník; 3 – stříhaný plech;  $h_{s1}$  – hloubka vniku střížníku do materiálu;  $m_1$  – normální střížná mezera;  $m_2$  – malá střížná mezera

Na dalším obrázku [7] je možné vidět deformace a napětí při stříhání



Obr. 10. Deformace a napětí při stříhání

## 2.2 Stříhací operace

V technologii stříhání se objevuje několik operací, které jsou nutné pro realizaci finálního výstřížku.

Rozdělení stříhacích operací [3]:

- Prosté stříhání – rozdělování materiálu nebo polotovarů na části.
- Vystříhování – vystřížení tvaru z materiálu po uzavřeném obrysu. Vystřížená část tvoří výstřížek.
- Děrování – prostřížení otvoru v materiálu nebo polotovaru. Vystřížená část tvoří odpad.
- Prostříhování – částečné oddělení materiálu v libovolném tvaru uvnitř dílce.
- Prosekávání – postupné prosekávání vnějších tvarů a otvorů v materiálu.
- Ostříhování – oddělení nerovného okraje nebo přebytečného materiálu plochých, nebo dutých součástí.
- Přistříhování – dosažení přesných rozměrů součástí, hladkého a kolmého povrchu stříhu. Dosáhne se odstraněním přídavku materiálu.
- Vysekávání – oddělování součástí z nekovových materiálů podél uzavřené křivky na podložce.
- Přesné stříhání – výroba přesných součástí s hladkou střížnou plochou.

## 2.3 Základní pojmy

### 2.3.1 Střížný odpor

Střížný odpor vyjadřuje schopnost stříhaného materiálu bránit se proti svému oddělení. Je závislý na mnoha okolnostech. Především na mechanických vlastnostech stříhaného materiálu, ale také na velikosti střížné vůle, na rychlosti stříhání, velikosti tření, mazání, chlazení, stavu střížných hran nástroje apod. Také platí, že střížný odpor následkem zpevňování stoupá. Jeho hodnota se mění v rozmezí od meze kluzu do meze pevnosti stříhaného materiálu.

[3]

V této tabulce [3] jsou pro ilustraci uvedeny střížné odpory vybraných materiálů:

Druh oceli	Označení oceli ČSN	Střížný odpor - $k_s$ [MPa]
Uhlíkové obvyklé jakosti	10 340	280 až 360
	10 370	320 až 400
	10 422	360 až 450
	11 500	440 až 530
Uhlíkové s nízkým obsahem C	11 301.20	240 až 330
	11 321.20	240 až 330
	11 331.3	240 až 340
Uhlíkové tvářené za studena	11 340.22	290 až 400
	11.340.25	520 až 700
	11 341.20	240 až 340
Uhlíkové ušlechtilé	12 000.20	700
	12 010.1	300
	12 020.20	330 až 440
	12 041.20	390 až 520
	12 061.1	min. 540
	12 071.20	480 až 600
Slitinové ušlechtilé	13 180.20	700
	14 160.0	820
	14 220.30	560
Korozivzdorné	17 021.3	470
	17 041.21	600

Tab. 2. Střížné odpory vybraných ocelí

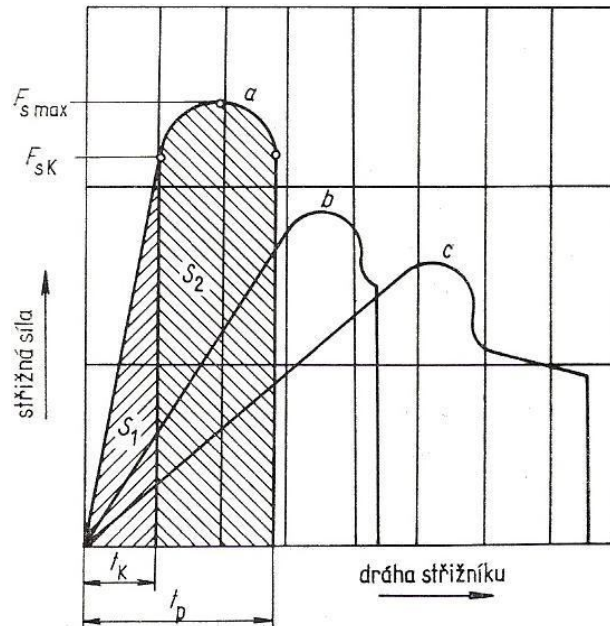
V praxi se také používají empirické vztahy pro určení střížného odporu z meze pevnosti stříhaného materiálu, které si je možné vyhledat např. v literatuře [3] a [7].

### 2.3.2 Střížná síla

Je to síla, která je zapotřebí pro vystřížení výrobku. Velikost této síly se v průběhu pracovního zdvihu mění, neboť je v každém okamžiku dána součinem dvou proměnných veličin (střížného odporu a velikosti stříhané plochy). U materiálů které mají malý rozdíl mezi mezí kluzu a mezí pevnosti, což jsou materiály křehké, nastává ustřížení již při nepatrném proniknutí střížníku do stříhaného materiálu. Naproti tomu je u materiálů houževnatých potřeba, aby střížník zajel do materiálu hlouběji. [3]



Na obrázku [7] jsou vidět průběhy sřížné síly pro různé materiály a různé sřížné mezery.



Obr. 11. Průběh sřížné síly v závislosti na dráze střížníku pro různé materiály

a – s malou tvárností při normální sřížné mezeře; b – s větší tvárností při větší sřížné mezeře; c – tvárné, pro malé sřížné mezery;  $s_1 + s_2$  – plocha sřížné práce

Sřížná síla se vypočte ze vzorce:

$$F_s = S_s \cdot k_s \cdot K \quad (3)$$

Kde je:

$F_s$  ..... sřížná síla [N]

$S_s$  ..... sříhaná plocha [mm<sup>2</sup>], dá se rozepsat jako  $S_s = l \cdot t$

$k_s$  ..... sřížný odpor [Mpa]

$K$  ..... součinitel otupení bříty

$l$  ..... délka sříhu [mm]

$t$  ..... tloušťka plechu [mm]

Součinitel otupení břitu se vypočte ze vztahu:

$$K = 1 + \frac{5,5 \cdot r}{t}$$

Kde:

$r$  ..... poloměr otupení břitu [mm] (toto označení platí pouze pro tento výpočet),  
který se vypočte  $r = 0,1 \cdot t$

Provádí-li se najednou několik střížných operací, je výsledná celková střížná síla algebraickým součtem všech dílčích střížných sil.

$$F_{SC} = \sum_{i=1}^n F_{Si} \quad (4)$$

Tato síla se v praxi ještě zvyšuje o 20 až 25 %. Toto zvýšení zahrnuje další vlivy, které při stříhání mohou nastat. Je to jakási bezpečnost. [3]

Velikost střížné síly se dá různými úpravami zmenšovat. Pokud bychom nemohli upravovat druh, tloušťku stříhaného materiálu, nebo délku střížné hrany, jsou to úpravy typu zkosení střížných břitů, použití střížníků o nestejně délce apod. [3]

### 2.3.3 Střížná práce

Je to práce potřebná k vystřížení výrobku. Je přímo úměrná střížné síle a hloubce vtlačení střížníku do materiálu. Z diagramu v kapitole střížná síla, je zřejmá i velikost střížné práce. Je ohraničena čarou střížné síly a dráhou střížníku. [3]

Střížná práce se vypočte ze vzorce:

$$A = K_A \cdot F_S \cdot t \quad (5)$$

Kde je:

$A$  ..... střížná práce [J]

$K_A$  ..... součinitel hloubky vtlačení [mm]

$F_S$  ..... střížná síla [N]

$t$  ..... tloušťka plechu [mm]

Součinitel hloubky vtláčení je možné odečíst z následující tabulky. Hodnoty jsou pro běžnou velikost střížné vůle. Při malých střížných vůlích se součinitel hloubky vtláčení zvětšuje. [3]

Materiál	Tloušťka materiálu $t$ [mm]			
	do 1	1 až 2	2 až 4	nad 4
Ocel měkká $k_s = 250$ 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 $k_s = 350$ až $500$ MPa	0,60 až 0,55	0,55 až 0,50	0,50 až 0,42	0,4
Ocel tvrdá $k_s = 500$ 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 (žíhané)	0,75 až 0,70	0,70 až 0,65	0,65 až 0,55	0,5

Tab. 3. Součinitel hloubky vtláčení

Jelikož má stříhaný materiál jisté tolerance tloušťky a pevnosti, je třeba počítat s dostatečnou rezervou, která je až 10 %. Pokud se v nástroji používá odpruženého vyhazovače nebo stírače, který vyžaduje pro stlačení pružin větší sílu, zvyšuje se o tuto sílu (obvykle o 20 %). [3]

#### 2.3.4 Stírací a protlačovací síla

Stírací síla je síla, která je zapotřebí k tomu, aby se střížník vysunul na zpět z materiálu, který na něm vlivem své pružnosti ulpěl (projevuje se to např. u vystřihování, děrování apod.). Tato síla je závislá na druhu a tloušťce materiálu, na složitosti tvaru stříhu, velikosti střížné vůle a na mazání. [3]

Velikost této síly se stanoví empiricky, jak uvádí např. literatura [3]:

$$F_T = c_1 \cdot F_S \quad (6)$$

Kde je:

$F_T$  ..... stírací síla [N]

$c_1$  ..... součinitel stírání [-]

$F_S$  ..... střížná síla [N]

Protlačovací síla je síla, která je zapotřebí k protlačení vystřihnutého materiálu přes střížnici. Tato síla je v podstatě závislá na stejných činitelích jako síla stírací. [3]

$$F_{PR} = c_2 \cdot F_S \quad (7)$$

Kde je:

$F_{PR}$  .....protlačovací síla [N]

$c_2$  .....součinitel protlačování [-]

$F_S$  .....střížná síla [N]

Menší hodnoty součinitele „ $c_1$ “ se volí pro výpočet stírací síly jednotlivého a jednoduchého střížníku. Větší hodnoty součinitele „ $c_1$ “ platí při vystřihování více střížníků, zvláště jsou-li umístěny blízko sebe a pro složitější tvary střížníku. [3]

Zde je uvedena tabulka [3] pro stanovení součinitelů stírání a protlačování.

Materiál	Tloušťka materiálu	$c_1$	$c_2$
Ocel	do 1 mm	0,02 až 0,12	0,005 až 0,08
	1 až 5 mm	0,06 až 0,16	
	nad 5 mm	0,08 až 0,20	
Mosaz		0,06 až 0,07	0,04
Slitiny Al		0,09	0,02 až 0,04

Tab. 4. Součinitele stírání a protlačování

Pro běžné oceli se velikost stírací síly volí odhadem jako 10 % síly střížné. Zkouškami bylo zjištěno, že stírání ze střížníku představuje hodnotu 3 až 20 % střížné síly. [3]

### 2.3.5 Střížná vůle

Je to vůle mezi střížníkem a střížnicí. Při děrování otvoru má střížník velikost jako požadovaná díra, střížnice má velikost o střížnou vůli zvětšenou. Naopak při vystřihování má střížník velikost o střížnou vůli zmenšenou a střížnice má velikost jako výstřížek. Jednostranný rozdíl mezi střížníkem a střížnicí se nazývá střížná mezera. Správně volená velikost střížné vůle zaručuje, že trhliny, které při stříhání vzniknou se setkají. Tím je zaručeno správné usmyknutí stříhané plochy. Střížná vůle má také vliv na střížnou sílu, trvanlivost břitů, kvalitu střížných ploch, a na vznik ostřin i spotřebu energie. Dále je také důležité, aby byla střížná vůle rozložena po celém obvodu rovnoměrně. Pokud tomu tak nebude, má to za následek vznik povrchových vad a ostřin. [3]

Velikost střížné vůle závisí na mnoha činitelích, především na druhu a tloušťce materiálu. Střížná vůle se obvykle volí v % tloušťky stříhaného materiálu. Velikost střížné vůle je možné odečíst z následující tabulky. [3]

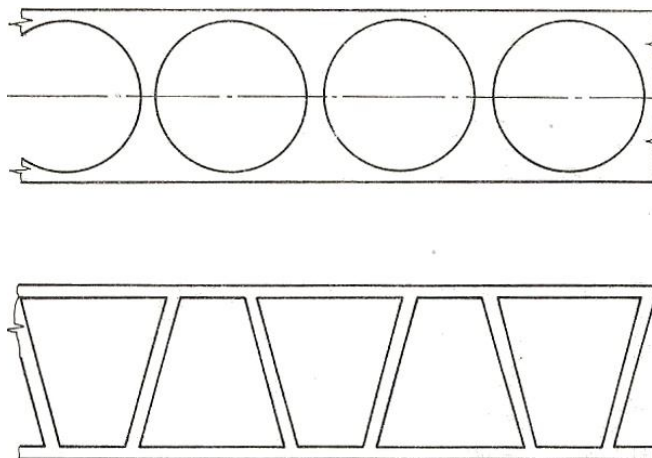
Druh materiálu	Střížná vůle (% t)	
	do 2,5 mm	2,5 až 6 mm
Ocel měkká	5	7 až 8
Ocel středně tvrdá	6	6 až 8
Ocel tvrdá	7 až 9	7 až 10
Hliník	4 až 7	5 až 9
Dural	7 až 8	7 až 10
Měď měkká	4 až 5	5 až 6
Měď polotvrdá a tvrdá	6 až 7	6 až 7
Mosaz měkká	4 až 5	4 až 6
Mosaz polotvrdá a tvrdá	5 až 6	5 až 7
Papír, lepenka	2 až 3	3
Fibr, textil	2 až 4	-

Tab. 5. Střížné vůle

## 2.4 Nástřihový plán

Nástřihovým plánem se rozumí rozmístění jednotlivých výrobků na pásu plechu, tabuli apod. Toto rozmístění má obrovský vliv na ekonomickou stránku věci. Proto je velmi nutné nástřihovému plánu věnovat dostatečnou péči. Využití materiálu má být co nejvyšší. Jen tak lze konstatovat, že nástřihový plán je kvalitní. Ne vždy je možné, aby byl velký rozdíl mezi hmotností výrobků a hmotností odpadního materiálu (hmotnost výrobků větší). Tato nepřijemnost se vyskytuje zejména u výrobků složitějších tvarů.

Zde je uveden příklad nástřihových plánů [3]. Je patrné, že pokud se vystřihují např. výrobky kruhové, je využití materiálu nepříznivé.



Obr. 12. Různé využití materiálu pásu

Je také nutné akceptovat skutečnost, že je třeba dodržovat jisté mezery mezi jednotlivými výstřižky a vzdálenosti mezi výstřižky a okraji plechu. Hodnoty těchto mezer a vzdáleností jsou v níže uvedené tabulce [3].



Dále ještě existuje několik technologických požadavků a omezení, jako např. nejmenší velikost vystřihovaných děr, minimální šířka výstřížku apod.

## 2.5 Kvalita střížné plochy a přesnost výstřížků

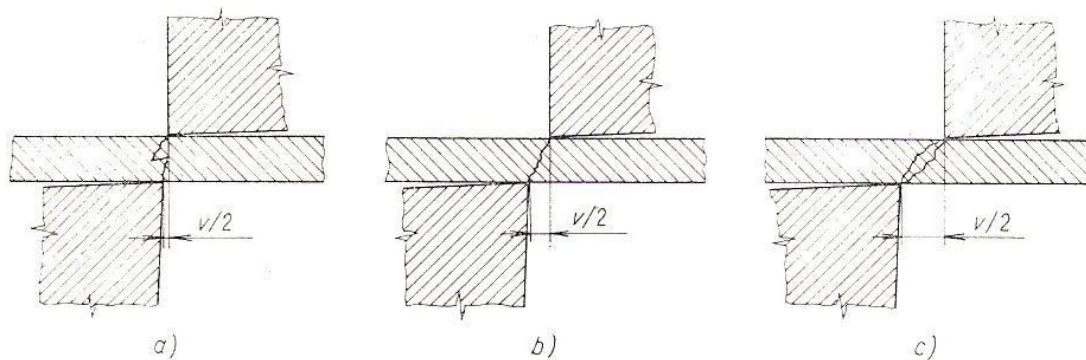
### 2.5.1 Kvalita střížné plochy

Na kvalitu střížné plochy se postupem času stále zvyšují nároky. Je to zapříčiněno skutečností, že je nežádoucí se v dalších operacích střížné ploše věnovat. Proto je potřeba nástroj konstruovat s tímto požadavkem.

Přesnost a kvalita povrchu při stříhání závisí na [3]:

- Vlastnostech stříhaného materiálu
- Velikosti střížné mezery
- Druhu a stavu nástroje
- Charakteru geometrického tvaru stříhaného obrazce
- Kvalitě povrchu a přesnosti činných částí střížníku a střížnice

Na tomto obrázku [3] je vidět, jak vypadá povrch střížné plochy pro různé střížné vůle.

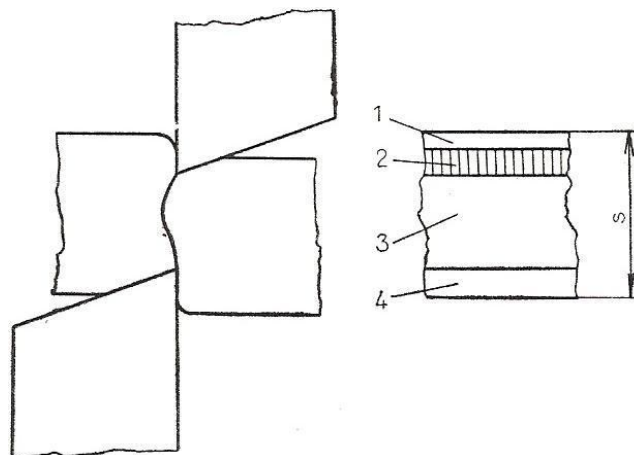


Obr. 13. Tvar střížné plochy pro různé střížné vůle

$v$  – střížná vůle; a – malá střížná vůle; b – správná střížná vůle; c – velká střížná vůle



Střížná plocha je vytvořena obecně čtyřmi plochami. To je vidět na obrázku [4]:



Obr. 14. Kvalita střížné plochy

Kde „s“ je tloušťka plechu (jinde označována „t“).

Např. u ocelového plechu 11 370.11 tloušťky  $s = 20,6$  mm, bylo naměřeno [4]:

část 1            6 % s,

část 2            10 % s,

část 3            80 % s,

část 4            4 % s.

Jelikož část 3 tvoří u běžného stříhu 80 % střížné plochy, je pro posouzení kvality střížné plochy charakteristická. [4]

Při běžném způsobu stříhání bývá střížná plocha mírně zkosena s drsným povrchem a vytaženou ostřinou. Materiál výstřížku je kolem čáry stříhu zpevněn. Při vystříhování se obvykle dosáhne drsnosti  $Ra = 3,2$  až  $6,3$  a při ostříhování a děrování  $Ra = 2,5$  až  $6,3$ . [3]

### 2.5.2 Přesnost výstřížků

Při stříhání je možné se setkat s různými požadavky na výstřížky. Co se tříd přesnosti týče, mohou se pohybovat zhruba od IT 6, což je přesnost poměrně vysoká.

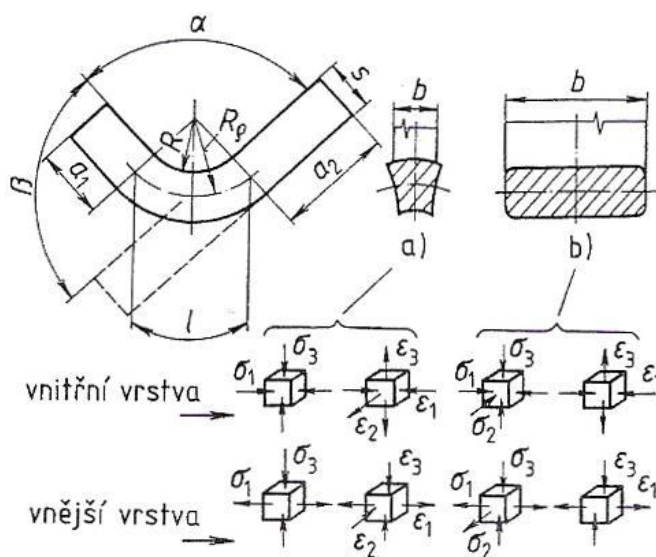
### 3 OHÝBÁNÍ

Ohýbání opět spadá do plošného tváření. Stejně jako u stříhání i zde mají nástroje nejrůznější konstrukce závislé na tvaru, velikosti a složitosti výrobku. Výrobek se v technologii ohýbání označuje termínem vylisek.

#### 3.1 Princip ohýbání

Ohýbání plechu je deformování materiálu s malým odpružením, při němž se materiál vzniklými napětími buď ohýbá, nebo rovná. [5]

Na tomto obrázku [7] jsou zaznačena napětí a deformace při ohýbání



Obr. 15. Deformace a napětí při ohýbání

Kde „ $s$ “ je tloušťka plechu (ohýbaného materiálu, jinde označována „ $t$ “) a „ $R$ “ je vnitřní poloměr ohybu (jinde označovaný „ $r_{vo}$ “).

### 3.2 Ohýbací operace

Stejně jako u technologie stříhání lze technologii ohýbání rozdělit na několik základních operací, např. tak, jak ji rozděluje literatura [5]:

- Ohýbání prosté – tváření rovinné plochy v plochy navzájem různě orientované vytvářením ostrých nebo oblých hran. Ohýbání tabulí a pásů plechu lze považovat za prosté ohýbání materiálu s výrazně větší šířkou než tloušťkou, při kterém změna délky vlákny v podélném směru se kompenzuje výhradně změnou tloušťky ve směru radiálním.
- Ohraňování – ohýbání plechu na speciálních jednoúčelových ohraňovacích lisech. Je to rozšířený způsob výroby ocelových profilů.
- Rovnání – odstraňování zakřivení a vlnitosti plechů a pásů.
- Zakružování – postupné tváření rovinné plochy v plochu válcovou, kuželovou, nebo v jejich části. Nejčastější použití je pro zakružování plášťů kotlů, nádrží, trub apod.
- Lemování – ohýbání okraje rovinné nebo prostorové plochy za účelem vyztužení okraje.
- Obrubování – zakroužení okraje rovinné nebo prostorové plochy či otvoru za účelem zvýšení jakosti okraje.
- Osazování – ohnutí promáčknutím v okraji nebo uvnitř rovinné plochy. Používá se k fixaci nebo suvnému uložení dvou nebo více rovinných ploch.
- Drápkování – pevné spojení dvou předešnutých okrajů plechu tím, že se do sebe vzájemně zaklesnou a společně doohnou.
- Zkružování – tváření plochého nebo profilového polotovaru natáčením jedné jeho části vůči druhé.

### 3.3 Základní pojmy

#### 3.3.1 Rozvinutá délka

Pro stanovení rozvinuté délky ohýbané součásti je nutno stanovit délku neutrálního vlákna, tedy vlákna, které při ohýbání nepodléhá prodlužování a zkracování.

Délka oblouku neutrálního vlákna se vypočte ze vztahu:

$$l_R = \frac{\pi \cdot \alpha}{180} \cdot (r_{VO} + k \cdot t) \quad (8)$$

Kde je:

$l_R$  ..... rozvinutá délka [mm]

$\pi$  ..... Ludolfovo číslo [-]

$\alpha$  ..... úhel ohybu [°]

$r_{VO}$  ..... vnitřní poloměr ohybu [mm]

$k$  ..... součinitel polohy neutrální vrstvy [-]

$t$  ..... tloušťka plechu [mm]

Tabulka [5] součinitele „k“ pro určení polohy neutrální osy v závislosti na poloměru ohybu a tloušťce plechu.

$r_{VO}/t$	0,1	0,25	0,5	1	2	3	4	5	6	8	10	15	20
<b>k</b>	0,3	0,35	0,38	0,42	0,455	0,47	0,475	0,478	0,48	0,484	0,486	0,492	0,498

Tab. 7. Součinitel "k" pro určení polohy neutrální osy v závislosti na poloměru ohybu a tloušťce plechu

V praxi se často používá předpokladu, že neutrální vrstva se nachází v 1/3 tloušťky plechu blíže k vnitřnímu poloměru. [5]

Potom má vztah tvar:

$$l_R = \frac{\pi \cdot \alpha}{180} \cdot \left( r_{VO} + \frac{t}{3} \right) \quad (9)$$

### 3.3.2 Nejmenší poloměr ohybu

Plech při válcování získává vláknitou strukturu (texturu) a má lepší vlastnosti ve směru válcování než ve směru na válcování kolmém (tzv. anizotropie mechanických vlastností). Osa ohybu součástí má být proto pokud možno kolmá na směr válcování plechu. Jinak je nutno volit větší poloměry ohybu, aby tahová napětí na vnější straně ohýbaného plechu nepřekročila dovolené namáhání plechu pro ohyb podél vláken. [5]

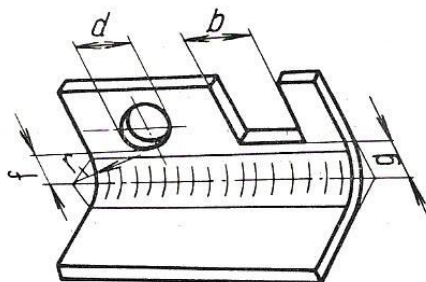
V tabulce [7] níže jsou uvedeny nejmenší poloměry ohybu.

Ocel o pevnosti v tahu $R_m$ [MPa]	Ohyb napříč nebo podél vláken	Nejmenší poloměr ohybu pro tloušťku plechu [mm]					
		1	přes 1 do 1,5	přes 1,5 do 2,5	přes 2,5 do 3	přes 3 do 4	přes 4 do 5
do 400	napříč	1	1,6	2,5	3	5	6
	podél	1	1,6	2,5	3	6	8
přes 400 do 500	napříč	1,2	2	3	4	5	8
	podél	1,2	2	3	4	6	10
přes 500 do 600	napříč	1,6	2,5	4	5	6	8
	podél	1,6	2,5	4	5	8	10

Tab. 8. Nejmenší poloměry ohybu

### 3.3.3 Nejmenší vzdálenost hrany od ohybu

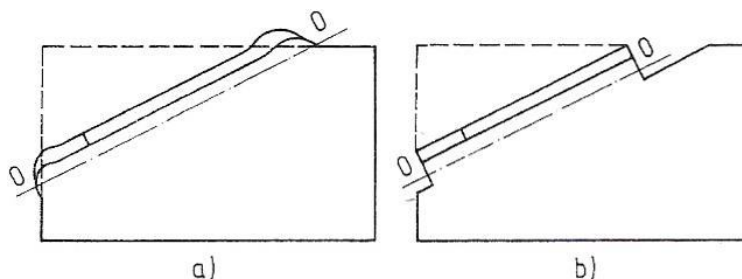
Otvory, u kterých hodnota „g“ nebo „f“ je menší než „ $3 \cdot t$ “, se při ohýbání deformují. V takových případech musí být materiál dokonale přidržován. Zvláště výrazná je deformace otvorů u tlustých materiálů. Malých poloměrů ohybu na těchto materiálech se dosahuje při ohýbání za tepla. Jinak je nutno součást děrovat až po ohnutí. [6]



Obr. 16. Umístění otvoru nebo zářezu

Stejně jako u stříhání i zde existuje ještě několik omezení, které je nutno akceptovat.

Pro ukázkou je zde uveden obrázek [7], na kterém je vidět možná úprava pro zlepšení konců ohybové hrany. Obrázek vlevo (a) – původní řešení, obrázek vpravo (b) – po úpravě.



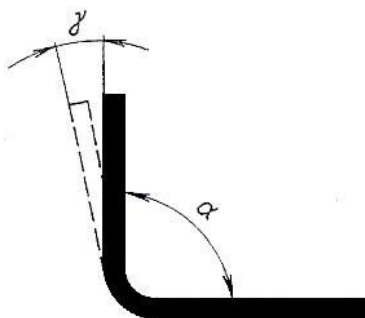
Obr. 17. Vliv úpravy výchozího polotovaru pro ohyb na jakost okrajů

### 3.3.4 Odpružení

Po provedení ohybu se v menší nebo větší míře projeví důsledek zákona neodlučitelnosti elastických deformací (uvádějící literatura [1]), který se projevuje odpružením.

Odpružení, jak uvádí literatura [5] je závislé na:

- Poloměru ohybu
- Tloušťce materiálu
- Vlastnostech materiálu



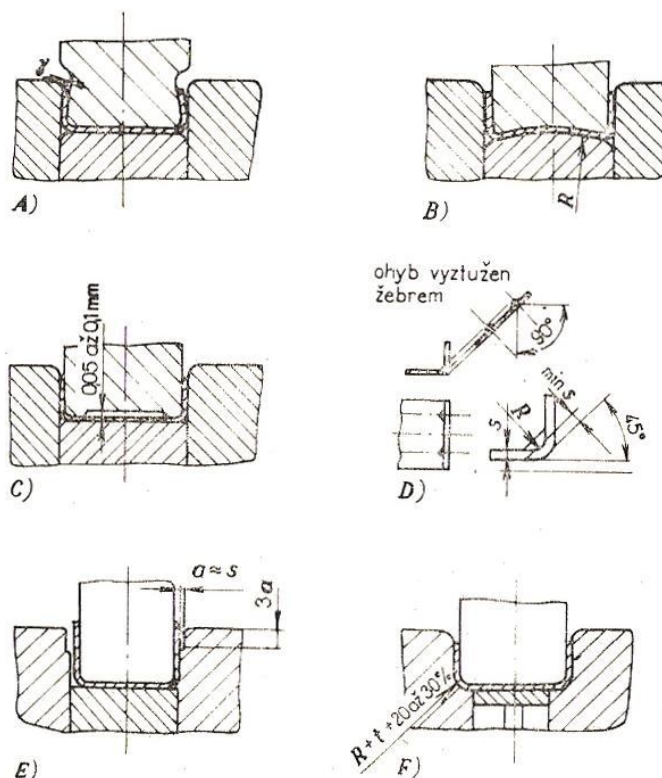
Obr. 18. Odružení při ohýbání

Malé poloměry ohybu zajišťují menší odpružení, ale způsobují větší namáhání materiálu a vznik trhlinek. Při velkých poloměrech ohybu je odpružení větší, ale namáhání materiálu menší. S rostoucí tloušťkou materiálu velikost odpružení klesá. [5]

Velikost odpružení se nejčastěji vyjadřuje v závislosti na hodnotě poměru  $\frac{r}{t}$ . Úhel odpružení nebyl zatím teoreticky stanoven.

V průměru se úhel odpružení pohybuje u měkkých materiálů od 0° do 4°, u středně tvrdých od 2° do 5° a u tvrdých až do 15°. Odpružení materiálu lze snížit jeho vyžháním. [6]

Proto se používají některé úpravy nástrojů, které odpružení eliminují [5].



Obr. 19. Způsoby omezení odpružení při ohybu

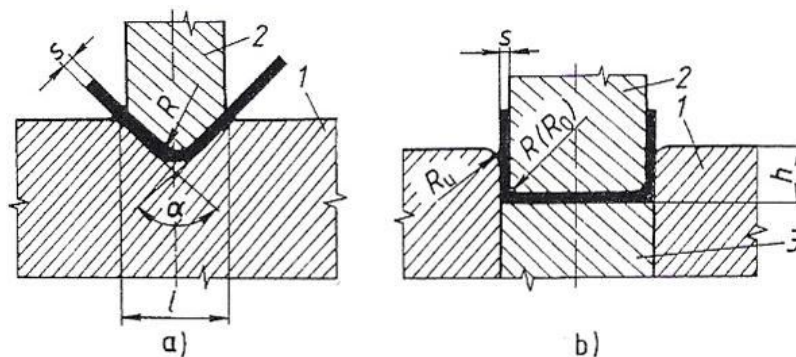
Kde „s“ je tloušťka plechu (jinde označována „t“).

Úpravy:

- Podbroušení ohybové čelisti o úhel  $\gamma$  (A)
- Zaoblení spodní části ohýbadla a přidržovače poloměru „R“ (B)
- Vylisování výztužných žebber v místech ohybu (C)
- Postupné ohýbání s odlehčením pevné čelisti o tloušťku materiálu (D)
- Zpevnění materiálu deformačním poloměrem v pevné čelisti (E)
- Postupné ohýbání s dostatečným plastizováním rohové části (F)

### 3.3.5 Ohýbací síla

Je to síla, která je zapotřebí k ohnutí materiálu. K obrázku [7] níže jsou uvedeny výpočtové vztahy pro ohýbací sílu.



Obr. 20. Ohýbání

a – tvar „V“; b – tvar „U“; 1 – pevná čelist; 2 – posuvná čelist; 3 - vyhazovač

Pro ohyb do tvaru „V“ platí vztah:

$$F_o = \frac{R_e \cdot b \cdot s^2}{2 \cdot R} \cdot \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2} \quad (10)$$

Pro ohyb do tvaru „U“ platí vztah:

$$F_o = (1 + 7 \cdot \mu) \cdot \frac{R_e \cdot b \cdot s^2}{R + s} \quad (11)$$



Kde je:

$F_o$  ..... ohýbací síla [ $N$ ]

$R_e$  ..... mez pružnosti ohýbaného plechu [ $MPa$ ]

$b$  ..... šířka plechu [ $mm$ ]

$s$  ..... tloušťka plechu, jinde označována  $t$  [ $mm$ ]

$\alpha$  ..... úhel ohybu [ $^\circ$ ]

$R$  ..... vnitřní poloměr ohybu [ $mm$ ]

$\mu$  ..... Poissonovo číslo [-]

### 3.3.6 Přidržovací síla

Výpočet ohýbací síly podle vzorce pro tvar „U“ platí pro ohýbání bez přidržovače. Při ohýbání s přidržovačem je nutno ohýbací sílu zvětšit o sílu přidržovače. [7]

Přidržovací síla se vypočte ze vztahu:

$$F_p = (0,25 \div 0,30) \cdot F_o \quad (12)$$

### 3.3.7 Ohýbací práce

Pro výpočet práce např. pro ohyb do tvaru „U“ platí:

$$W_o = \frac{1}{2} \cdot (F_o + F_p) \cdot h \quad (13)$$

Kde je:

$W_o$  ..... ohýbací práce [ $J$ ]

$F_o$  ..... ohýbací síla [ $N$ ]

$F_p$  ..... přidržovací síla [ $N$ ]

$h$  ..... činná dráha pohyblivé čelisti [ $mm$ ]

## 4 RAŽENÍ

Ražení je plastické přetváření povrchu vylisku mezi razníkem a raznicí. Výrobek se v této technologii označuje opět termínem vylisek. [6]

### 4.1 Princip ražení

Razník, který má negativní reliéf požadovaného vylisku a je upnut do beranu lisu. Ražený materiál je obvykle položen na opět negativním reliéfem opatřené raznici, nebo na rovné desce upnuté na stole lisu. Razník pohybem dolů vtlačí svůj reliéf i reliéf raznice do raženého materiálu. Díky plastickým deformacím, zanechají obě části nástroje ve vylisku reliéfy.

Charakteristickými výrobky této technologie jsou mince, medaile, některé součásti hodinek, přibory, bižuterie apod. [6]

### 4.2 Základní pojmy

#### 4.2.1 Tvárnost

Tvárnost materiálu je v této technologii velmi důležitá. Materiály v dobrou tvárností vyžadují menší razicí síly, oproti tomu materiály se špatnou tvárností vyžadují razicí síly větší, při jejich ražení se u nich vyskytují ve větším počtu vady apod. Proto je pokud možno třeba volit materiály s dobrou tvárností. Ušetří se tím jednak razicí síla, ale také počet neshodných kusů.

Mělké reliéfy nepůsobí při ražení potíže, protože tvárnost většiny materiálů je dost značná. Oproti tomu hluboké reliéfy je nutné razit za tepla. [6]

V následující tabulce [6] jsou vidět hodnoty tvárnosti neželezných kovů za studena v %, které uvádí zdroj.

<b>Měď</b>	12%
<b>Zinek</b>	5%
<b>Hliník</b>	24%
<b>Mosaz šroubová</b>	14%
<b>Mosaz kujná</b>	15%
<b>Mosaz niklová</b>	8%
<b>Elektron</b>	12%
<b>Silumin</b>	7%

Tab. 9. Tvárnost neželezných kovů za studena

Tvárnost neželezných kovů za tepla v % a tvářecí teplota [6].

<b>Měď</b>	44%	900°C
<b>Zinek</b>	18%	220°C
<b>Hliník</b>	60%	400°C
<b>Mosaz šroubová</b>	68%	800°C
<b>Mosaz kujná</b>	68%	800°C
<b>Mosaz niklová</b>	32%	850°C
<b>Elektron</b>	23%	250°C
<b>Silumin</b>	22%	250°C

Tab. 10. Tvárnost neželezných kovů za tepla a tvářecí teplota

#### 4.2.2 Razicí síla

K ražení za studena je zapotřebí poměrně velké síly.

Ta se spočítá ze vzorce [6]:

$$F_R = S_R \cdot q \quad (14)$$

Kde je:

$F_R$  .....razicí síla [N]

$S_R$  .....plocha ražení [mm<sup>2</sup>]

$q$  ..... měrný tlak [MPa]

Měrný tlak  $q$  je [6]:

<b>Materiál</b>	<b>Měrný tlak <math>q</math> [MPa]</b>
<b>Ocel</b>	250 až 300
<b>Mosaz</b>	160 až 200
<b>Hliník</b>	80 až 120

Tab. 11. Měrný tlak

## 5 MĚŘENÍ TVÁŘECÍCH SIL

Stejně jako v procesu obrábění lze měřit i u tváření síly. Měření je založeno na měření deformací v soustavě stroj – nástroj – obrobek během procesu pomocí dynamometrů. [9]

Dynamometr, jakožto měřicí přístroj, musí zaručit nezávislost měřicí veličiny na provozních vlastnostech přístroje. Dále se od něj požaduje schopnost měřit sledovanou veličinu ve zvoleném rozsahu s maximální přesností, musí zaručit stálost naměřených hodnot s časem včetně její reprodukovatelnosti. Z těchto uvedených charakteristik plynou základní požadavky kladené na dynamometry [9]:

- Tuhost dynamometrů
- Citlivost dynamometrů
- Stálost údajů dynamometrů
- Reprodukovatelnost údajů
- Setrvačnost dynamometrů (měla by být pokud možno co nejmenší?)
- Konstrukce dynamometrů

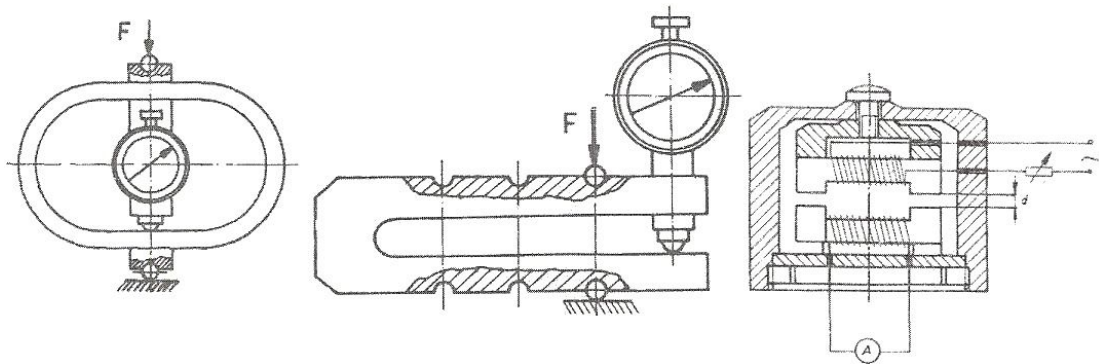
Aparatura obvykle obsahuje [9]:

- Pružný člen – přebírá vnější zatížení a překonává jisté změny (deformace, změna polohy apod.).
- Snímač – mění mechanickou veličinu změny pružného členu na hodnotu analogického parametru měřicí aparatury.
- Přijímač – zesiluje a zpracovává signál snímače, případně zapisuje velikost zatížení.

Rozdělení dynamometrů, které je uvedeno literatuře [9]:

- Mechanické
- Hydraulické
- Pneumatické
- Elektrické (indukční, kapacitní, odporové)
- Piezoelektrické

Na následujících obrázcích [9] jsou pro představu uvedeny ukázky dynamometrů.



Obr. 21. Schémata dynamometrů

## 6 ZÁVĚR TEORETICKÉ ČÁSTI

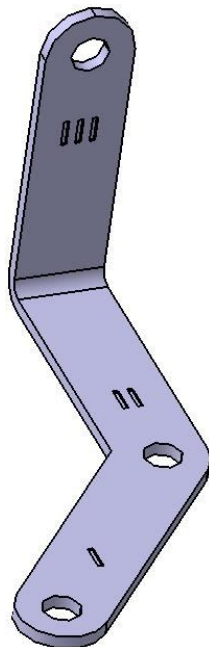
V teoretické části byly popsány základní pojmy z oblasti tváření. Byly také uvedeny a popsány základní pojmy a matematické vztahy z jednotlivých technologií, které budou uplatněny při konstrukci jak nástroje pro výrobu kontaktů pro firmu C.S.O. spol. s r.o., tak školního laboratorního střížného (razicího) nástroje. V poslední kapitole teoretické části byly zmíněny možnosti měření sil při tváření pomocí dynamometrů. Poznatky budou opět uplatněny v části praktické, neboť laboratorní nástroj bude umístěn na dynamometru a budou se měřit stříhací a razicí síly.

## II. PRAKTICKÁ ČÁST



## 7 KONSTRUKCE SDRUŽENÉHO TVÁŘECÍHO NÁSTROJE

### 7.1 Výrobek



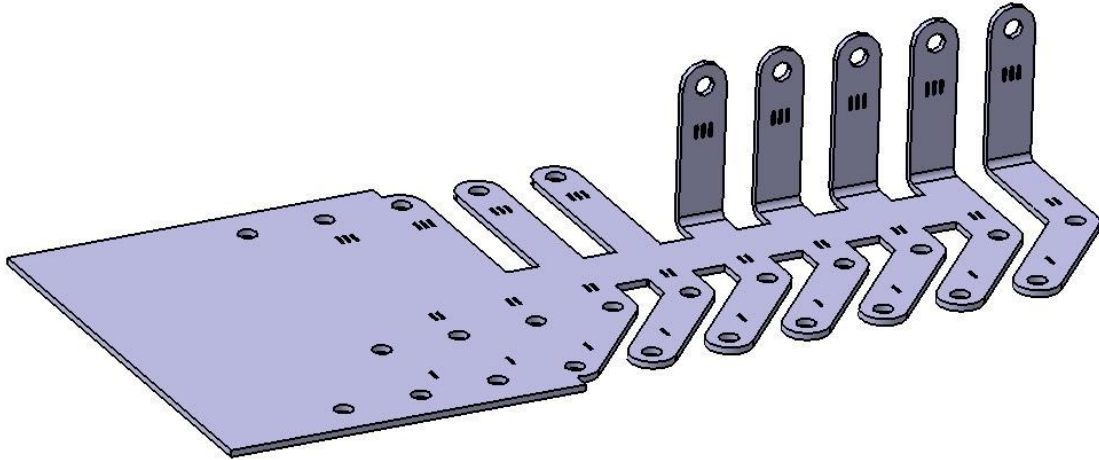
Obr. 22. Výrobek

Jak již bylo dříve zmíněno, výrobkem, pro nějž bude sdružený tvářecí nástroj konstruován je elektrický kontakt.

### 7.2 Výrobní požadavky

Výrobek bude zhotoven z cínového bronzu CuSn6, který se v podobných případech hojně používá. Výrobek bude ohnut do 90°, bude obsahovat tři díry pro šroub M4, které je nutné číselně odlišit. Podle výkresu výrobku je zřejmé, že na stylu a velikosti písma nezáleží. Proto bylo zvoleno číslování pomocí římských číslic, zejména z výrobních důvodů. Velikost písma byla volena 3 mm – výška a 0,6 mm šířka. Po stříhání bude následovat omílání pro odstranění otřepů a povrchová úprava cínováním nebo stříbřením.

### 7.3 Nástřihový plán



Obr. 23. Nástřihový plán

Výrobek bude realizován v deseti krocích. V prvním kroku je prováděno děrování (díry  $\Phi 4,3$  mm). Ve druhém kroku se středí plech pomocí dvojice hledáčku a zároveň se razí číslice. Ve třetím, čtvrtém a pátém kroku se provádí obstřih tvaru se současným středěním několika hledáčků. V šestém kroku ohýbá, sedmý krok je volný, a v osmém kroku se kalibruje na požadovaný úhel ohybu. Ohýbání a kalibrace se provádí za současněho středění hledáčky. Mezi devátým a desátým krokem je provedena poslední operace-dělení.

### 7.4 Výpočet využití plechu

Procentuální vyjádření využití plechu je možné spočítat ze vztahu:

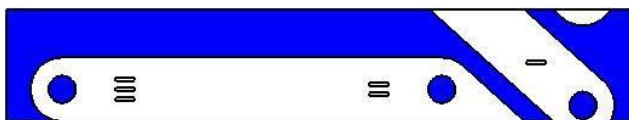
$$\frac{\text{Využití}}{\%} = \frac{S_V}{S_{PL}} \cdot 100$$

Kde je:

$S_V$  ..... Plocha výstřižku [mm<sup>2</sup>]

$S_{PL}$  ..... Plocha polotovaru [mm<sup>2</sup>]

Plochy byly odečteny opět za pomoci programu CATIA. Kratší strana (šířka plechu) odpovídá délce jednoho kroku, tedy 17,5 mm.



Obr. 24. Využití plechu

$$\text{Využití} = \frac{935,6}{1700} \cdot 100\% = 55\%$$

Vzhledem ke tvaru výrobku a složitosti konstrukce nástroje je využití plechu poměrně uspokojivé. Nástroje které vyrábějí podobné kontakty mívají využití někdy i kolem 30%.

## 7.5 Střížná vůle

Pro materiál CuSn6 o tloušťce 1,5 mm byla určena střížná vůle 0,1 mm. Střížná vůle je vždy na straně střížnice.

## 7.6 Výpočet sil

### 7.6.1 Výpočet střížných sil

Pro výpočet střížných sil je nejprve nutné znát délky střížných hran a materiálové vlastnosti stříhaného plechu. Jelikož program CATIA, v němž byl nástroj konstruován, umožňuje mimo jiné i měření délek, ploch a objemů, byl použit i pro zjištění délek střížných hran pro jednotlivé střížníky. Zjištěné hodnoty jsou zaneseny do následující tabulky.

STŘIŽNÍK	DÉLKA
1	13,5 mm
2	109,6 mm
3	111,7 mm
4	28,2 mm

Tab. 12. Délky střížných hran

Jelikož platí vztah:

$$F_S = S_S \cdot k_S \cdot K = l \cdot t \cdot k_S \cdot K$$

pak se dílčí střížné síly vypočítají:

$$F_{Si} = l_i \cdot t \cdot k_S \cdot 1,55$$

$$F_{S1} = 13,5 \cdot 1,5 \cdot 300 \cdot 1,55 N = 9416,3 N$$

$$F_{S2} = 109,6 \cdot 1,5 \cdot 300 \cdot 1,55 N = 76446 N$$

$$F_{S3} = 111,7 \cdot 1,5 \cdot 300 \cdot 1,55 N = 77910,8 N$$

$$F_{S4} = 28,2 \cdot 1,5 \cdot 300 \cdot 1,55 N = 19669,5 N$$

Maximální  $K$ , se kterým bude také počítáno, může být podle vzorce z teoretické části 1,55.

Střížný odpor pro daný materiál je 300 MPa.

Sílu  $F_{S1}$  Je nutno uvažovat 3x.

Celková střížná síla se vypočte:

$$F_{SC} = \sum_{i=1}^n F_{Si}$$

$$F_{SC} = 202275,2 N$$

### 7.6.2 Výpočet stírací síly

V praxi se zpravidla stírací síla bere jako 10 % síly střížné.

$$\frac{F_T}{N} = 0,1 \cdot F_{SC}$$

$$F_T = 20227,5 N$$

### 7.6.3 Výpočet protlačovací síly

Protlačovací síla se spočítá ze vztahu:

$$\frac{F_{PR}}{N} = 0,04 \cdot F_{SC}$$

$$F_{PR} = 8091 N$$

#### 7.6.4 Výpočet ohýbacích a kalibrovacích sil

Jelikož ohýbání a kalibrace probíhá současně se stříháním a střížné síly jsou několikanásobně vyšší než síly ohýbací a kalibrovací, nebudou počítány, protože na další výpočty (např. těžiště) nebudou mít téměř vliv.

#### 7.6.5 Výpočet razicích sil

Razicí síla se počítá ze vzorce:

$$F_R = S_R \cdot q$$

Kde se pro běžné výpočty bere  $q$  jako  $1,6 \cdot R_m$

Jelikož je pro daný materiál mez pevnosti v tahu 390 – 490 MPa, je dále počítáno s hodnotou maximální. Ražená plocha byla opět zjištěna pomocí programu CATIA.

Razicí síly pro jednotlivé razníky jsou:

$$\begin{aligned} F_{R1} &= 2,8 \cdot 1,6 \cdot 490N = 2195,2N \\ F_{R2} &= 2 \cdot (2,8 \cdot 1,6 \cdot 490)N = 4390,4N \\ F_{R3} &= 3 \cdot (2,8 \cdot 1,6 \cdot 490)N = 6585,6N \end{aligned}$$

#### 7.6.6 Výpočet síly vyvinuté pružinami

Aby mohlo dojít k setření střížníku z pásu plechu, musí být v nástroji zakomponovány pružiny, které to zajistí. Musí u nich platit, že nachází se-li střížník v plné hloubce plechu, vyvíjejí zde pružiny sílu, která je rovna, nebo lépe větší než je síla stírací. Jelikož však střížník zajíždí ještě hlouběji bude síla vyvinutá pružinami vyšší. Při dané koncepci nástroje to bude 4959 N na jednu pružinu je-li střížník v plné hloubce plechu, což představuje 24795 N na všech pět pružin (tato síla je větší než potřebná stírací síla) a 5925 N na jednu pružinu, je-li střížník 1,5 mm pod úrovní plechu.

Jelikož nástroj obsahuje 5 pružin, pak bude maximální síla vyvinutá pružinami 29625 N.

#### 7.6.7 Výpočet síly lisu

Velikost síly, kterou musí lis vyvinout se spočítá:

$$F_L = F_{SC} + F_{PR} + F_{PC}$$

$$\frac{F_L}{N} = 202275,2 + 8091 + 29625 = 239991,2N$$

Kde je:

$F_L$  ..... síla lisu [N]

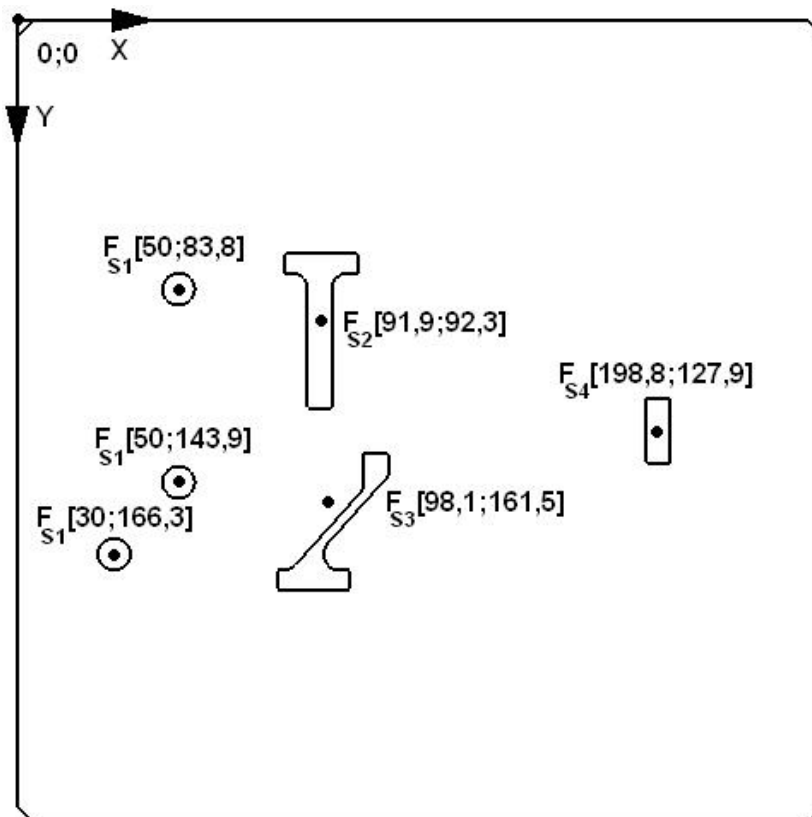
$F_{PC}$  ..... maximální síla vyvinutá pružinami [N]

Do vzorce nebyly zahrnuty razicí síly, protože ražení probíhá až po stříhání.

Protože firma disponuje lisem o maximální síle 400 kN, což pro výrobu kontaktů dostačuje, bude použit právě tento.

### 7.6.8 Výpočet těžiště pro umístění stopky

Neobsahuje-li nástroj mnoho kroků s ohyby a kalibracemi, počítá se obvykle těžiště pro umístění stopky pouze ze sil střížných, jelikož jsou mnohonásobně vyšší, než síly ohýbací a kalibrovací. Většinou se také nepočítá ani se silami pružin.



Obr. 25. Výpočet těžiště

$$x_T = \frac{F_{S1} \cdot x_{FS11} + F_{S1} \cdot x_{FS12} + F_{S1} \cdot x_{FS13} \cdot F_{S2} \cdot x_{FS2} + F_{S3} \cdot x_{FS3} + F_{S4} \cdot x_{FS4}}{(3 \cdot F_{S1}) + F_{S2} + F_{S3} + F_{S4}}$$

$$y_T = \frac{F_{S1} \cdot y_{FS11} + F_{S1} \cdot y_{FS12} + F_{S1} \cdot y_{FS13} \cdot F_{S2} \cdot y_{FS2} + F_{S3} \cdot y_{FS3} + F_{S4} \cdot y_{FS4}}{(3 \cdot F_{S1}) + F_{S2} + F_{S3} + F_{S4}}$$

$$x_T = 97,9mm$$

$$y_T = 127,9mm$$

Kde je:

$x_{FSi}, y_{FSi} \dots$  vzdálenost od počátku v ose  $x, y$  připadající těžišti  $i$  [mm]

$x_T, y_T$  vzdálenost od počátku v ose  $x, y$  připadající těžišti střížných sil [mm]

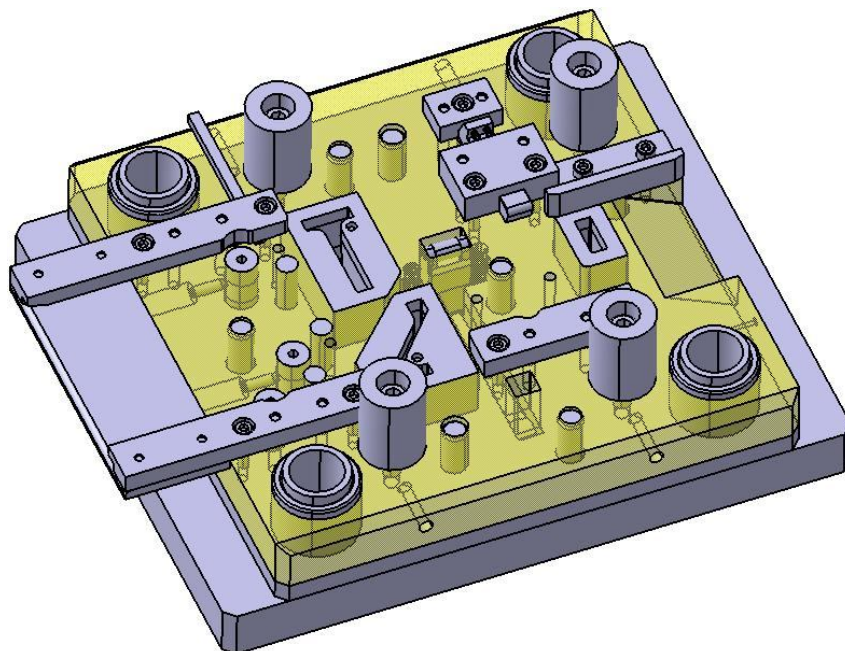
Stopka bude z konstrukčních důvodů umístěna přesně uprostřed desek a bude mít tedy souřadnice [125;125]. Toto posunutí oproti poloze vypočtené by nemělo vadit, protože praktické zkušenosti ukazují, že je možné polohu stopky v jistých mezích posunout.

Pouze pro kontrolu byl proveden i výpočet těžiště se silami pružin a poloha těžiště se změnila jen nepatrně a navíc blíže ke zvolené poloze stopky.

## 7.7 Přehled a popis součástí nástroje

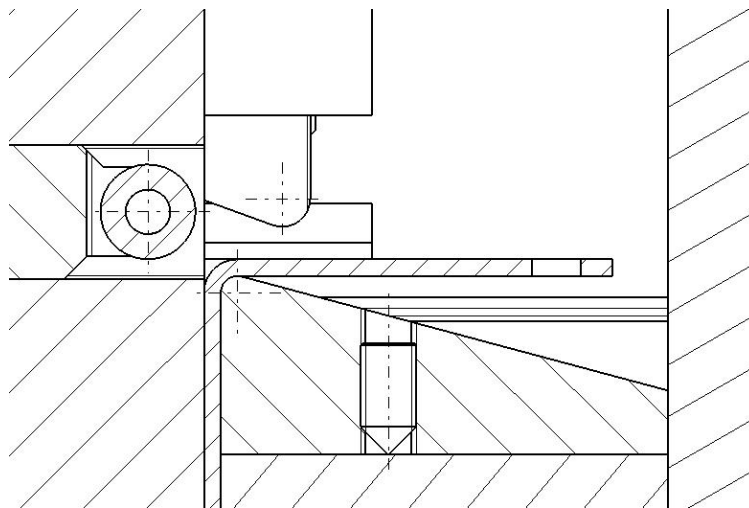
### 7.7.1 Spodní část nástroje

Na tomto obrázku je zobrazena spodní část nástroje. Je zde názorně např. střížnice, způsob jejich aretace, ohybník a kalibrační mechanismus. Vedení horní části v části spodní bylo voleno pomocí vodicích pouzder německé firmy STRACK, která se v praxi velmi osvědčují. Pro zavedení svitku do nástroje je zde k dispozici zaváděcí doraz. Všechny desky jsou vymezeny vůči sobě pomocí dvou kolíků a sešroubovány pěti šrouby M12. Také vodicí lišty, držák klínu kalibrace a doraz klínu kalibrace jsou vymezeny pomocí kolíků. Na dorazy spodní (čtyři válečky) najíždí horní část nástroje. Namáhané díly jsou z kvalitních nástrojových materiálů a ve většině případů jsou také kaleny. Aby mohl vystřížený kontakt opustit po odjetí horní části nástroje nástroj, je zde nakloněná rovina. Ke spodní části nástroje je pak připevněno koryto, kterým jsou hotové výrobky dopravovány do sběrné krabice.



Obr. 26. Spodní část nástroje

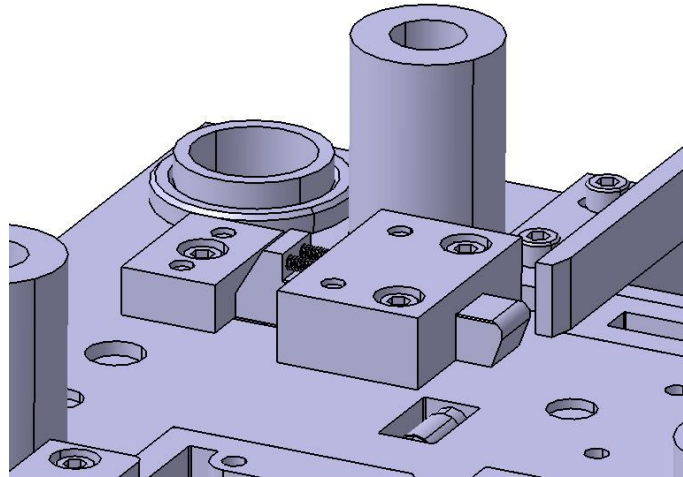
Následující obrázek znázorňuje uzel ohybu a kalibrace. Váleček ohybníku je při otevření nástroje v desce střížnic zapuštěn 0,75 mm a při pracovním zdvihu najíždí 3 mm nad rádius ohýbané součásti.



Obr. 27. Ohyb a kalibrace

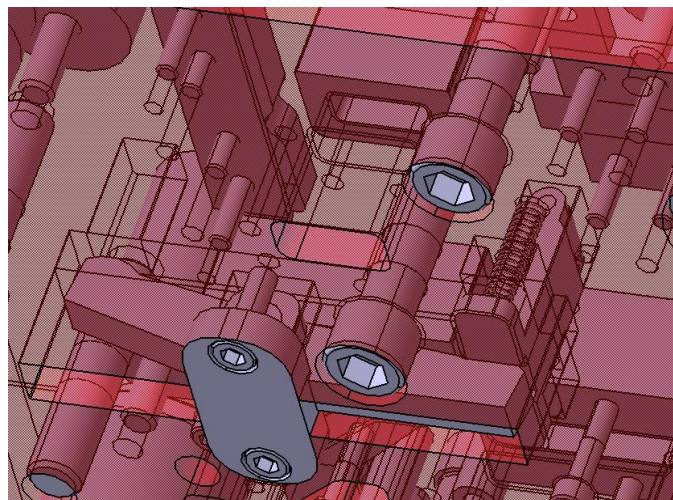


Jelikož po odjetí ohybníku do desky střížnic, nastane odpružení součásti, je zde kalibrace, která doohne součást. Kalibrace je realizována pomocí klínového mechanismu. Přesné nastavené kalibrace se provádí v horní části nástroje opět pomocí klínového mechanismu. Zpětný pohyb klínu kalibrace zajišťuje dvojice pružin.



Obr. 28. Detail kalibrace

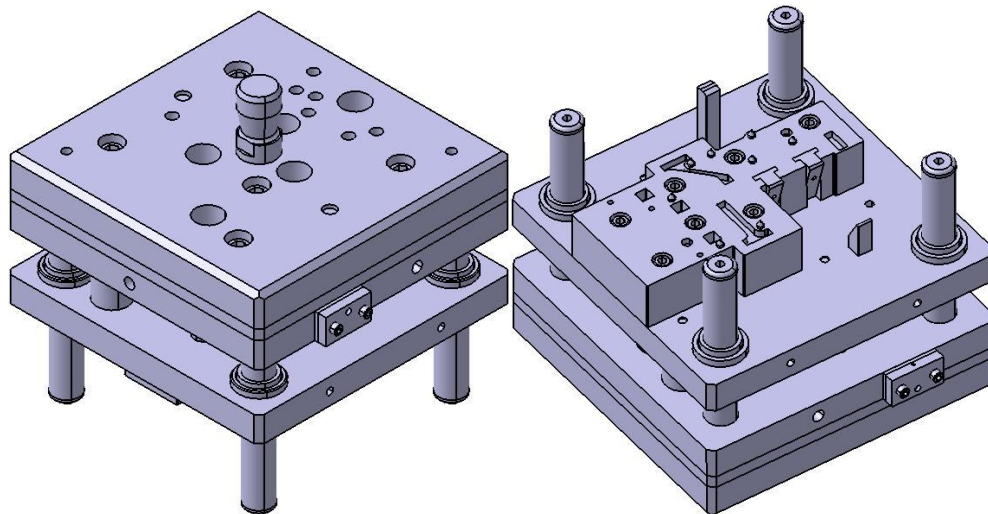
Ohyb je prováděn pomocí pákového mechanismu opět ve spodní části nástroje. Je zde kolébka, kterou ovládá trn v horní části nástroje a ta zase ovládá ohybník. Ohybník je opět vrácen do výchozí polohy dvojicí pružin. Aby se ohybník dostal z polohy spodní do polohy horní musí ohybník urazit dráhu 11 mm. Jelikož je pracovní zdvih nástroje 8,8 mm, jsou ramena kolébky v poměru 1,25 mm.



Obr. 29. Detail ohybu

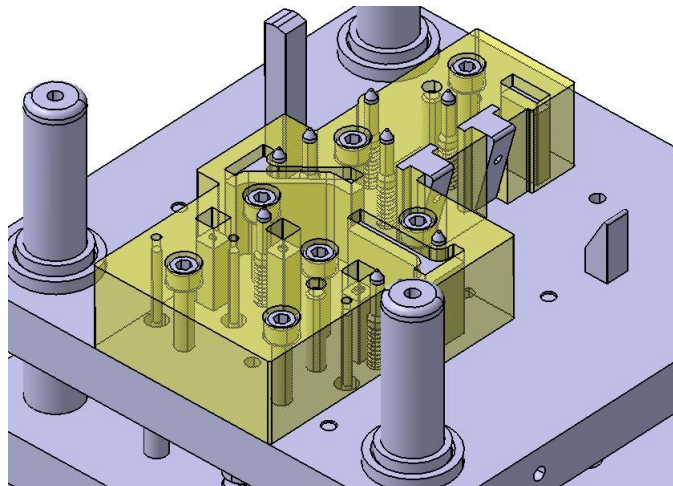
### 7.7.2 Horní část nástroje

Na obrázku horní části nástroje jsou opět zobrazeny všechny její součásti. V pravé části obrázku je vidět trn ohybu a trn kalibrace (s klínovitou částí). Horní část obsahuje dorazy horní, jimiž je dán pracovní zdvih. Všechny desky jsou opět vůči sobě vymezeny kolíky. Namáhané díly jsou z kvalitních nástrojových materiálů a ve většině případů také kaleny.



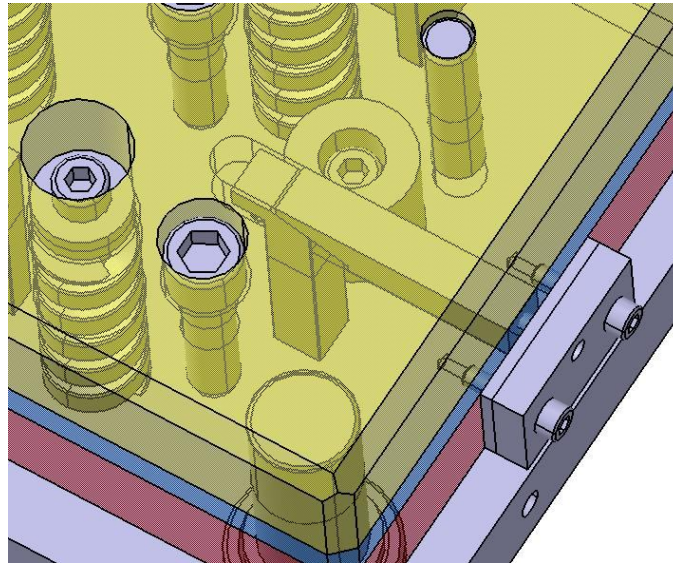
Obr. 30. Horní část nástroje

Zde jsou vidět hledáčky a jejich pružiny, zapuštěné střížníky a razníky a ohybnice.



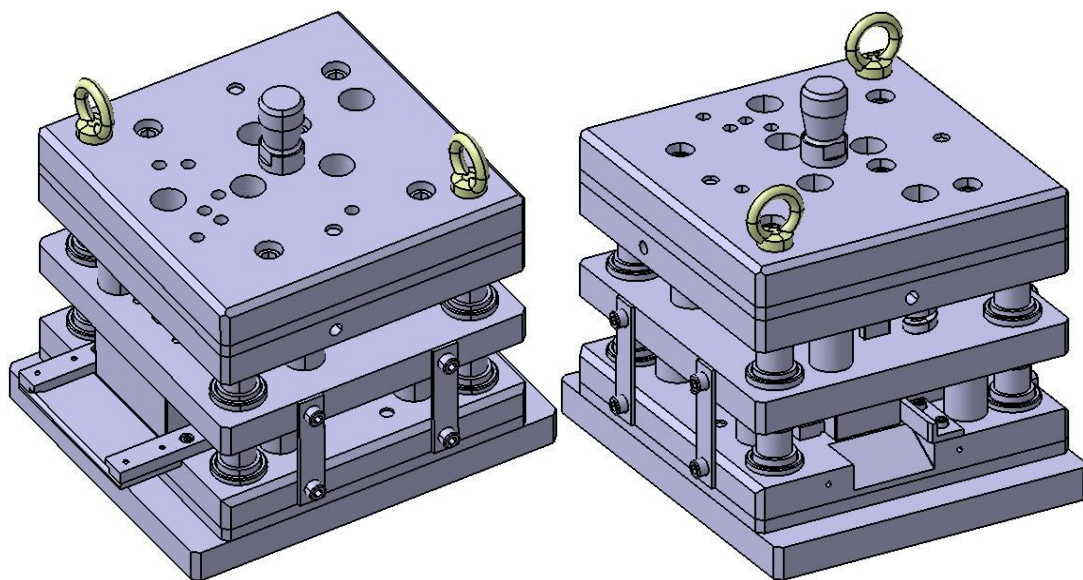
Obr. 31. Detail hledáčků

Zde je detail seřízení kalibrace. To je prováděno opět pomocí klínového mechanismu. Vodorovný klín je ovládán šroubem, jehož hlavička je uložena mezi dvojicí krytů. Vysouváním a zasouváním tohoto klínu se zvedá či vysunuje trn kalibrace, který je opět odpružen. Pomocí tohoto systému se dá velmi přesně nastavit finální ohnutí součásti. Klínový mechanismus byl odsimulován v programu CATIA, ale rozměry součástí mechanismu by se daly vypočítat i ručně.



Obr. 32. Detail seřízení kalibrace

### 7.7.3 Sestava nástroje



Obr. 33. Sestava nástroje

Horní a spodní část nástroje se spojí pomocí čtyř plechů a osmi šroubů. Na upínací desku se našroubují dvě transportní oka. Transportní oka jsou na nástroji z důvodu jeho vysoké hmotnosti, která činí 84,5 kg.

## 7.8 Ekonomické hodnocení projektu

Ekonomické hodnocení se dá realizovat několika způsoby. Je možné ho používat pro zjišťování neekonomičtější technologie pro výrobu dané součásti, pro zjišťování násobnosti nástroje, pro určení počtu výrobků, které musí nástroj vyrobit, aby byl při daném zisku zaplacen, apod.

Pro nástroj řešený v této práci je použito právě hodnocení, kdy se zjišťuje počet kusů, který je nutné vyrobit, aby byl nástroj zaplacen.

Nejprve je nutné znát jakou má nástroj cenu. V následující tabulce jsou ceny pro všechny komponenty nástroje.

Komponenta:	Ku- sů:	Cena v Kč (celková):	Komponenta:	Ku- sů:	Cena v Kč (celková):
Základová deska	1	15 480	Upínací deska	1	10 200
Opěrná deska sp.	1	11 795	Opěrná deska horní	1	6 900
Deska střížnic	1	26 270	Kotevní deska	1	26 185
Střížnice 1	3	1 920	Podpěrná deska	1	22 285
Střížnice 2	1	3 687	Vodící deska	1	26 645
Střížnice 3	1	4 592	Střížník 1	3	1 365
Střížnice 4	1	2 320	Razník 1	1	1 046
Raznice	3	645	Razník 2	1	1 274
Ohybník	1	3 220	Razník 3	1	1 362
Váleček ohybníku	1	470	Střížník 2	1	8 900
Kolík ohybníku	1	280	Střížník 3	1	9 100
Kolík příčný	1	250	Střížník 4	1	1 040
Kolébka	1	1 970	Ohybnice	2	1 322
Kolík kolébky	1	355	Trn ohybu	1	1 295
Klín kalibrace	1	1 790	Trn kalibrace	1	1 980
Držák klínu kalib.	1	2 239	Klín seřízení kalibrace	1	980
Doraz klínu kalib.	1	1 196	Kryt nastav. kalib. 1	1	390
Vodící lišta 1	1	2 207	Kryt nastav. kalib. 2	1	422
Vodící lišta 2	1	1 764	Hledáček	8	1 120
Vodící lišta 3	1	2 204	Stopka	1	1 420
Vedení pomocné	1	1 080	Doraz horní	4	1 152
Doraz spodní	4	1 220	Držák kolébky	1	2 795
Podpěrný plech	1	650	Plech transport	1	740
Zaváděcí doraz	1	650	Normalizované díly		10 000

Tab. 13. Ceny komponent nástroje

Z tabulky po sečtení cen všech komponent vychází cena nástroje na 228 172 Kč.

Jakmile je známa cena nástroje, je nutné ještě odhadnout, o kolik peněz se cena nástroje zvýší, než se vyrobí výše zmiňované požadované množství kusů (zvýšení ceny vlivem přebroušování střížnic a střížníků apod). Obvykle se tato navyšující hodnota pohybuje u podobných nástrojů kolem 20 000 Kč. Cena nástroje po zmiňovaném přebroušení pak je přibližně 250 000 Kč.

Nyní je již možné spočítat počet kusů, které je nutné vyrobit, pro zaplacení nástroje. Jelikož otázka zisku není ještě přesně dojednána, bude pro výpočet stanovena hodnota zisku na jeden kus 1,3 Kč.

$$\text{Počet kusů potřebný pro zaplacení nástroje} = \frac{\text{cena nástroje}}{\text{zisk na 1 kus}} = 192308ks$$

Pokud by bylo třeba zjistit dobu za kterou se daný počet kusů vyrobí, bylo by nutné vědět, jaký bude výrobní čas na 1 ks (v podobných případech se čas pohybuje kolem 2,5 s) a také zisk na jeden kus. Ve výpočtech je předpokládáno, že je nástroj již seřízen a běží 3600 s za hodinu (tzn. nepřetržitě), a že za jeden den bude nástroj v chodu 8 hodin.

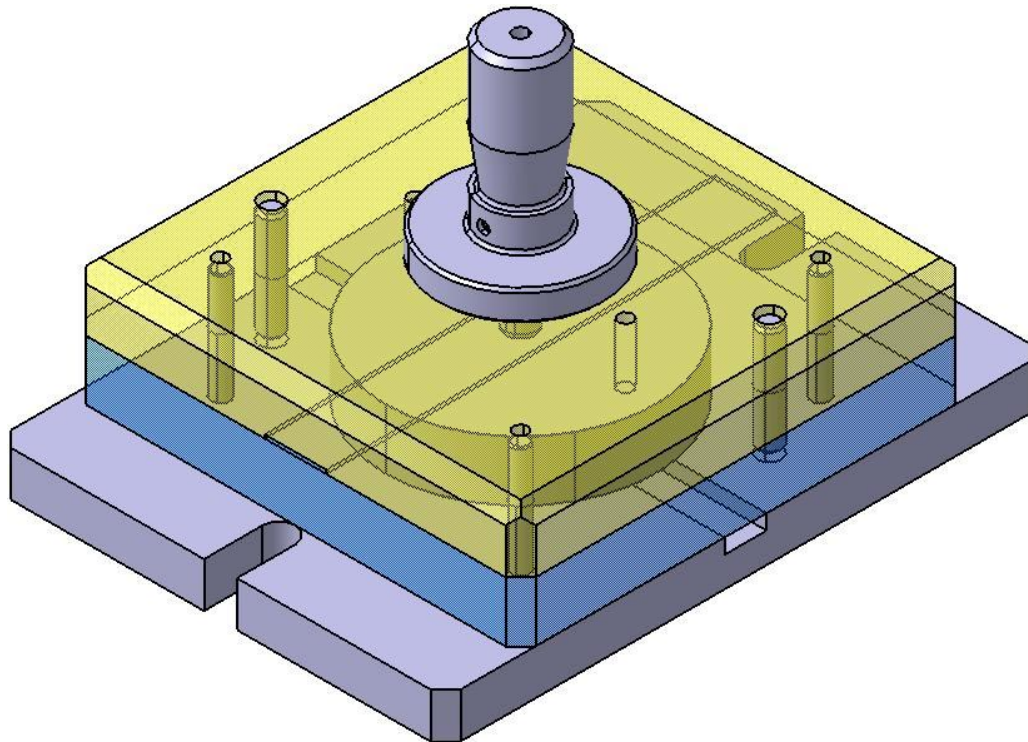
$$\text{Počet kusů za den} = \frac{3600}{\text{výrobní čas na 1 ks}} \cdot \text{hodin} = 11520ks$$

$$\text{Počet dnů} = \frac{\text{celkem kusů}}{\text{kusů za den}} \cong 17dnů$$



## 8 LABORATORNÍ NÁSTROJ

Zde je vidět kompletně sestavený laboratorní nástroj. Nyní je v něm vložena střížnice. V případě potřeby provádět ražení, vymění se střížnice za raznici (v tomto případě pryžovou vložku) a střížník za razník. Střížník a razník je uchycen ve stopce pomocí šroubu, který vjíždí do zápichu klínového tvaru na střížníku či razníku. Pro vyklepnutí střížnice (raznice) jsou ve vodící desce dva otvory. Pro vyklepnutí střížníku či razníku je ve stopce otvor jeden. Pro odstranění výstřížku z nástroje je v základové desce vyfrézována drážka.



Obr. 34. Laboratorní nástroj

V případě, že se bude razit, je nutné pod pryžovou vložku do drážky v základové desce vložit tento pásek.



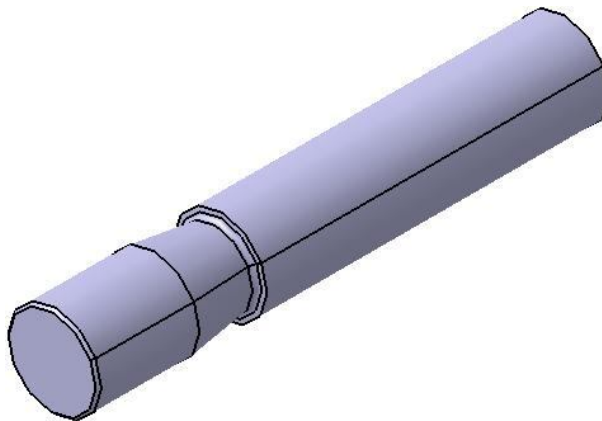
Obr. 35. Pásek

## 8.1 Střížná vůle

Střížná vůle pro materiál 11 373 a tloušťku plechu 1 mm byla určena 0,6 mm.

## 8.2 Výpočet sil

### 8.2.1 Výpočet střížné síly



Obr. 36. Střížník

Vzorec pro střížnou sílu:

$$F_S = S_s \cdot k_s \cdot K = l \cdot t \cdot k_s \cdot K$$

Nástroj je konstruován pro plech z oceli 11 373. Pro další výpočty je střížný odpor 350 MPa a mez pevnosti v tahu 500 MPa. Průměr střížníku je 10 mm.

Jelikož je nástroj velmi jednoduchý, bude za součinitel otupení břítu dosazena hodnota 1,4.

$$F_S = 31,4 \cdot 1 \cdot 350 \cdot 1,4 N = 15386 N$$

### 8.2.2 Výpočet stírací síly

Stírací síla se opět bere jako 10 % síly střížné

$$\frac{F_T}{N} = 0,1 \cdot F_S = 1538,6 N$$

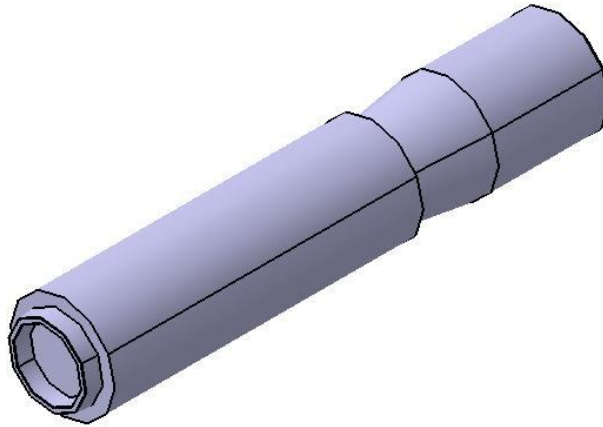
Lis, na kterém budou experimenty probíhat (CDC 2-7), vyvine zpětnou sílu 7,5 kN, což plně dostačuje.

### 8.2.3 Výpočet protlačovací síly

Součinitel protlačování dosazen z tabulky v teoretické části.

$$\frac{F_{PR}}{N} = 0,04 \cdot F_S = 615,4N$$

### 8.2.4 Výpočet razicí síly



Obr. 37. Razník

Razicí síla se opět spočítá ze vzorce:

$$F_R = S_R \cdot q$$

Hodnota  $q$  se opět bere jako  $1,6 \cdot R_m$ . Ražený průměr (střední) je 7 mm. Ražená plocha byla určena programem CATIA.

$$F_R = 17,2 \cdot 1,6 \cdot 500N = 13760N$$

### 8.2.5 Výpočet síly lisu

Síla potřebná pro stříhání:

$$F_L = F_{SC} + F_{PR}$$

$$\frac{F_L}{N} = 15386 + 615,4 = 16001,4N$$

Síla potřebná pro ražení:

$$F_L = F_R = 13760N$$



Lis, na němž budou experimenty probíhat (CDC 2-7) dovede vyvinout sílu 20 kN, což pro nástroj stačí.

### 8.3 Popis laboratorního nástroje

Na základě návrhu byla provedena konstrukce nástroje a posléze zajištěna i jeho výroba. Nástroj byl konstruován pokud možno co nejjednodušší, ale s možností dodatečných úprav, pro další experimenty.

Na následujících obrázcích je vidět konstrukční řešení nástroje.



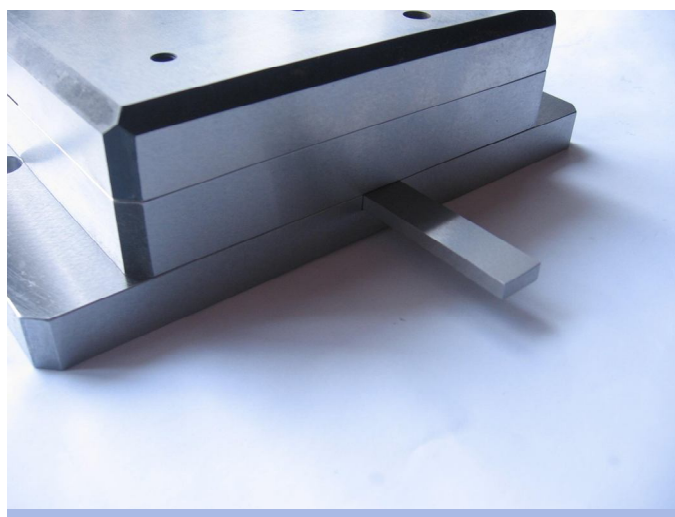
Obr. 38. Pohled na nástroj seshora

Na tomto obrázku je vidět již hotový nástroj. Všechny desky jsou sešroubovány. Kolíky jsou pouze v desce vodící a v desce kotevní. To zajišťuje přesné vymezení obou desek vůči sobě, ale také snadnou výměnu střížnice za raznici. To se provede tak, že se nástroj otočí, zesponu se odšroubují čtyři šrouby M6 a oddělá se základová deska. Poté je již přístupná střížnice. Pokud by nešla volně vysunout, jsou zde k dispozici výše zmiňované otvory pro její vyklepnutí.



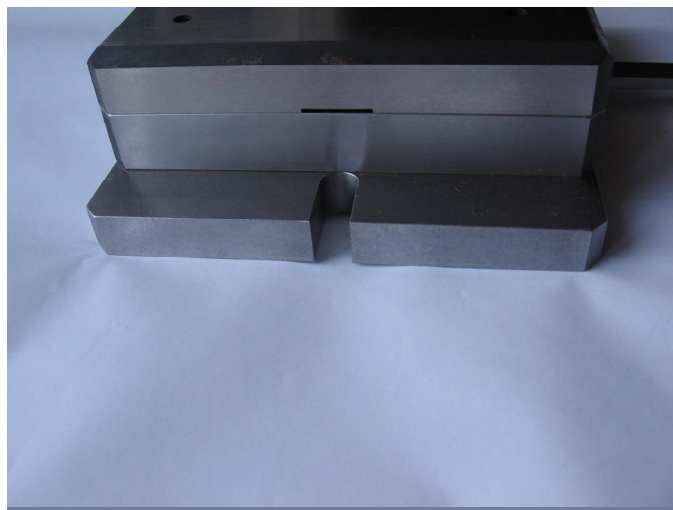
Obr. 39. Stopka s razníkem

Zde je fotografie stopky s razníkem. Ten je ve stopce volně vsazen a zajištěn šroubem, který se dotýká kuželového zápichu v razníku. V případě potřeby zvětšení ražené hloubky je možné razník vypodložit kalenou podložkou.



Obr. 40. Pásek pro ražení

Jelikož se uvažuje o ražení s pryžovou raznicí, je při ražení nutné zaslepit otvor pro výstřižky páskem, jak je vidět na obrázku z předchozí strany. To zamezí deformacím pryže. Pásek může také sloužit pro odstraňování výstřižků.



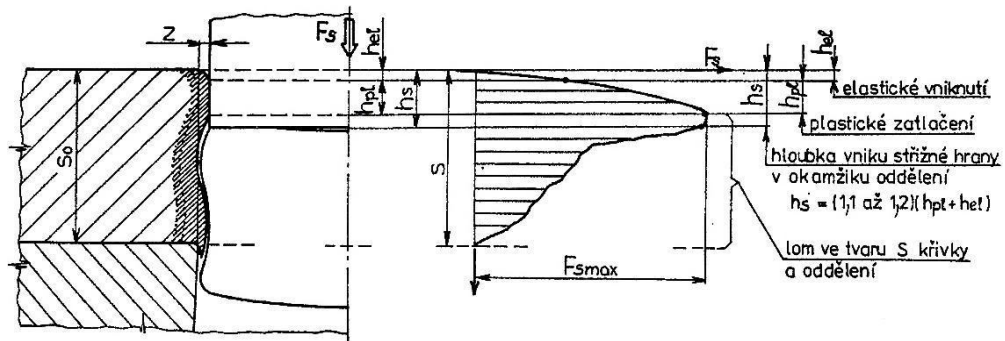
Obr. 41. Upnutí nástroje a vstupní otvor

Pro upnutí nástroje jsou k dispozici dvě drážky na základové desce. Na obrázku je také vidět otvor, kudy bude do nástroje vstupovat plech. V případě potřeby je možné tento otvor upravit, ale bude nutné počítat s tím, že je deska kalena a že je třeba změnit pracovní zdvih (zvětšit ho).

#### 8.4 Experimentální určení průběhu stříhání a ražení

Pomocí popisovaného laboratorního nástroje je možné měřit střížné a razicí síly. Měření a vyhodnocování těchto sil bude obsahem některé z budoucích bakalářských či diplomových prací. Postup seřízení nástroje bude: do beranu lisu se vloží stopka se střížníkem (či razníkem), na stůl lisu se uchytlí dynamometr, na němž je již připevněna spodní část nástroje. Střížník či razník bude veden ve vodicí desce. V případě potřeby je nutné vypočítat dynamometr podložkou, která zajistí vůli 7 mm mezi vodicí deskou a stopkou, nachází-li se beran v horní poloze. Zmiňovaných 7 mm je totiž pracovní zdvih. Přílišné zvětšení této vůle by mohlo mít za následek nedostatečné vedení střížníku či razníku ve vodicí desce, což by mohlo mít za následek nadměrné opotřebování.

Co se samotného vyhodnocování týče např. u střížných sil, tak bude možné určit jak velikost sil, tak i hloubku vniku střížníku do stříhaného materiálu v okamžiku oddělení a další charakteristiky, které také znázorňuje níže uvedený obrázek z literatury [12].



Obr. 42. Charakteristický průběh střížného procesu a střížné síly

## ZÁVĚR

Pro zadaný výrobek, kterým byl elektrotechnický kontakt, byl navrhnout a zkonstruován sdružený tvářecí nástroj. Výrobek bude realizován v deseti krocích. Jednotlivé kroky jsou koncipovány tak, aby nebylo nutné začlenit do nástroje dodatečné dělení odpadního materiálu. Mezi kroky výrobní byly záměrně umístěny i kroky, kde dochází ke středění materiálu. To je nutné zejména u stříhů obrysu a ohybů. Navržený nástřihový plán dává využití materiálu 55%. Při výrobě podobných výrobku se využití nezřídka kdy pohybuje i mnohem níže, z čehož lze usuzovat, že nástřihový plán byl zvolen vhodně. Jelikož bude plech odvíjen ze svitku, byla tomuto faktu také celková konstrukce nástroje přizpůsobena. Tím je míněno např. to, že do nástroje není umístěn krokový doraz, neboť krokování bude prováděno podavačem. Pro zavádění nového svitku do nástroje, je k dispozici doraz zaváděcí. Pro přesné vedení nástroje bylo použito praxí osvědčených normálií německé firmy STRACK.

Pro výrobu kontaktů je nutné použít lisu, který je schopen vyvinout sílu minimálně 240 kN. Pro montáž a vyladění nástroje se doporučuje použít ručního pákového lisu, kde se nejprve kalibrace nastaví na minimum a nástroj se nechá sjet na dorazy. Kontroluje se výskyt možných kolizí. Je-li vše v pořádku, nastaví se kalibrace na přibližnou hodnotu, do nástroje se již zavede plech a provede se zkušební výroba. Vše však ještě probíhá ručně. Pokud je vše v pořádku a není nutných dodatečných úprav, nástroj se umístí na lis a po seřízení již může pracovat.

Aby byla cena nástroje pokud možno co nejmenší, byl kladen velký důraz na dimenzování rozměrů zejména desek, střížnic a střížníků. Jelikož cena po kalkulaci vyšla na cca 250 000 Kč a odhad zisku na jeden výrobek je 1,3 Kč, je pro zaplacení nástroje nutné vyrobit 192 308 ks výrobků. Jelikož je však roční výroba odhadována na 850 000 ks výrobků, bude nástroj zaplacen relativně brzy.

Velká pozornost byla věnována volbě materiálu s ohledem na cenu. Na nejvíce namáhaných součástech byly použity osvědčené nástrojové oceli jako např. 19 436, 19 437. Materiály ostatních součástí byly voleny s ohledem na zatížení. Pokud by se zvýšila produkce a docházelo by k příliš rychlému opotřebování některých dílů, bylo by vhodné tyto díly vyrobit např. z materiálů vyrobených práškovou metalurgií (např. od firmy Uddeholm – materiál Vanadis), nebo součástí vyrobit z tvrdokovu.

Nástroj je také konstruován tak, aby umožňoval snadnou výměnu jednotlivých součástí bez příliš velké demontáže ostatních dílů.

Co se laboratorního nástroje týče, tak konstrukce byla volena pokud možno co nejjednodušší, opět s ohledem na snadnou výměnu součástí bez velké demontáže ostatních dílů. Nástroj bude umístěn na malém dílenském hydraulickém lisu, o síle 20 kN. Nástroj je dimenzován pro vstupní materiál ocel 11 373 o tloušťce 1 mm, ale do budoucna je možné dělat i experimenty s materiály jinými, což však přinese nutnost úprav nástroje.

Pro sdružený postupový nástroj byly vyhotoveny některé výkresy a technologické postupy. Z výkresů jsou patrné konstrukce jednotlivých uzlů. Pro laboratorní nástroj byla vytvořena kompletní výkresová dokumentace.

**SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY**

- [1] BLAŠČÍK, František, POLÁK, Karol. Teória tvárnenia. 1. vyd. Bratislava : Alfa - vydavateľstvo technickej a ekonomickej literatúry Bratislava, SNTL - Nakladateľství technické literatury Praha, 1985. 376 s.
- [2] FARLÍK, Alois, ONDRÁČEK, Emanuel. Teorie dynamického tváření. 1. vyd. Praha : SNTL - Nakladatelství technické literatury Praha, 1968. 316 s.
- [3] BOBČÍK, Ladislav. Střížné nástroje pro malosériovou výrobu. 1. vyd. Praha : SNTL - Nakladatelství technické literatury Praha, 1983. 216 s.
- [4] NOVOTNÝ, Josef, LANGER, Zdeněk. Stříhání a další způsoby dělení kovových materiálů. 1. vyd. Praha : SNTL - Nakladatelství technické literatury Praha, 1980. 216 s.
- [5] MACHEK, Václav, et al. Zpracování tenkých plechů. 1. vyd. Praha : SNTL - Nakladatelství technické literatury Praha, 1982. 272 s.
- [6] SRP, Karel, et al. Základy lisování. 1. vyd. Praha : SNTL - Nakladatelství technické literatury Praha, 1965. 248 s.
- [7] KRÍŽ, Rudolf, et al. Strojírenská příručka. 1. vyd. Praha : SCIENTIA Praha, 1998, 8. sv.: Tváření. 256 s. ISBN 80-7183-054-2.
- [8] FOREJT, Milan, PÍŠKA, Miroslav. Teorie obrábění, tváření a nástroje. 1. vyd. Brno : Akademické nakladatelství CERM Brno, 2006. 226 s. ISBN 80-214-2374-9.
- [9] NESLUŠAN, Miroslav, et al. Experimentálne metódy v trieskovom obrábaní. 1. vyd. Žilina : Žilinská univerzita v Žiline, 2007. 343 s. ISBN 978-80-8070-711-8.
- [10] HLUCHÝ, Miroslav, KOLOUCH, Jan, PAŇÁK, Rudolf. Strojírenská technologie 2 - 1. díl : Polotovary a jejich technologičnost. 2. upr. vyd. Praha : SCIENTIA Praha, 2001. 219 s. ISBN 80-7183-244-8.
- [11] HLUCHÝ, Miroslav, et al. Mechanická technologie. 1. vyd. Praha : SNTL - Nakladatelství technické literatury, 1966. 344 s.
- [12] FOREJT, Milan. Teorie tváření. 2. vyd. Brno : Akademické nakladatelství CERM Brno, 2004. 168 s. ISBN 80-214-2764-7.

**SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK**

$A$	[ $J$ ]	Střížná práce
$\alpha$	[ $^{\circ}$ ]	Úhel ohybu
$b$	[ $mm$ ]	Šířka plechu
$c_1$	[–]	Součinitel stírání
$c_2$	[–]	Součinitel protlačování
$\chi$	[ $^{\circ}$ ]	Úhel odpružení
$\varepsilon_C$	[–]	Deformace celková
$\varepsilon_E$	[–]	Deformace elastická
$\varepsilon_P$	[–]	Deformace plastická
$F_L$	[ $N$ ]	Síla lisu
$F_O$	[ $N$ ]	Ohýbací síla
$F_P$	[ $N$ ]	Přidržovací síla
$F_{PC}$	[ $N$ ]	Maximální síla vyvinutá pružinami
$F_{PR}$	[ $N$ ]	Protlačovací síla
$F_R$	[ $N$ ]	Razicí síla
$F_S$	[ $N$ ]	Střížná síla
$F_{SC}$	[ $N$ ]	Celková střížná síla
$F_{Si}$	[ $N$ ]	Dílní střížná síla ( $i - tá$ )
$F_T$	[ $N$ ]	Stírací síla
f,g	[ $mm$ ]	Vzdálenosti
$h$	[ $mm$ ]	Činná dráha pohyblivé čelisti



---

$IT$	$[-]$	Stupeň přesnosti
$K$	$[-]$	Součinitel otupení břitu
$K_A$	$[-]$	Součinitel hloubky vtlačení
$k$	$[-]$	Součinitel polohy neutrální vrstvy
$k_S$	$[MPa]$	Střížný odpor
$l$	$[mm]$	Délka stříhu
$l_R$	$[mm]$	Rozvinutá délka
$\mu$	$[-]$	Poissonovo číslo
$\pi$	$[-]$	Ludolfovo číslo
$q$	$[MPa]$	Měrný tlak
$r_{VO}$	$[mm]$	Vnitřní poloměr ohybu
$R_a$	$[\mu m]$	Průměrná aritmetická drsnost povrchu
$R_e$	$[MPa]$	Mez pružnosti ohýbaného plechu
$R_m$	$[MPa]$	Mez pevnosti v tahu
$r$	$[mm]$	Poloměr otupení břitu
$S_{PL}$	$[mm^2]$	Plocha polotovaru
$S_R$	$[mm^2]$	Plocha ražení
$S_S$	$[mm^2]$	Stříhaná plocha
$S_V$	$[mm^2]$	Plocha výstřižku
$T$	$[^{\circ}C, ^{\circ}K]$	Teplota
$T_{REK \min}$	$[^{\circ}C]$	Minimální rekrystalizační teplota
$T_{TAV}$	$[^{\circ}C, ^{\circ}K]$	Teplota tavení

---

$t$	$[mm]$	Tloušťka plechu
$V_0$	$[mm^3]$	Objem tělesa před plastickou deformací
$V_1$	$[mm^3]$	Objem tělesa po plastické deformaci
$W_O$	$[J]$	Ohýbací práce
$x_{FSi}$	$[mm]$	Vzdálenost od počátku v ose $x$ připadající těžišti $i$
$x_T$	$[mm]$	Vzdálenost od počátku v ose $x$ připadající těžišti střižných sil
$y_{FSi}$	$[mm]$	Vzdálenost od počátku v ose $y$ připadající těžišti $i$
$y_T$	$[mm]$	Vzdálenost od počátku v ose $y$ připadající těžišti střižných sil

**SEZNAM OBRÁZKŮ**

Obr. 1. Závislost deformačního napětí na deformaci .....	13
Obr. 2. Elasticko - plastická deformace ideálního krystalu .....	13
Obr. 3. Základní typy krystalových mřížek s příklady skluzových rovin a směrů .....	14
Obr. 4. Schémata uspořádání krystalů .....	15
Obr. 5. Pružná a plastická deformace monokrystalu skluzem a dvojčatěním.....	16
Obr. 6. Poruchy v kovech .....	17
Obr. 7. Rozsah tvářecích teplot u uhlíkových ocelí .....	22
Obr. 8. Plnění dutiny zápustky .....	26
Obr. 9. Průběh jednotlivých fází stříhání.....	29
Obr. 10. Deformace a napětí při stříhání.....	29
Obr. 11. Průběh střížné síly v závislosti na dráze střížníku pro různé materiály .....	32
Obr. 12. Různé využití materiálu pásu .....	37
Obr. 13. Tvar střížné plochy pro různé střížné vůle .....	39
Obr. 14. Kvalita střížné plochy.....	40
Obr. 15. Deformace a napětí při ohýbání .....	41
Obr. 16. Umístění otvoru nebo zářezu.....	44
Obr. 17. Vliv úpravy výchozího polotovaru pro ohyb na jakost okrajů .....	45
Obr. 18. Odružení při ohýbání.....	45
Obr. 19. Způsoby omezení odpružení při ohybu .....	46
Obr. 20. Ohýbání .....	47
Obr. 21. Schémata dynamometrů .....	53
Obr. 22. Výrobek.....	56
Obr. 23. Nástřihový plán.....	57
Obr. 24. Využití plechu.....	58
Obr. 25. Výpočet těžiště .....	61
Obr. 26. Spodní část nástroje .....	63
Obr. 27. Ohyb a kalibrace .....	63
Obr. 28. Detail kalibrace .....	64
Obr. 29. Detail ohybu .....	64
Obr. 30. Horní část nástroje.....	65
Obr. 31. Detail hledáčků .....	65

---

Obr. 32. Detail seřízení kalibrace.....	66
Obr. 33. Sestava nástroje .....	66
Obr. 34. Laboratorní nástroj .....	69
Obr. 35. Pásek .....	69
Obr. 36. Střížník .....	70
Obr. 37. Razník .....	71
Obr. 38. Pohled na nástroj seshora .....	72
Obr. 39. Stopka s razníkem.....	73
Obr. 40. Pásek pro ražení.....	73
Obr. 41. Upnutí nástroje a vstupní otvor .....	74
Obr. 42. Charakteristický průběh střížného procesu a střížné síly.....	75

**SEZNAM TABULEK**

Tab. 1. Teploty tavení a minimální rekrystalizační teploty některých kovů .....	24
Tab. 2. Střížné odpory vybraných ocelí .....	31
Tab. 3. Součinitel hloubky vtlačení.....	34
Tab. 4. Součinitele stírání a protlačování.....	35
Tab. 5. Střížné vůle.....	36
Tab. 6. Stanovení šíře odpadu u výstřížků.....	38
Tab. 7. Součinitel "k" pro určení polohy neutrální osy v závislosti na poloměru ohybu a tloušťce plechu .....	43
Tab. 8. Nejmenší poloměry ohybu .....	44
Tab. 9. Tvárnost neželezných kovů za studena .....	50
Tab. 10. Tvárnost neželezných kovů za tepla a tvářecí teplota.....	50
Tab. 11. Měrný tlak .....	51
Tab. 12. Délky střížných hran .....	58
Tab. 13. Ceny komponent nástroje.....	67

**SEZNAM PŘÍLOH**

P I	Nástroj kontakt – výkres sestavy	(DPMH-NK-000-S)
P II	Spodní část nástroje – výkres podsestavy	(DPMH-NK-000-S.1)
P III	Horní část nástroje – výkres podsestavy	(DPMH-NK-000-S.2)
P IV	Kusovník nástroje kontakt	(DPMH-NK-000-K)
P V	Kontakt – výkres	(DPMH-NK-000-V)
P VI	Střížnice 3 – výkres	(DPMH-NK-006)
P VII	Střížník 1 – výkres	(DPMH-NK-030)
P VIII	Střížnice 3 – technologický postup	(DPMH-NK-006-TP)
P IX	Střížník 1 – technologický postup	(DPMH-NK-030-TP)
P X	Laboratorní nástroj – výkres sestavy	(DPMH-NL-000-S)
P XI	Kusovník laboratorního nástroje	(DPMH-NL-000-K)
P XII	Základová deska – výkres	(DPMH-NL-001)
P XIII	Kotevní deska – výkres	(DPMH-NL-002)
P XIV	Vodicí deska – výkres	(DPMH-NL-003)
P XV	Střížnice – výkres	(DPMH-NL-004a)
P XVI	Střížník – výkres	(DPMH-NL-005a)
P XVII	Razník – výkres	(DPMH-NL-005b)
P XVIII	Stopka – výkres	(DPMH-NL-006)
P XIX	Pásek – výkres	(DPMH-NL-007)
P XX	Fotografie sestavy měřicí aparatury a měření sil	