



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING
INSTITUTE OF MANUFACTURING TECHNOLOGY

VÝROBA SOUČÁSTI TECHNOLOGIÍ OHÝBÁNÍ

THE PART MANUFACTURING BY BENDING

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

MICHAL KUMMER

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. MICHAELA MAREČKOVÁ

BRNO 2009

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Ústav strojírenské technologie
Akademický rok: 2008/2009

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

student(ka): Michal Kummer

který/která studuje v **bakalářském studijním programu**

obor: **Strojírenská technologie (2303R002)**

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

Výroba součásti technologií ohýbání

v anglickém jazyce:

The part manufacturing by bending

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Práce je zaměřena na výrobu součásti z nerezového plechu, s otvorem ve tvaru čtverce. Součást bude vyráběna technologií stříhání a ohýbání. V práci by měl být navržen postup výroby součásti včetně návrhu nástroje.

Cíle bakalářské práce:

Vypracování aktuální literární studie se zaměřením na technologii stříhání a ohýbání. Návrh vhodné technologie a vypracování postupu výroby součásti, provedení technologických výpočtů, návrh sestavy nástroje, technicko-ekonomické zhodnocení a závěr.

Seznam odborné literatury:

DVOŘÁK, M., GAJDOŠ, F. a NOVOTNÝ, K. Technologie tváření – plošné a objemové tváření. 2. vyd. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2003. 170 s. ISBN 80-214-2340-4.

NOVOTNÝ, J., LANGER, Z. Stříhání a další způsoby dělení kovových materiálů. 1. vyd. Brno: SNTL – Nakladatelství technické literatury, n. p., Redakce báňské a strojírenské literatury, 1980. 216 s. L 13-B3-IV- 41/22674.

FOREJT, M. a PÍŠKA, M. Teorie obrábění, tváření a nástroje. 1. vyd. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2006. 226 s. ISBN 80-214-2374-9.

BOLJANOVIC, V. Sheet metal forming processes and die design. 1. vyd. New York: Industrial Press, 2004. 220 s. ISBN 0-8311-3182-9.

Vedoucí bakalářské práce: Ing. Michaela Marečková

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2008/2009.

V Brně, dne 14.11.2008

L.S.

doc. Ing. Miroslav Píška, CSc.
Ředitel ústavu

doc. RNDr. Miroslav Doupovec, CSc.
Děkan fakulty

Abstrakt

Obsahem této práce je návrh technologického postupu výroby zadané součásti, návrh výrobního nástroje, výpočet střížných a ohýbacích sil a další nutné výpočty. Součástí je také rozbor problematiky stříhání a ohýbání, zabývající se teoretickými aspekty výroby těmito technologiemi.

V příloze práce je obsažen výkres sestavení, který poskytuje náhled na výrobní nástroj, dále výkresy ohybníku a ohybnice a také výkres vlastní vyráběné součásti.

Klíčová slova

Stříhání, ohýbání, nerezový plech.

Abstract

This project contains suggestion of technological production procedure of the component and the suggestion of the production tool and necessary calculations of shearing and bending forces, etc. The theory of bending and shearing is included too.

The plan of the unit block layout, of the component and plans of cutter and bender are included at supplement.

Keywords

Cutting, bending, stainless steel.

Bibliografická citace práce

KUMMER, M. *Výroba součástí technologií ohýbání*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2009. 32 s. Vedoucí bakalářské práce Ing. Michaela Marečková.

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že předložená bakalářská práce je původní a zpracoval jsem ji samostatně. Prohlašuji, že citace použitých pramenů je úplná, že jsem ve své práci neporušil autorská práva (ve smyslu Zákona č. 121/2000 Sb., o právu autorském a o právech souvisejících s právem autorským).

V Brně dne 28. 5. 2009

.....
podpis

Poděkování

Děkuji Ing. Michaele Marečkové za pomoc a konzultace při tvorbě bakalářské práce. Dále děkuji firmě ANTREG, a. s. za spolupráci a podporu při konstrukci nástroje.

Obsah

ZADÁNÍ

ABSTRAKT

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE PRÁCE

ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

PODĚKOVÁNÍ

OBSAH

1	ÚVOD	8
2	STŘÍHÁNÍ	9
2.1	Průběh stříhání.....	10
2.2	Střížný odpor.....	11
2.3	Střížná síla.....	12
2.4	Střížná práce.....	13
2.5	Střížná vůle.....	13
2.6	Umístění stopky nástroje.....	14
2.7	Technologičnost konstrukce stříhaných součástí.....	15
2.8	Stroje a nástroje pro stříhání.....	16
3	OHÝBÁNÍ	17
3.1	Odpružení po ohybu.....	17
3.2	Minimální a maximální poloměr ohybu.....	19
3.3	Neutrální vrstva.....	20
3.4	Stanovení délky výchozího polotovaru.....	21
3.5	Zúžení.....	21
3.6	Síly při ohýbání.....	22
3.7	Technologičnost konstrukce ohýbaných součástí.....	22
3.8	Přesnost při ohýbání.....	23
3.9	Stroje a nástroje pro ohýbání.....	23
4	NÁVRH TECHNOLOGIE VÝROBY	24
4.1	Nástřihový plán.....	24
4.2	Výpočet rozvinuté délky součásti.....	24
4.3	Technologické výpočty.....	25
4.4	Ekonomické využití materiálu.....	30
4.5	Výpočet spotřeby materiálu.....	30
4.6	Návrh stroje.....	31
5	ZÁVĚR	32

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

SEZNAM PŘÍLOH

1 Úvod

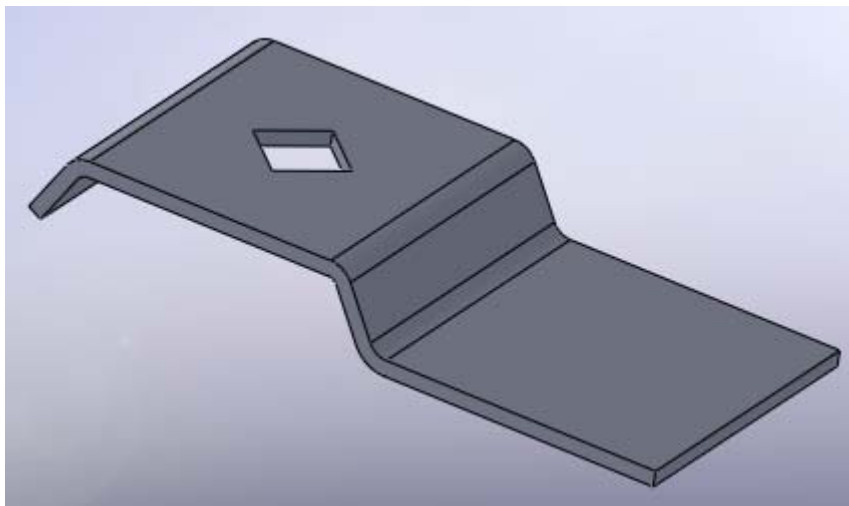
V současné době je oblast zpracování kovů, plastů a vývoj nových technologií rozsáhlou činností lidského snažení. Mezi nejčastěji užívané technologie zpracování plechů patří tváření.

Tvářením se dosahuje požadovaného tvaru součásti bez porušení celistvosti materiálu. Jedná se o beztržkové zpracování materiálu, u kterých je polotovar plasticky deformován tvářecími nástroji. Působením vnějších sil získává materiál požadovaný tvar přemísťováním částic objemu. Mezi výhody patří vysoká produktivita práce, vysoké využití materiálu a velmi dobrá rozměrová přesnost tvářeného materiálu. Tváření se dělí na dva základní způsoby a to na plošné a objemové tváření.

U plošného tváření se dosahuje žádaného tvaru součásti bez podstatné změny průřezu nebo tloušťky výchozího materiálu. Proces tváření probíhá nejčastěji za studena a mechanické vlastnosti tvářeného materiálu se nemění. Plošné tváření zahrnuje technologie jako je stříhání, ohýbání, tažení a tlačení.

U objemového tváření se žádaného tvaru součásti dosahuje změnou průřezu nebo tvaru výchozího materiálu, přičemž objem tohoto materiálu zůstává konstantní. Proces tváření probíhá převážně za tepla. Objemové tváření představují technologie jako je kování, válcování, protlačování a tažení.

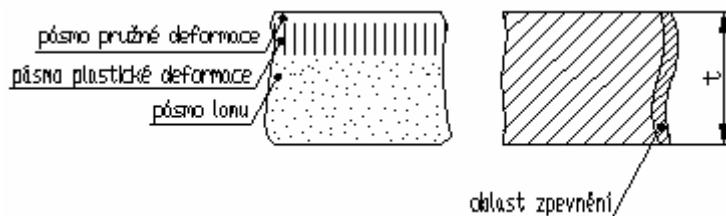
Bakalářská práce řeší výrobu součásti na sdruženém lisovacím nástroji. Jedná se o zpracování součásti z materiálu 17 240 (1.4301) technologiemi stříhání a ohýbání.



Obr. 1.1 Držák

2 Stříhání

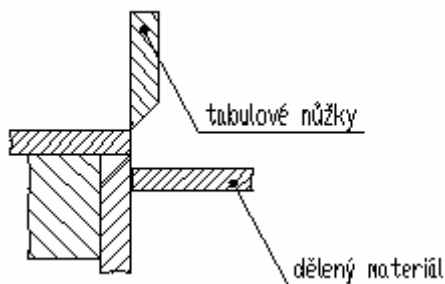
Stříhání je základní operací postupného nebo současného dělení materiálu podél křivky stříhu, která je dána relativním pohybem dvou břitů. Přesnost a kvalita střížné plochy závisí na mnoha faktorech, zejména na velikosti střížné mezery, vlastnostech stříhaného materiálu, kvalitě střížného nástroje, způsobu stříhání aj. [10]



Obr. 2.1 Tvar střížné plochy [11]
t – tloušťka stříhaného materiálu [mm]

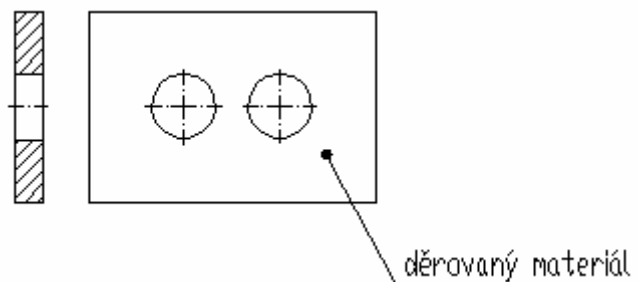
Mezi základní střížné operace patří prosté stříhání, vystřihování, děrování, prostřihování, prosekávání, ostříhování, přistřihování, vysekávání a přesné stříhání. [2] Z hlediska výroby zadané součásti budou popsány operace potřebné k její výrobě.

Prosté stříhání je dělení materiálu nebo polotovaru na jednotlivé části proti sobě jdoucími noži, ať už rovnoběžnými či zkoseným horním a rovnoběžným spodním.



Obr. 2.2 Schéma nástroje prostého stříhání [2]

Děrování je prostřihování otvoru v materiálu nebo polotovaru, přičemž vystřižená část tvoří odpad. [2]

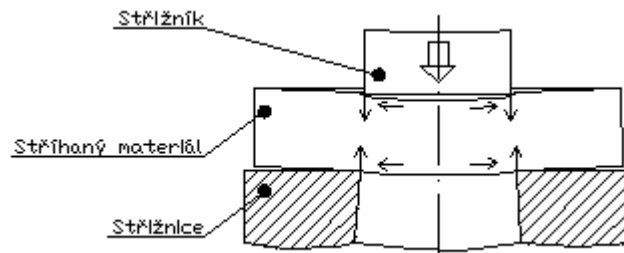


Obr. 2.3 Schéma děrování [2]

2.1 Průběh stříhání

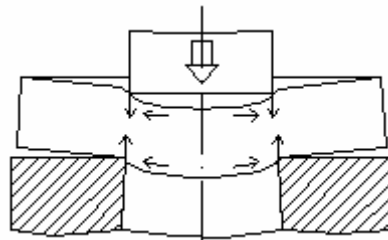
Proces stříhání lze rozdělit na tři základní fáze:

V první fázi při vnikání střížníku do materiálu dochází k pružné deformaci stříhaného materiálu. Hloubka vniku střížníku do stříhaného materiálu závisí na mechanických vlastnostech materiálu a zaujímá $(5 \div 8)$ % tloušťky tohoto materiálu (obr. 2.4).



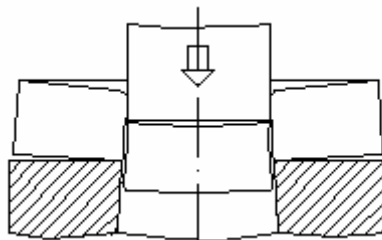
Obr. 2.4 První fáze stříhání [11]

Ve druhé fázi je napětí ve stříhaném materiálu větší než mez kluzu a dochází k jeho trvalé plastické deformaci. Hloubka vniku střížníku bývá v rozmezí $(10 \div 25)$ % tloušťky materiálu (obr. 2.5).



Obr. 2.5 Druhá fáze stříhání [11]

Ve třetí fázi překročí napětí ve stříhaném materiálu mez pevnosti ve střihu. Dochází ke vzniku trhlinek, které se rychle šíří a tím dojde k oddělení materiálu (obr. 2.6). [11]



Obr. 2.6 Třetí fáze stříhání [11]

2.2 Střížný odpor

Střížný odpor je odolnost stříhaného materiálu proti svému oddělení. [2] Závisí na mnoha faktorech, jako je druh stříhaného materiálu, jeho tloušťka, rozměr, křivka stříhu, velikost střížné vůle, konstrukce nástroje atd.

Faktory, které ovlivňují střížný odpor materiálu:

- materiál – s rostoucí pevností střížný odpor roste,
- tloušťka materiálu – se zvyšující se tloušťkou se střížný odpor zmenšuje,
- délka křivky stříhu – s rostoucí délkou se střížný odpor zmenšuje,
- střížná mezera – při příliš malé se střížný odpor rychle zvětšuje, nejmenší střížný odpor je při optimální velikosti mezery,
- podmínky stříhání – rychlost stříhání, mazání a stav střížných hran nástroje mění střížný odpor. [14]

Praktické hodnoty střížného odporu pro oceli jsou uvedeny v tab. 2.1.

Tab. 2.1 Hodnoty střížného odporu pro oceli [2]

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

2.3 Střížná síla

Střížná síla je potřebná k vystřížení výstřížku z pásu plechu. Aby se zabránilo poškození lisu, je důležité znát velikost a průběh střížné síly. Velikost střížné síly se mění v průběhu pracovního zdvihu. V libovolném okamžiku je dána součinem dvou proměnných veličin a to součinem střížného odporu a stříhané plochy. [2]

Výpočet střížné síly F_S [13]:

$$F_S = n \cdot S \cdot \tau_{ps} = n \cdot l \cdot t \cdot 0,8 \cdot R_m \quad [\text{N}] \quad (1)$$

kde: F_S – střížná síla [N]

n – koeficient zahrnující opotřebení nástroje [-], $n = 1,15 \div 1,3$

S – plocha stříhu [mm^2]

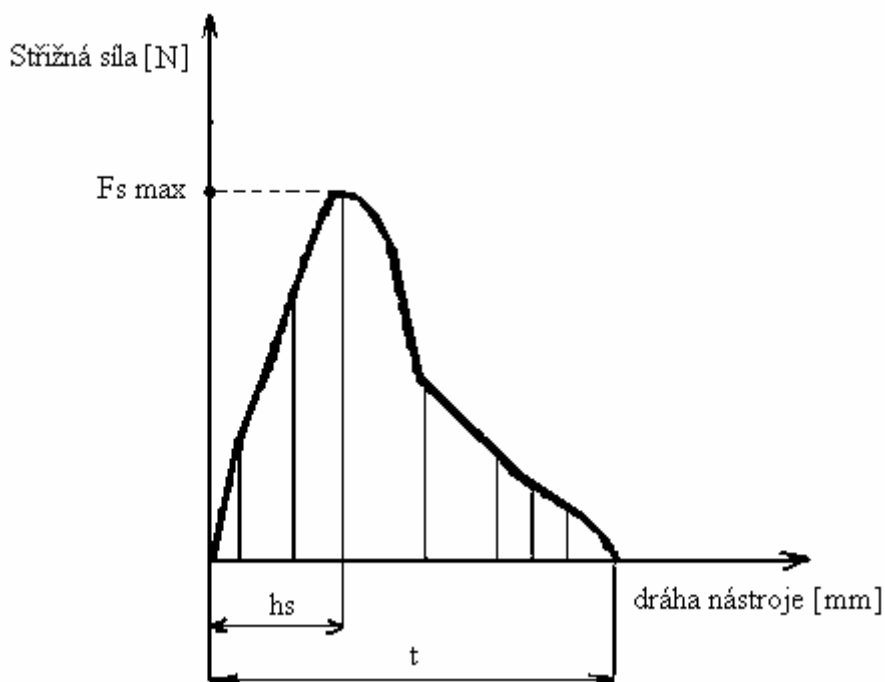
τ_{ps} – střížný odpor ($\tau_{ps} = 0,8 \cdot R_m$) [MPa]

l – délka stříhu (obvod všech stříhaných částí) [mm]

t – tloušťka stříhaného materiálu [mm]

R_m – mez pevnosti materiálu v tahu [MPa]

Charakteristický průběh střížné síly je uveden na obr. 2.7.

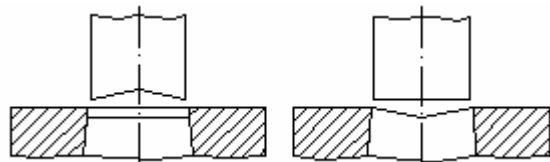


Obr. 2.7 Průběh střížné síly [11]

h_s – maximální hloubka vniknutí střížníku, při které dochází k úplnému porušení materiálu lomem [mm], t – tloušťka stříhaného materiálu [mm], $F_{S_{\max}}$ – max. střížná síla [N].

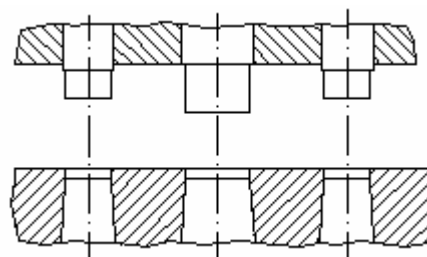
Dle velikosti střížné síly se určuje velikost lisu, potřebného pro vystřížení dané součásti.

V případě potřeby snížení střížné síly se používají zkosené střížníky (obr. 2.8 a) obvykle pro děrování nebo zkosené střížnice pro vystřihování (obr. 2.8 b). Pro děrování nebo vystřihování více otvorů nebo součástí na jeden zdvih lisu se používají stupňovitě uspořádané střížníky (obr. 2.9). [15]



a) b)
Obr. 2.8 Úprava střížných hran [15]

- a) – schéma zkoseného střížníku
b) – schéma zkosené střížnice



Obr. 2.9 Odstupňování střížníků [15]

2.4 Střížná práce

Střížná práce nutná pro vystřížení součásti z materiálu je přímo úměrná střížné síle a hloubce vtažení střížníku do materiálu.

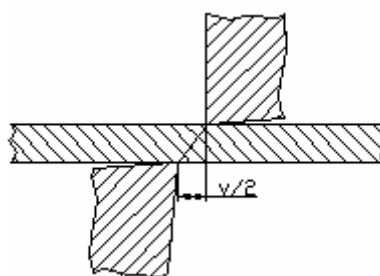
Výpočet střížné práce:

$$A_s = k \cdot F_s \cdot t \quad [\text{J}] \quad (2)$$

kde: k – koeficient hloubky vtažení, závislý na druhu a tloušťce materiálu [mm] [2]

2.5 Střížná vůle

Střížná vůle je rozdíl mezi rozměrem střížnice a střížníku. Jednostranný rozdíl tvoří střížnou mezeru. Při správné velikosti střížné vůle dochází k tomu, že se trhliny vzniklé při stříhání setkají (obr. 2.10). Střížná vůle se vytváří zmenšováním rozměru střížníku při přesném stříhání vnějšího tvaru výstřížku nebo zvětšováním rozměru střížnice při děrování otvorů. Velikost střížné vůle závisí na mnoha faktorech, jako je především druh stříhaného materiálu a jeho tloušťka.



Obr. 2.10 Tvar střížné plochy pro správnou střížnou vůli [2]

Výpočet střižné vůle v :

$$v = 2 \cdot m \quad [\text{mm}] \quad (3)$$

kde: m – střižná mezera [mm]

Pro plechy tloušťky $t \leq 3\text{mm}$ platí:

$$v = c \cdot t \cdot 0,32 \cdot \sqrt{\tau_{ps}} \quad [\text{mm}] \quad (4)$$

Pro plechy tloušťky $t > 3\text{mm}$ platí:

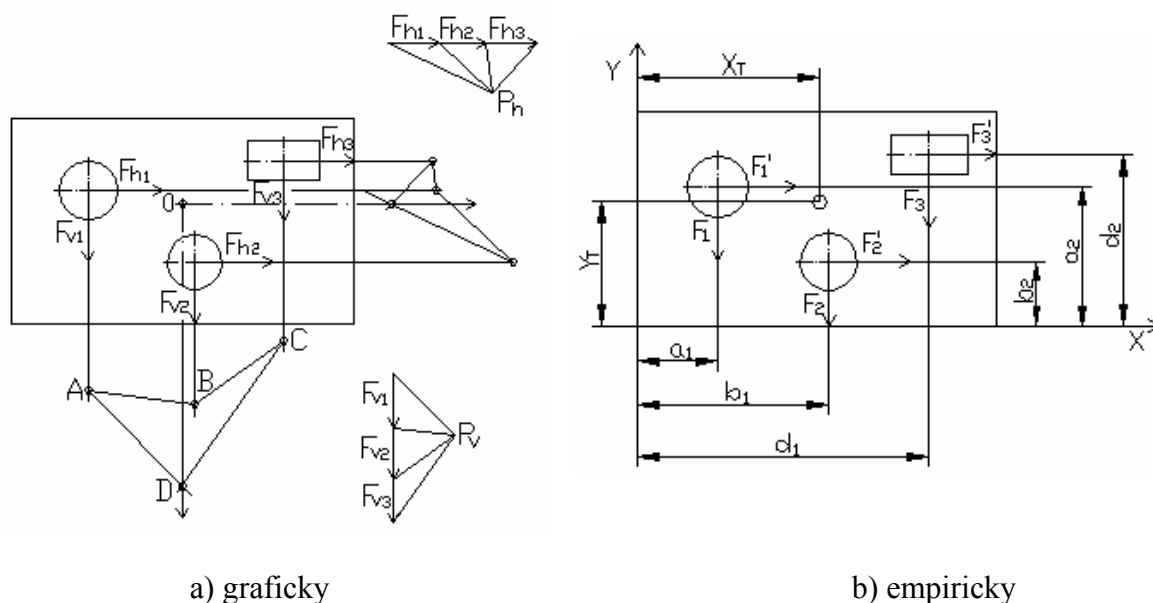
$$v = 0,32 \cdot (1,5 \cdot c \cdot t - 0,15) \cdot \sqrt{\tau_{ps}} \quad [\text{mm}] \quad (5)$$

kde: c – součinitel závislý na druhu stříhání [-], $c = 0,005 \div 0,025$

τ_{ps} – pevnost materiálu ve stříhu [MPa] [2]

2.6 Umístění stopky nástroje

Pro zjištění polohy stopky je nutné zjistit těžiště střižných sil. Při stříhání na postupových stříhadlech je důležité, aby výslednice střižných sil působila v ose lisu. Působíště výslednice se dá zjistit výpočtem nebo graficky. Při početním řešení se vychází z rovnovážného stavu, u kterého je součet momentů sil ke zvolené přímce roven nule. U grafického řešení je hledané těžiště – působíště výslednice střižných sil dáno průsečíkem silové výslednice ve směru vertikálním a horizontálním (obr. 2.11).



Obr. 2.11 Určení těžiště sil [15]

F_{v1} , F_{v2} , F_{v3} – střižné síly ve směru vertikálním [N], F_{h1} , F_{h2} , F_{h3} – střižné síly ve směru horizontálním [N], P_v , P_h – pól [-], F_1 , F_2 , F_3 – sřižné síly v ose y [N], F'_1 , F'_2 , F'_3 – střižné síly v ose x [N], X_T , Y_T – souřadnice výslednice sil [mm]

Pro empirický výpočet dle obr. 2.11 plyne [15]:

$$X_T = \frac{F_1 \cdot a_1 + F_2 \cdot b_1 + F_3 \cdot d_1}{F_1 + F_2 + F_3} \quad [\text{mm}] \quad (6)$$

$$Y_T = \frac{F_1^I \cdot a_2 + F_2^I \cdot b_2 + F_3^I \cdot d_2}{F_1^I + F_2^I + F_3^I} \quad [\text{mm}] \quad (7)$$

2.7 Technologičnost konstrukce stříhaných součástí

Technologičnost konstrukce výstřížků je důležitým předpokladem dokonalého technologického postupu a má výrazný vliv na hospodárnost výroby.

Technologičnost konstrukce má uznávat činitele, které ovlivňují proces stříhání:

- nedokonalost procesu stříhání (drsnost atd.),
- mechanická pevnost stříhaného materiálu a funkčních dílů střížného nástroje,
- výrobní možnost střížného nástroje.

Pro plynulou a ekonomickou výrobu výstřížků je nutné dodržovat tyto zásady:

- nezmenšovat tolerance vnějších rozměrů, otvorů a jejich roztečí,
- dávat přednost kruhovým otvorům z důvodu levnější výroby,
- nepředepisovat drsnost střížné plochy, drsnost ustřížené plochy odpovídá přibližně drsnosti hřbetu břitů,
- nepředepisovat kolmost střížné plochy,
- předepisovat jen nezbytnou rovinnost,
- velikost stříhaných otvorů je závislá na tloušťce a druhu materiálu a na konstrukci a typu stříhadla,
- vzdálenost otvorů od okraje výstřížku nebo mezi otvory je uvedena v příloze č. 1,
- nejmenší šířka štíhlých výstřížků a šířka vyčnívajících částí nemá být menší než 1,5 tloušťky stříhaného materiálu,
- rohy na výstřížku mají být zaobleny nebo sraženy,
- podle pevnosti stříhaného materiálu je možné doporučit nejmenší úhel rohu:

$$\sigma_p = 600 \text{ MPa} \quad \alpha = 90^\circ,$$

$$\sigma_p = 300 \text{ MPa} \quad \alpha = 60^\circ,$$

$$\sigma_p = 300 \text{ MPa} \quad \alpha = 45^\circ.$$

- při stříhání na nůžkách se volí tvar součásti tak, aby jeho vystřížení vyžadovalo malý počet stříhů,
- z hlediska využití materiálu je nejvhodnější tvar rovnoběžníka,
- kruhový obrys, u kterého je ztráta přibližně 30% materiálu, je nevhodný,
- rozvětvené tvary výstřížků jsou nevhodné. [2]

2.8 Stroje a nástroje pro stříhání

Stříhání se provádí na tabulových a kotoučových nůžkách. Tabulové nůžky (obr. 2.12) jsou nůžky se skloněnými noži a kotoučové nůžky jsou s noži kruhovými. Kotoučové nůžky se rozdělují na okružní nůžky s různoběžnými vřeteny, křivkové nůžky s různoběžnými vřeteny, okrajovací nůžky a nůžky na pásy. Dále se používají nože rovnoběžné a nože na profily a tyče. [14]

U tvářecích nástrojů pro plošné tváření je možné sdružovat některé technologie do jednoho nástroje, provádět v nástroji mezioperační dopravu a to podavačem, nebo za pomoci vlastního odpadu, dále je možné rozdělit plastickou deformaci do řady operací v jednom nástroji.

Podle sledu operací a zajištění mezioperační dopravy se tvářecí nástroje dělí na:

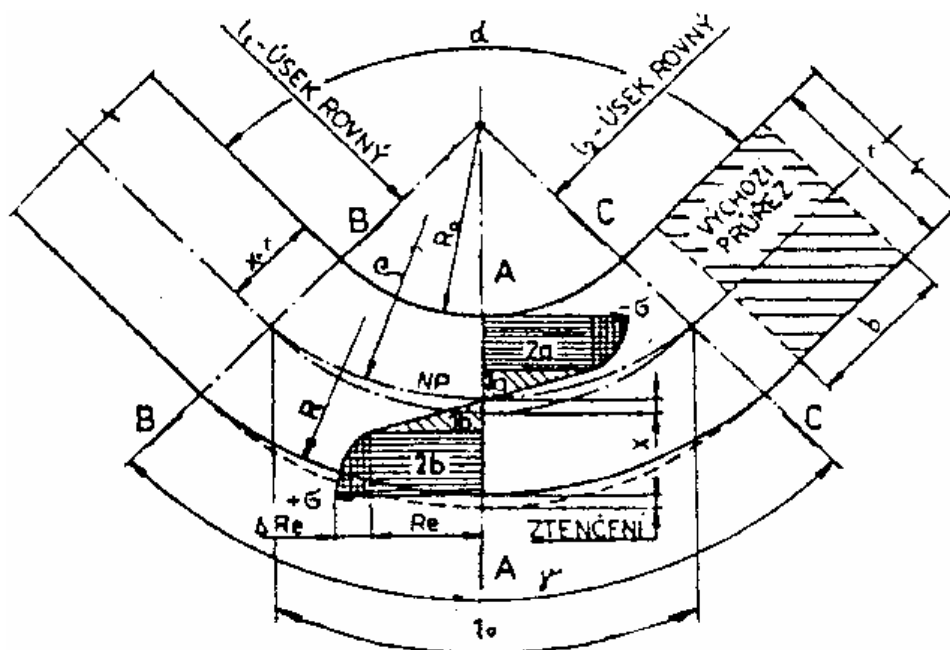
- sloučené nástroje, u kterých se tváření provádí v jedné operaci,
- postupové nástroje, tváření se provádí na více operací, na více kroků,
- postupové sdružené nástroje, tváření se provádí na více operací v technologicky různých operacích, na více kroků,
- nástroje pro postupové lisy. [12]



Obr. 2.12 Tabulové nůžky TruShear 3133 [17]

3 Ohýbání

Ohýbání je trvalé přetváření materiálu, při kterém se vlivem vzniklého napětí od působící síly ohýbají nebo rovnají součásti z plechu, tyčí a drátů. Požadovaného tvaru se u většiny součástí dosahuje i několika ohyby. [10]

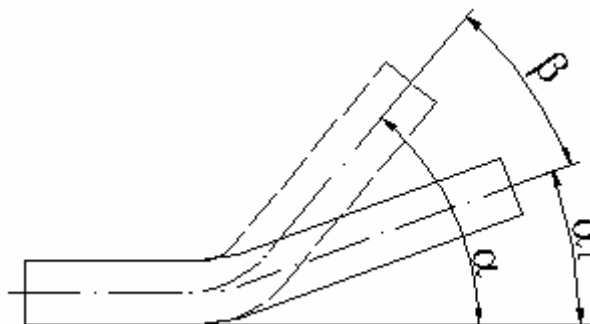


Obr. 3.1 Schéma ohýbání [10]

- 1a, 1b – oblast pružné deformace
- 2a, 2b – oblast plastické deformace se zpevněním ΔRe
- x – velikost posunutí neutrální plochy (NP) od původní osy průřezu
- R_0 – poloměr ohybu
- l_0 – délka ohnutého úseku v neutrální ploše
- ρ – poloměr neutrální plochy (NP)
- γ – úhel ohnutého úseku ($\gamma = 180 - \alpha$)
- α – úhel ohybu
- t – tloušťka ohýbaného materiálu

3.1 Odpružení po ohybu

Odpružení po ohybu vzniká při ohýbání za studena vlivem pružných deformací, které jsou vratné. Ohýbaná součást se vlivem pružných deformací po ukončení ohybu a odtížení vrátí o úhel odpružení, který má za následek, že ohýbaná součást se svým tvarem liší od tvaru ohýbadla. Ohýbadla jsou proto konstruována na dané ohyby zvětšené o úhel odpružení. [11]



Obr. 3.2 Odpružení po ohybu [11]

α – úhel ohybu, α_1 – výsledný úhel po odpružení, β – úhel odpružení

Výpočet úhlu odpružení β pro V - ohyb:

$$\operatorname{tg} \beta = 0,375 \cdot \frac{l_v}{k_n \cdot t} \cdot \frac{R_e}{E} \rightarrow \beta \quad [^\circ] \quad (8)$$

kde: l_v – vzdálenost mezi opěrami ohybnice [mm]

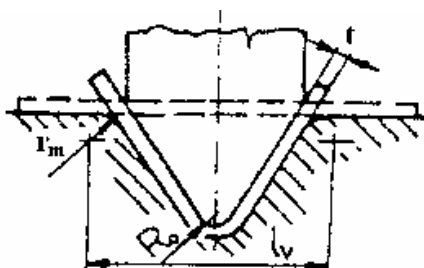
k_n – součinitel určující polohu neutrální plochy [-], $k_n = 1-x$

x – posunutí neutrální plochy [-], hodnoty jsou uvedeny v tab. 3.1

t – tloušťka ohýbaného materiálu [mm]

R_e – mez kluzu materiálu [MPa]

E – modul pružnosti v tahu [MPa]



Obr. 3.3 Schéma k výpočtu velikosti odpružení pro V ohyb [10]

Tab. 3.1 Střední hodnoty koeficientu x [1]

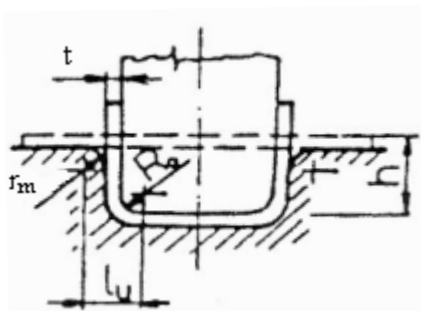
Pevnost materiálu σ_p	poměr $\frac{R_0}{t}$											
	0,1	0,2	0,25	0,3	0,4	0,5	0,6	0,8	1	1,2	1,5	2
do 400 MPa	0,25	0,3	0,32	0,34	0,36	0,37	0,38	0,40	0,41	0,42	0,44	0,45
nad 400 MPa									0,35	0,36	0,37	0,38

Výpočet úhlu odpružení β pro U ohyb:

$$\operatorname{tg} \beta = 0,75 \cdot \frac{l_u}{k_n \cdot t} \cdot \frac{R_e}{E} \rightarrow \beta \quad [^\circ] \quad (9)$$

kde: l_u – délka ohýbaného ramene, viz obr. 3.4, $l_u = r_m + R_o + 1,2 \cdot t$ [mm]

r_m – poloměr zaoblení pevné čelisti [mm]



Obr. 3.4 Schéma k výpočtu velikosti odpružení pro U ohyb [10]

Velikost úhlu odpružení závisí na vlastnostech ohýbaného materiálu, jeho tloušťce, poloměru ohybu, úhlu ohybu a způsobu ohýbání (V ohyb, U ohyb). [10]

3.2 Minimální a maximální poloměr ohybu

Minimální poloměr ohybu je poloměr, u kterého by po jeho překročení došlo k porušení materiálu na vnější tahové straně ohybu. Tahové napětí na vnější straně ohýbaného materiálu nesmí překročit mez pevnosti v tahu R_m , při jeho překročení dochází k porušení lomem. [11]

Výpočet minimálního poloměru ohybu:

$$R_{\min} = \frac{t}{2} \cdot \left(\frac{1}{\varepsilon_{t_{\max}}} - 1 \right) = c_o \cdot t \quad [\text{mm}] \quad (10)$$

kde: $\varepsilon_{t_{\max}}$ – poměrná deformace [mm]

c_o – koeficient [-] [11]

Minimální poloměry ohybu je možno dle lit. [9] dosáhnout pro maximální hodnoty tažnosti A, potom

$$R_{\min} = \frac{t \cdot (1 - A)}{2 \cdot A} \quad [\text{mm}]. \quad (11)$$

Minimální poloměr ohybu závisí na plastičnosti a anizotropii ohýbaného materiálu, jeho tloušťce a šířce, kvalitě materiálu, na způsobu ohýbání a úhlu ohybu. [10]

Maximální poloměr ohybu je takový úhel, kdy se velikost ohýbací síly pohybuje těsně nad mezí kluzu R_e . Po odlehčení zůstane materiál deformován a nevrátí se do původního stavu (nedeformovaného).

Lze to zobrazit tahovým diagramem, kde se těsně nad mezí kluzu kreslí bod. [1]

Výpočet maximálního poloměru ohybu:

$$R_{\max} = \frac{t}{2} \cdot \left(\frac{E}{R_e} - 1 \right) \quad [\text{mm}] \quad (12)$$

kde: E – modul pružnosti v tahu [MPa]

R_e – mez kluzu materiálu [MPa] [10]

3.3 Neutrální vrstva

Neutrální vrstva leží mezi stlačovanými a natahovanými vrstvami ohýbané součásti. Neutrální osa (plocha) se nachází v nedeformovaném materiálu v polovině jeho tloušťky, vlivem zakřivení se posunuje k vnitřnímu povrchu, je geometrickým poloměrem mezi vnitřním a vnějším poloměrem ohýbaného dílce. [11]

Zjištění polohy neutrální plochy je důležité zejména k určení výchozího rozměru ohýbaného dílce.

Poloměr neutrální plochy (vrstvy) se vypočte dle vztahů:

a) Ohýbání s velkým poloměrem zaoblení, $\frac{R_o}{t} \geq 12$

$$\rho = R_o + \frac{t}{2} \quad [\text{mm}] \quad (13)$$

kde: ρ – poloměr neutrální plochy [mm]

R_o – poloměr ohybu [mm]

b) Ohýbání s malým poloměrem zaoblení, $R_o \leq 6$

$$\rho = \left(R_o + \frac{t}{2} \right) \cdot z_z \cdot z_r \quad [\text{mm}] \quad (14)$$

kde: z_z – součinitel ztenčení [-]

z_r – součinitel rozšíření původního průřezu [-]

c) Ohýbání širokých pásů plechu, $b > 3 \cdot t$

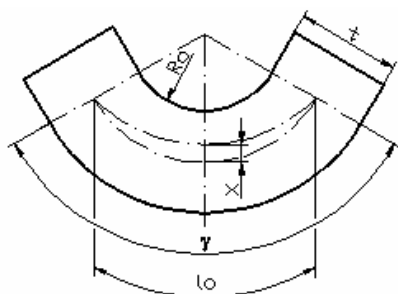
$$\rho = R_o + x \cdot t \quad [\text{mm}] [10] \quad (15)$$

3.4 Stanovení délky výchozího polotovaru

Délka ohnutého úseku l_o se vypočte dle vztahu:

$$l_o = \frac{\pi \cdot \gamma}{180} \cdot \rho = \frac{\pi \cdot \gamma}{180} \cdot (R_o + x \cdot t) \quad [\text{mm}] \quad (16)$$

kde: γ – úhel ohnutého úseku [$^\circ$]



Obr. 3.5 Schéma ohnuté části [10]

Celková délka rozvinuté součásti se určí jako součet rovinných a ohnutých úseků:

$$L_C = \sum_{i=1}^n l_{ri} + \sum_{j=1}^m l_{oj} \quad [\text{mm}] \quad (17)$$

kde: l_r – délka rovinného úseku [mm] [10]

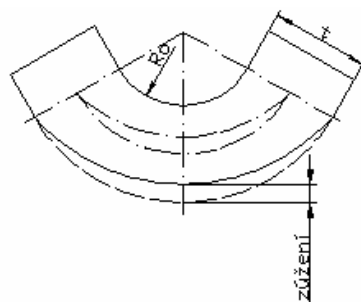
3.5 Zúžení

Zúžení materiálu se přibližně určuje dle vztahu:

$$\Delta t = t - t_1 = \frac{t^3}{4 \cdot (2 \cdot R_o + t)^2} \quad [\text{mm}] \quad (18)$$

kde: Δt – zúžení [mm]

t_1 – zúžená tloušťka ohýbaného materiálu [mm] [10]



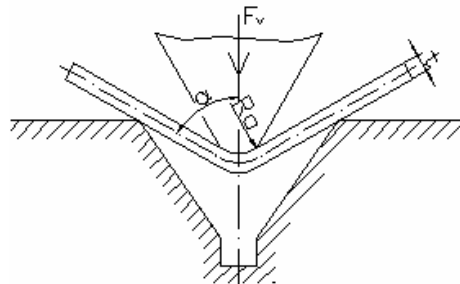
Obr. 3.6 Schéma zúžení [10]

3.6 Síly při ohýbání

a) Síla potřebná pro ohyb materiálu pro V – ohyb [11]:

$$F_V = \frac{b \cdot t^2 \cdot R_e}{2 \cdot R_o} \cdot \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2} \quad [\text{N}] \quad (19)$$

kde: b – šířka ohýbaného materiálu [mm]
 R_o – poloměr ohybu [mm]
 α – úhel ohybu [°]

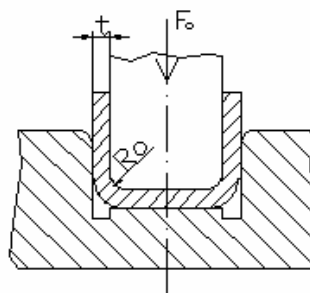


Obr. 3.7 Schéma V - ohybu [11]

b) Síla potřebná pro ohyb materiálu pro U – ohyb [11]:

$$F_o = (1 + 7 \cdot f) \cdot \frac{b \cdot t^2 \cdot R_e}{R_o + t} \quad [\text{N}] \quad (20)$$

kde: f – součinitel tření [-]



Obr. 3.8 Schéma U - ohybu [11]

3.7 Technologičnost konstrukce ohýbaných součástí

Mezi základní technologické zásady pro dosažení funkčního ohýbaného výrobku patří:

- osa ohybu má směřovat kolmo na směr vláken,
- volný ohyb nahradit ohýbáním s kalibrací,
- vznik přídavného napětí vlivem natažení ohýbané součásti,
- při nestejně dlouhých a širokých ramen ohýbaných součástí dochází k posunutí místa ohybu, toto posunutí se řeší pomocí kolíků v ohybníku, které se zasunou do technologických otvorů v plechu,
- otvory v součásti nebudou deformovány, bude-li vzdálenost mezi okrajem otvoru a místem ohybu minimálně dvojnásobek šířky plechu,
- nejmenší délka ohýbaného ramene má být dvojnásobek šířky plechu,
- v místě ostrého ohybu (poloměr ohybu se blíží k nule) je důležité vytvořit dostatečný objem kovu s následným kalibrováním tohoto úhlu,
- u materiálů s velkou anizotropií je nutné vytvořit v místě ohybu ztužující prolisy nebo je využít žebry. [10]

3.8 Přesnost při ohýbání

Přesnost při ohýbání v ohýbadlech závisí na mnoha činitelých, především na:

- rozměru a tvaru ohýbané součásti,
- anizotropii mechanických vlastností výchozího materiálu,
- rovnoměrnosti tloušťky výchozího materiálu,
- přesnosti ohýbadla,
- použití kalibrace. [10]

3.9 Stroje a nástroje pro ohýbání

Podle délky ohybu se provádí ohyb na ohraňovacím lise, kde lze provést ohyb do délky šesti metrů i více, pro délky menší než jeden metr jsou pro ohýbací nástroje používány výstředníkové lisy. Další dělení je podle tvaru ohybu a to na V – ohyb, U – ohyb a tvarové ohyby. Pro dlouhé a jednoduché ohyby se používají ohraňovací lisy, pro složitější ohyby menších délek se používají nástroje na výstředníkovém nebo klikovém lisu.

Nástroje se konstruují jako jednoduché, postupové a sdružené. [12]



Obr. 3.9 Výstředníkový lis LEN 40 C [16]

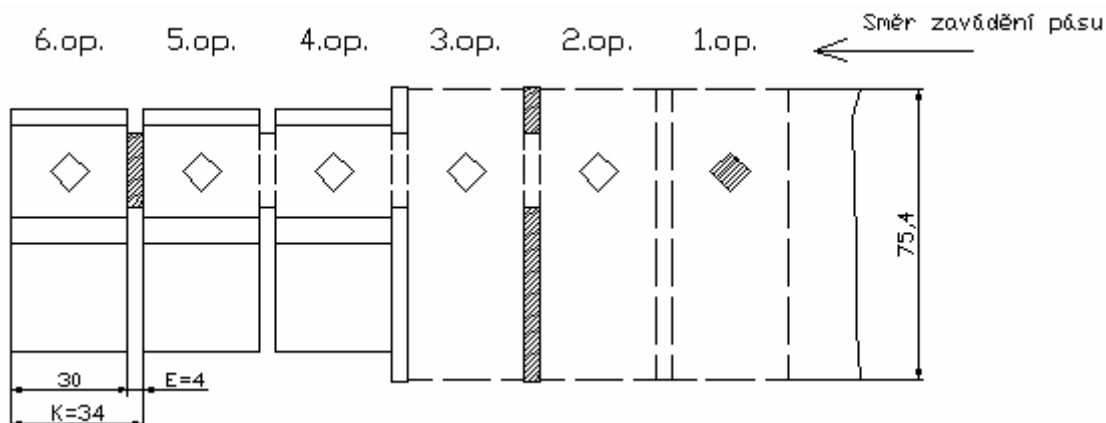
4 Návrh technologie výroby

Řešená součást se ve stávajícím stavu vyrábí na dvou nástrojích a to na stříhadle a ohýbadle. Z tabule plechu se nastříhají pásy, které se podávají do střížného nástroje, kde dochází k vystřížení čtvercového otvoru a k vystřížení rozvinutého tvaru součásti. Tato součást se vloží do ohýbacího nástroje a zde dochází k žádanému ohybu součásti. Součást je z materiálu 17 240 (1.4301) viz. příloha č. 3.

4.1 Nástřihový plán

Z tabule plechu o rozměrech 2000 x 1000 mm se nastříhají pásy o šířce odpovídající rozměru rozvinuté délky součásti. V první operaci dochází k vystřížení čtvercového otvoru, v následujícím kroku dojde k zahledání vystříženého otvoru na pevný doraz a k částečnému ustřížení z levé strany a ve třetím kroku z pravé strany součásti. K ohybu součásti dochází ve čtvrté operaci, pátá operace slouží ke konečnému ustřížení z levé strany a šestá operace ke konečnému oddělení hotové součásti, která se pomocí skluzu dopraví do palety.

Velikost můstku by dle literatury [2] byla $E = 2,7$ mm, tato hodnota by vzhledem k vlastnostem stříhaného materiálu nebyla vyhovující a proto dle zkušeností z dřívějšího zpracování tohoto materiálu byla hodnota můstku zvolena $E = 4$ mm. Šířka pásu plechu byla zvolena bez okrajů, tudíž odpovídá rozvinutému tvaru součásti a tím nevzniká odpad způsobený okraji.



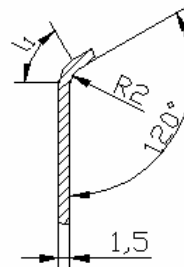
Obr. 4.1 Nástřihový plán

4.2 Výpočet rozvinuté délky součásti

Stanovení délky l_1 (viz. obr. 4.2):

$$\text{Dle tab. 3.1: } \frac{R_1}{t} = \frac{2}{1,5} = 1,33 \Rightarrow x = 0,36\bar{3}$$

$$l_1 = \frac{\pi \cdot \alpha}{180^\circ} \cdot (R_1 + x \cdot t) = \frac{\pi \cdot 120^\circ}{180^\circ} \cdot (2 + 0,36\bar{3} \cdot 1,5) = 5,331 \text{ mm}$$

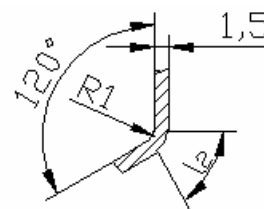


Obr. 4.2 Schéma pro výpočet délky l_1

Stanovení délky l_2 (viz. obr. 4.3):

$$\text{Dle tab. 3.1: } \frac{R_2}{t} = \frac{1}{1,5} = 0,66 \Rightarrow x = 0,35$$

$$l_2 = \frac{\pi \cdot \alpha}{180^\circ} \cdot (R_2 + x \cdot t) = \frac{\pi \cdot 120^\circ}{180^\circ} \cdot (1 + 0,35 \cdot 1,5) = 3,194 \text{ mm}$$

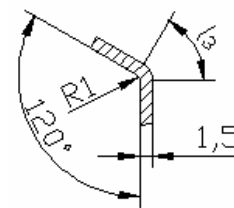


Obr. 4.3 Schéma pro výpočet délky l_2

Stanovení délky l_3 (viz. obr. 4.4):

$$\text{Dle tab. 3.1: } \frac{R_3}{t} = \frac{1}{1,5} = 0,66 \Rightarrow x = 0,35$$

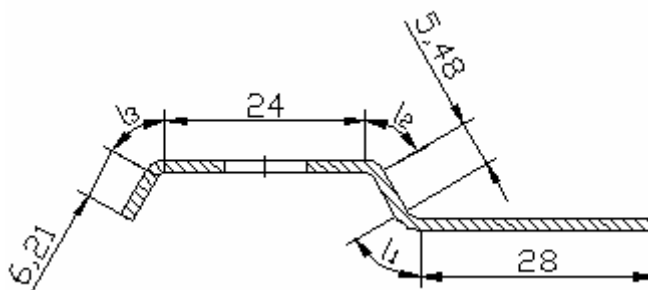
$$l_3 = \frac{\pi \cdot \alpha}{180^\circ} \cdot (R_3 + x \cdot t) = \frac{\pi \cdot 120^\circ}{180^\circ} \cdot (1 + 0,35 \cdot 1,5) = 3,194 \text{ mm}$$



Obr. 4.4 Schéma pro výpočet délky l_3

Výpočet rozvinuté délky součásti (viz. obr. 4.5):

$$L_c = 28 + l_1 + 5,48 + l_2 + 24 + l_3 + 6,21 = 28 + 5,331 + 5,48 + 3,194 + 24 + 3,194 + 6,21 = 75,409 \rightarrow l_c = 75,4 \text{ mm}$$



Obr. 4.5 Schéma pro výpočet rozvinuté délky L_c

4.3 Technologické výpočty

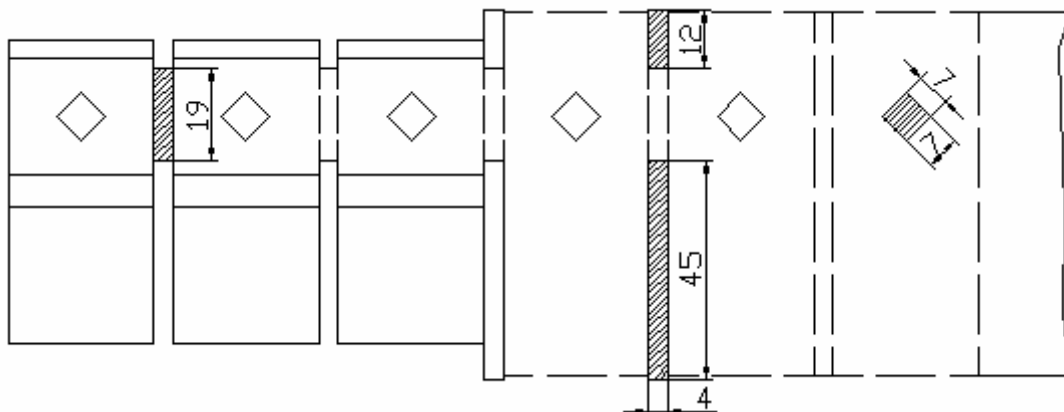
Výpočet obvodu stříhaných částí (viz. obr. 4.6):

$$o_1 = 4 \cdot 7 = 28 \text{ mm}$$

$$o_2 = 2 \cdot (12 + 4) = 32 \text{ mm}$$

$$o_3 = 2 \cdot (45 + 4) = 98 \text{ mm}$$

$$o_4 = 2 \cdot (19 + 4) = 46 \text{ mm}$$



Obr. 4.6 Schéma pro výpočet obvodu stříhaných částí

Výpočet obvodu všech stříhaných částí:

$$l = o_1 + o_2 + o_3 + o_4 = 28 + 32 + 98 + 46 = 204 \text{ mm}$$

Výpočet střížné síly:

$$F_s = n \cdot S \cdot \tau_s = n \cdot l \cdot t \cdot 0,8 \cdot R_m = 1,3 \cdot 204 \cdot 1,5 \cdot 0,8 \cdot 700 = 222\,768 \text{ N} \rightarrow 222,768 \text{ kN}$$

$$n = (1,1 \div 1,3) \rightarrow \text{volím } n = 1,3$$

Dle přílohy č. 3: volím $R_m = 700 \text{ MPa}$

Výpočet střížné práce:

$$A_s = \frac{k \cdot F_s \cdot t}{1000} = \frac{0,4 \cdot 222\,768 \cdot 1,5}{1000} = 133,66 \text{ J}$$

Dle přílohy č. 3: volím $k = 0,4$

Výpočet střížné mezery:

$$m = c \cdot t \cdot 0,32 \cdot \sqrt{\tau_{ps}} = c \cdot t \cdot 0,32 \cdot \sqrt{0,8 \cdot R_m} = 0,015 \cdot 1,5 \cdot 0,32 \cdot \sqrt{0,8 \cdot 700} = 0,17 \text{ mm}$$

$$c = (0,005 \div 0,025) \rightarrow \text{volím } c = 0,015$$

Výpočet střížné vůle:

$$v = 2 \cdot m = 2 \cdot 0,17 = 0,34 \text{ mm}$$

Výpočet úhlu odpružení:

$$\operatorname{tg} \beta = 0,75 \cdot \frac{l_u}{k_n \cdot t} \cdot \frac{R_e}{E} = 0,75 \cdot \frac{3,5 + 1 + 1,2 \cdot 1,5}{(1 - 0,35) \cdot 1,5} \cdot \frac{210}{203\,000} \rightarrow \beta = 0^\circ 22'$$

Dle přílohy č. 7: $l_u = 3,5 \text{ mm}$

Dle přílohy č. 3: $R_e = 210 \text{ MPa}$

Dle lit. [13]: $E = 203\,000 \text{ MPa}$

Výpočet ohybové síly:

$$F_o = (1 + 7 \cdot f) \cdot \frac{b \cdot t^2 \cdot R_e}{R_o + t} = (1 + 7 \cdot 0,1) \cdot \frac{30 \cdot 1,5^2 \cdot 210}{1 + 1,5} = 9\,639 \text{ N}$$

Dle lit. [13]: $f = 0,1$

Výpočet ohybové práce:

$$A_o = \frac{F_o \cdot h}{2 \cdot 1000} = \frac{9\,639 \cdot 7}{2 \cdot 1000} = 33,737 \text{ J}$$

Dle přílohy č. 7: $h = 7 \text{ mm}$

Výpočet maximálního poloměru ohybu:

$$R_{\max} = \frac{t}{2} \cdot \left(\frac{E}{R_e} - 1 \right) = \frac{1,5}{2} \cdot \left(\frac{203\,000}{210} - 1 \right) = 724,25 \text{ mm}$$

Výpočet minimálního poloměru ohybu:

$$R_{\min} = \frac{t \cdot (1 - A)}{2 \cdot A} = \frac{1,5 \cdot (1 - 0,45)}{2 \cdot 0,45} = 0,916 \text{ mm}$$

Dle přílohy č.3: $A = 0,45$

Výpočet zúžení:

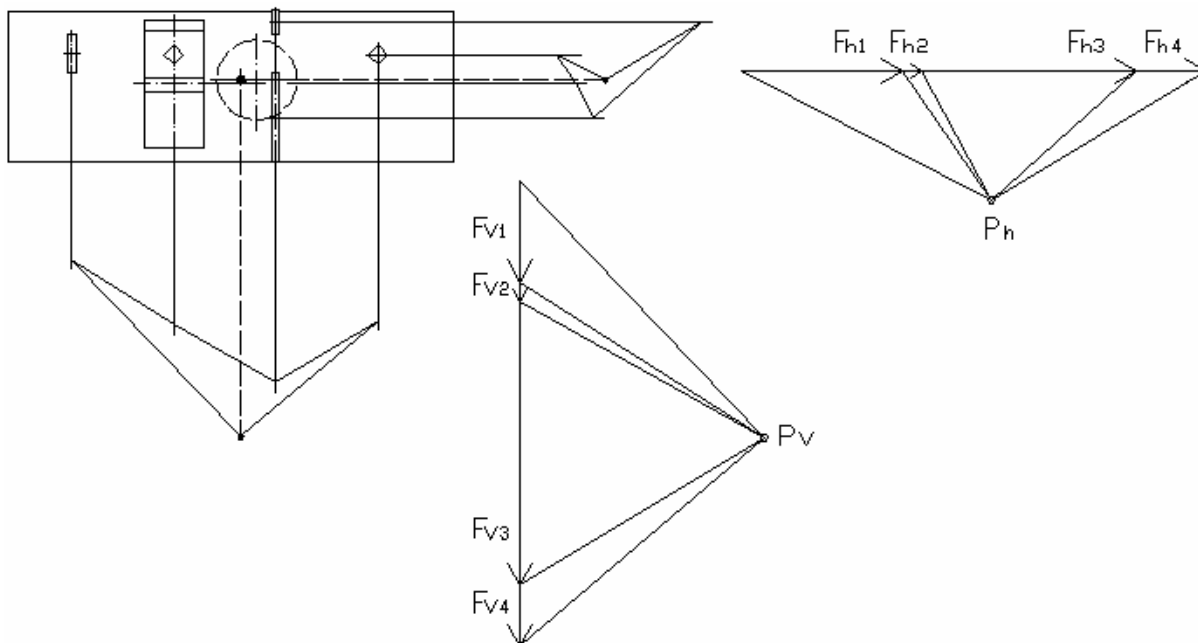
Pro poloměr ohybu $R_o = 2$:

$$\Delta t = t - t_1 = \frac{t^3}{4 \cdot (2 \cdot R_o + t)^2} = \frac{1,5^3}{4 \cdot (2 \cdot 2 + 1,5)^2} = 0,028 \text{ mm}$$

Pro poloměr ohybu $R_o = 1$:

$$\Delta t = t - t_1 = \frac{t^3}{4 \cdot (2 \cdot R_o + t)^2} = \frac{1,5^3}{4 \cdot (2 \cdot 1 + 1,5)^2} = 0,069 \text{ mm}$$

Určení polohy stopky nástroje:



Obr. 4.7 Poloha stopky

Poloha stopky byla vzhledem k výslednici sřížných sil a konstrukčního provedení upnutí ohybníku umístěna dle obr. 4.7.

Kontrola sřížníků na vzpěr (viz. obr. 4.6):

$$I_1 = \frac{7^4}{12} = 200,09 \text{ mm}^4$$

$$I_2 = \frac{12 \cdot 4^3}{12} = 64 \text{ mm}^4$$

$$I_3 = \frac{45 \cdot 4^3}{12} = 240 \text{ mm}^4$$

$$I_4 = \frac{19 \cdot 4^3}{12} = 101,34 \text{ mm}^4$$

$$l_{krit_1} = \sqrt{\frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_1}{n \cdot F_{S_1}}} = \sqrt{\frac{\pi^2 \cdot 200\,000 \cdot 200,09}{1,3 \cdot 30\,576}} = 99,69 \text{ mm}$$

$$l_{krit_2} = \sqrt{\frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_2}{n \cdot F_{S_2}}} = \sqrt{\frac{\pi^2 \cdot 200\,000 \cdot 64}{1,3 \cdot 34\,944}} = 53,13 \text{ mm}$$

$$l_{krit_3} = \sqrt{\frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_3}{n \cdot F_{S_3}}} = \sqrt{\frac{\pi^2 \cdot 200\,000 \cdot 240}{1,3 \cdot 107\,016}} = 58,36 \text{ mm}$$

$$l_{krit_4} = \sqrt{\frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_4}{n \cdot F_{S_4}}} = \sqrt{\frac{\pi^2 \cdot 200\,000 \cdot 101,34}{1,3 \cdot 50\,232}} = 55,35 \text{ mm}$$

Dle lit. [13] pro materiál 19 573: $E = 2 \cdot 10^5 \text{ MPa}$

Z následujících výpočtů vyplývá, že délka střížníků by neměla být větší jak 53 mm.

Kontrola střížníků na otláčení (viz. obr. 4.6):

$$\sigma_{out_1} = \frac{1,25 \cdot F_{S_1}}{S_1} = \frac{1,25 \cdot 30\,576}{7^2} = 780 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{out_2} = \frac{1,25 \cdot F_{S_2}}{S_2} = \frac{1,25 \cdot 34\,944}{12 \cdot 4} = 910 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{out_3} = \frac{1,25 \cdot F_{S_3}}{S_3} = \frac{1,25 \cdot 107\,016}{45 \cdot 4} = 743,17 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{out_4} = \frac{1,25 \cdot F_{S_4}}{S_4} = \frac{1,25 \cdot 50\,232}{19 \cdot 4} = 826,19 \text{ MPa}$$

Ve výpočtech je střížná síla vynásobená koeficientem bezpečnosti 1,25. Hodnota $\sigma_{DOV} = 150 \text{ MPa}$ nevyhovuje pro podmínku $\sigma_{out} \leq \sigma_{DOV}$, proto je nutné opěrnou desku kalit, čímž se dosáhne hodnoty $\sigma_{DOV} = 1200 \text{ MPa}$ a tato hodnota vyhovuje pro danou podmínku.

Počet celých pásů z tabule:

$$P_P = \frac{\text{šířka tabule plechu}}{\text{šířka pásu}} = \frac{1000}{75,4} = 13,26 \Rightarrow 13 \text{ ks}$$

Počet celých výstřížků z pásu:

$$P_{VP} = \frac{\text{délka tabule plechu}}{K} = \frac{2000}{34} = 58,82 \Rightarrow 58 \text{ ks}$$

K – dle obr. 4.1 $\rightarrow K = 34 \text{ mm}$

Počet výstřížků z tabule:

$$P_{V_{TAB}} = P_P \cdot P_{VP} = 13 \cdot 58 = 754 \text{ ks}$$

4.4 Ekonomické využití materiálu

Plocha jednoho výstřížku:

$$S_V = L_C \cdot b = 75,4 \cdot 30 = 2262 \text{ mm}^2 = 226,2 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2$$

Plocha všech výstřížků z jedné tabule:

$$S_{V_{TAB}} = P_{V_{TAB}} \cdot S_V = 754 \cdot 226,2 \cdot 10^{-5} = 170,56 \cdot 10^{-2} \text{ m}^2$$

Využití materiálu:

$$\eta = \frac{S_{V_{TAB}}}{S_{TAB}} \cdot 100 = \frac{170,56 \cdot 10^{-2}}{2} \cdot 100 = 85,28 \%$$

4.5 Výpočet spotřeby materiálu

Hmotnost tabule ocelového plechu:

$$m_O = 2 \cdot 1 \cdot 1,5 \cdot 7,8 = 23,4 \text{ kg}$$

Spotřeba plechu:

$$P_{TAB} = \frac{\text{počet všech výstřížků}}{\text{počet výstřížků z jedné tabule}} = \frac{150\,000}{754} = 198,94 \Rightarrow 199 \text{ ks}$$

Celková hmotnost tabulí:

$$m_C = m_O \cdot P_{TAB} = 23,4 \cdot 199 = 4\,656,6 \text{ kg}$$

Skutečná spotřeba:

$$P_S = m_C \cdot \eta = 4\,656,6 \cdot 0,84825 = 3\,949,96 \text{ kg}$$

Technologický odpad:

$$m_{ODP} = m_C \cdot (1 - \eta) = 4\,656,6 \cdot (1 - 0,8528) = 785,45 \text{ kg}$$

4.6 Návrh stroje

Na základě provedených výpočtů uvedených v kapitole 4.3, které se týkají střížné síly, střížné práce, ohybové síly a ohybové práce, a dle návrhu postupu výroby je vhodným tvářecím strojem výstředníkový lis LEN 40 C. Základní parametry tohoto lisu jsou uvedeny v tab. 4.1.

Tab. 4.1 Základní parametry lisu LEN 40 C [16]

Technické údaje	Hodnota
Jmenovitá síla lisu	400 kN
Max. tloušťka zpracovávaného plechu	6,4 mm
Vyložení	265 mm
Sevření	295 mm
Přechod	300 mm
Plocha stolu	530 x 660 mm
Plocha beranu	250 x 400 mm
Výkon elektromotoru	3,5 / 7 kW

5 Závěr

Dle zadání byla navržena technologie výroby držáku, který slouží k uchycení krytu klimatizační jednotky, kdy veškeré operace jsou prováděny na jednom sdruženém nástroji. Tento postup eliminuje další manipulaci s polotovarem součásti mezi jednotlivými výrobními operacemi, což ve výsledku snižuje časovou a technologickou náročnost výroby. Další výhodou je vytížení pouze jednoho stroje jedinou výrobní zakázkou, tudíž pro provoz, kde je vysoká vytíženost lisovacích strojů, je výhodnější jednu součást vyrábět na jednom stroji. Nevýhodou tohoto řešení zůstává vyšší cena nástroje než u varianty, kdy uvažujeme dva výrobní kroky, tedy oddělení operace stříhání a ohýbání. Při poruše tohoto nástroje dojde ke kompletnímu zastavení výroby této součásti. U původní varianty výroby může nadále pokračovat jedna operace do vyčerpání polotovarů. Možným řešením je totožný rezervní nástroj uložený k nouzové výměně. Hlavními činiteli při rozhodování pak jsou zejména cena nástroje a jeho údržby a dále cena a počet vyráběných součástek.

Celá součást je vyráběna v šesti krocích, kdy výrobním polotovarem je tabule plechu o rozměrech 2000 x 1000 mm, která je v předvýrobní operaci nastříhána na pásy o přesné šíři výsledného výrobku, tudíž vzniká jen minimální množství odpadu. Tato volba souvisí zejména s cenou použitého materiálu, kterým je nerezový plech 17 240 (1.4301) o tloušťce 1,5 mm. Prvním krokem výroby součásti je vystřížení čtvercového otvoru, za nímž v dalším kroku následuje jeho zahledání pevným dorazem a následné částečné ustřížení z levé strany součásti. Ve třetím kroku dojde k částečnému ustřížení z pravé strany, kdy součást stále zůstává spojena se zbytkem pásu pro její posuv k dalším operacím. Při čtvrtém zdvihu dojde k ohybům v požadovaných místech, v pátém a šestém pak k oddělení již přebytečných spojovacích členů a shoení hotového výrobku skluzem do sběrné nádoby.

Podávání pásu do nástroje je řešeno manuálně, přičemž přesnost založení nového pásu je zaručena vyjímatelným načínacím dorazem. Předpokladem je zakládání nového pásu do podavače lidskou silou.

Všechny pracovní části nástroje jsou demontovatelné a nahraditelné, což přispívá k snadnější údržbě a opravitelnosti celku. Veškeré díly střížného nástroje, s výjimkou střížníků, ohybníku a ohybnice, jsou normalizované. Z důvodu pevnosti uchycení ohybnice ve střížnici byla zvětšena výška střížnice nad normalizovaný rozměr.

Navrhované řešení má vzhledem ke stávající technologii uplatnění především při vyšší sériovosti výroby. Použitím jednoho nástroje pro výrobu dané součásti umožňuje urychlení výroby a tím zkrácení výrobního času, což přispívá k vyrobení většího počtu kusů za rok.

Seznam použité literatury

- [1] BAREŠ, Karel, et al. *Lisování*. Praha : SNTL, 1971. 542 s. DT 621.979.
- [2] BOBČÍK, Ladislav. *Střížné nástroje pro malosériovou výrobu*. 1. vyd. Praha : SNTL, 1983. 216 s. DT 621.961.02.
- [3] ČSN 22 6015. *Stříhadla a střížné vůle. Směrnice pro výpočet a konstrukci*. Praha : Úřad pro normalizaci a měření, 1977.
- [4] ČSN 22 6060. *Dorazy*. Praha : Úřad pro normalizaci a měření, 1976.
- [5] ČSN 22 6235. *Vodící ocelové stojánky s pracovní plochou obdélníkovou se sloupky za pracovní plochou*. Praha : Úřad pro normalizaci a měření, 1969.
- [6] ČSN 22 6264. *Stopky lisovacích nástrojů pro práci za studena*. Praha : Úřad pro normalizaci, 1959.
- [7] ČSN 22 6272. *Střížné skříně*. Praha : Úřad pro normalizaci a měření, 1969.
- [8] ČSN 22 6285. *Hlavice pravoúhlé k vodícím stojánkům*. Praha : Úřad pro normalizaci a měření, 1969.
- [9] ČSN 22 7340-90. *Ohýbadla. Všeobecné požadavky na konstrukci a výpočet*. Praha : Český normalizační institut, 1990.
- [10] DVOŘÁK, Milan, GAJDOŠ, František, NOVOTNÝ, Karel. *Technologie tváření : Plošné a objemové tváření*. 3. vyd. Brno : CERM, 2003. 169 s. ISBN 80-214-2340-4.
- [11] FOREJT, Milan, PÍŠKA, Miroslav. *Teorie obrábění, tváření a nástroje*. 1. vyd. Brno : CERM, 2006. 225 s. ISBN 80-214-2374-9.
- [12] KOTOUČ, Jiří, et al. *Tvářecí nástroje*. 1. vyd. Praha : ČVUT, 1993. 349 s. ISBN 80-01-01003-1.
- [13] LEINVEBER, Jan, ŘASA, Jaroslav, VÁVRA, Pavel. *Strojnické tabulky*. 3. dopl. vyd. Praha : Scientia, 1999. 985 s. ISBN 80-7183-164-6.
- [14] MACHEK, Václav, et al. *Zpracování tenkých plechů*. 1. vyd. Praha : SNTL, 1982. 272 s. DT 621.98.
- [15] NOVOTNÝ, Josef, LANGER, Zdeněk. *Stříhání a další způsoby dělení kovových materiálů*. 1. vyd. Praha : SNTL, 1980. 216 s. DT 621.96.
- [16] OMEGA NETWORK a.s.. *APJ Praha : Kovoobráběcí a tvářecí stroje* [online]. 2009 [cit. 2009-05-24]. Dostupný z WWW: <<http://www.apj.cz/nove-stroje/toma-vystrednikove-lisy/vystrednikovy-lis-len-40-c>>.
- [17] TRUMPF Praha, spol. s r. o.. *TRUMPF CZ, Praha* [online]. c2009 [cit. 2009-05-24]. Dostupný z WWW: <<http://www.cz.trumpf.com/167.Tafelscheren.html>>.
- [18] ZVOLSKÝ, Miroslav. *INOX, spol. s r. o.* [online]. 2007 [cit. 2009-05-03]. Dostupný z WWW: <<http://inoxspol.cz/index.php?act=a&cat=4&art=16>>.

Seznam použitých symbolů a zkratek

A	tažnost	[%]
A_S	střížná práce	[J]
A_o	ohybová práce	[J]
b	šířka ohýbaného materiálu	[mm]
c_o	koeficient	[-]
c	součinitel závislý na druhu stříhání	[-]
c_1	součinitel vlivu tření ohýbané součásti o pevnou čelist	[-]
E	modul pružnosti v tahu	[MPa]
F_1, F_2, F_3	střížné síly v ose y	[N]
F'_1, F'_2, F'_3	střížné síly v ose x	[N]
F_{h1}, F_{h2}, F_{h3}	střížné síly ve směru horizontálním	[N]
F_o	ohybová síla U – ohybu	[N]
F_s	střížná síla	[N]
$F_{s\ max}$	maximální střížná síla	[N]
$F_{s_1}, F_{s_2}, F_{s_3}, F_{s_4}$	střížné síly jednotlivých otvorů	[N]
F_v	ohybová síla V – ohybu	[N]
F_{v1}, F_{v2}, F_{v3}	střížné síly ve směru vertikálním	[N]
f	součinitel tření	[-]
h	zdvih	[mm]
h_s	hloubka vniknutí střížníku	[mm]
I_1, I_2, I_3, I_4	kvadratické momenty	[mm ⁴]
K	krok	[mm]
k	koeficient hloubky vtlačení	[mm]
k_n	součinitel určující polohu neutrální plochy	[-]
l	obvod všech stříhaných částí	[mm]
$l_{krit_1}, l_{krit_2}, l_{krit_3}, l_{krit_4}$	kritické délky střížníků	[mm]
l_1, l_2, l_3	rozvinuté délky ohýbané součásti	[mm]
L_c	celková délka rozvinuté součásti	[mm]
l_o	délka ohnutého úseku v neutrální ploše	[mm]
l_r	rovinný úsek ohýbané součásti	[mm]
l_u	rameno ohybu	[mm]
l_v	vzdálenost mezi opěrami ohybnice	[mm]
m	střížná mezera	[mm]
m_c	celková hmotnost tabulí	[kg]
m_o	hmotnost tabule ocelového plechu	[kg]
m_{ODP}	technologický odpad	[kg]
n	koeficient zahrnující opotřebení nástroje	[-]
o_1, o_2, o_3, o_4	obvod stříhaných částí	[mm]
P_h, P_v	pól	[-]
P_p	počet celých pásů z tabule	[ks]
P_s	skutečná spotřeba materiálu	[kg]
P_{TAB}	spotřeba plechu	[ks]
P_{VP}	počet celých výstřižků z pásu	[ks]
P_{VTAB}	počet výstřižků z tabule	[ks]
R_e	mez kluzu materiálu	[MPa]
R_m	mez pevnosti materiálu v tahu	[MPa]

R_{\max}	maximální poloměr ohybu	[mm]
R_{\min}	minimální poloměr ohybu	[mm]
R_0, R_1, R_2, R_3	poloměr ohybu	[mm]
r_m	poloměr zaoblení pevné čelisti	[mm]
S	plocha stříhu	[mm ²]
S_V	plocha výstřížku	[mm ²]
$S_{V_{TAB}}$	plocha všech výstřížků z jedné tabule	[mm ²]
S_1, S_2, S_3, S_4	plochy střížníků	[mm ²]
t	tloušťka stříhaného a ohýbaného materiálu	[mm]
t_1	zúžená tloušťka ohýbaného materiálu	[mm]
v	střížná vůle	[mm]
v_0	vůle mezi pevnou a pohyblivou čelistí	[mm]
X_t, Y_t	souřadnice výslednice sil	[mm]
x	velikost posunutí neutrální plochy	[mm]
Z_r	součinitel rozšíření původního průřezu	[-]
Z_z	součinitel ztenčení	[-]
α	úhel ohybu	[°]
α_1	výsledný úhel po odpružení	[°]
β	úhel odpružení	[°]
γ	úhel ohnutého úseku	[°]
η	využití materiálu	[%]
Δt	zúžení	[mm]
$\varepsilon_{t\max}$	poměrná deformace	[mm]
ρ	poloměr neutrální plochy	[mm]
σ_{DOV}	dovolené namáhání	[MPa]
$\sigma_{otl_1}, \sigma_{otl_2}, \sigma_{otl_3}, \sigma_{otl_4}$	namáhání v tlaku	[MPa]
τ_{ps}	střížný odpor	[MPa]

Seznam příloh

Příloha č. 1 – Vzdálenost kruhových a obdélníkových otvorů od okraje výstřížku

Příloha č. 2 – Hloubka součinitele vtlačení do materiálu

Příloha č. 3 – Vlastnosti a značení zpracovávaného materiálu

Příloha č. 4 – Výkres součásti

Příloha č. 5 – Výkres sestavy nástroje

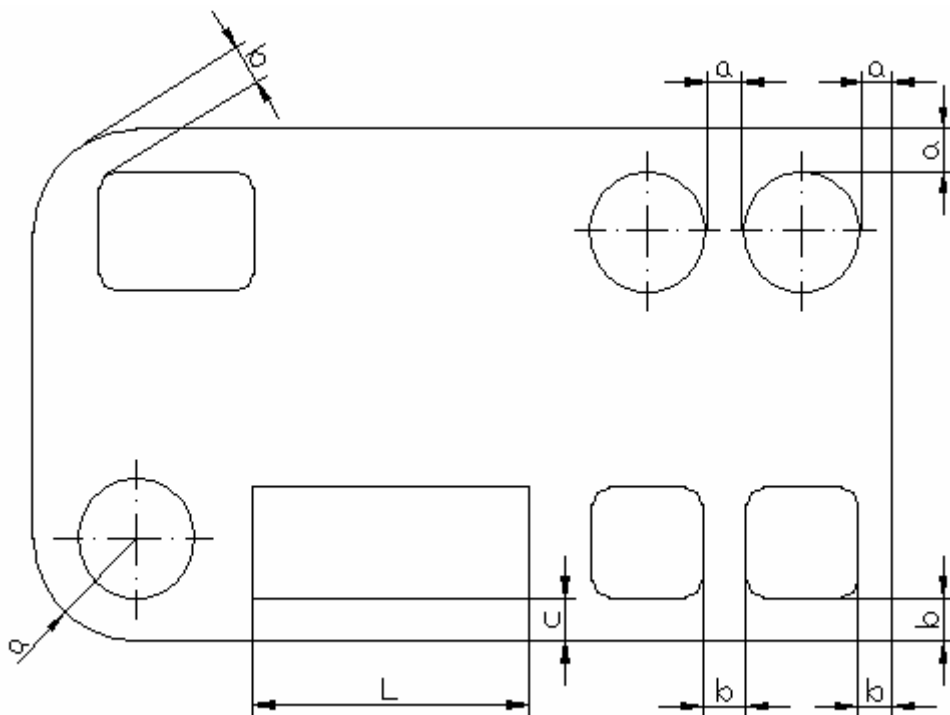
Příloha č. 6 – Výkres ohybníku

Příloha č. 7 – Výkres ohybnice

Příloha č. 1

Vzdálenost kruhových a obdélníkových otvorů od okraje výstřižku [2]

Tloušťka plechu	Rozměr a [mm]	Rozměr b [mm]	Rozměr c [mm]			
			Pro šířku otvoru L [mm]			
			5 až 50	50 až 100	100 až 200	nad 200
do 1	1,5	2,5	3	8	13	20
1 ÷ 1,6	2,4	3,2	4,5	8	13	20
1,6 ÷ 2	3	4	6	10	14	25
2 ÷ 2,5	3,7	4,5	7	10	16	25
2,5 ÷ 3,2	4,8	5	8	13	20	28
3,2 ÷ 4	6	6	9	13	20	28
4 ÷ 5	7	8	10	16	22	32



Příloha č. 2

Hloubka součinitele vtlačení do materiálu [2]

Materiál	Tloušťka materiálu t [mm]			
	do 1	1 ÷ 2	2 ÷ 4	nad 4
Ocel měkká $\tau_{ps} = (250 \div 350)$ MPa	0,70 ÷ 0,65	0,65 ÷ 0,60	0,60 ÷ 0,50	0,45 ÷ 0,35
Ocel středně tvrdá $\tau_{ps} = (350 \div 500)$ MPa	0,60 ÷ 0,55	0,55 ÷ 0,50	0,50 ÷ 0,42	0,40
Ocel tvrdá $\tau_{ps} = (500 \div 700)$ MPa	0,45 ÷ 0,42	0,42 ÷ 0,38	0,38 ÷ 0,33	0,30 ÷ 0,20
Hliník, měď (žíhané)	0,75 ÷ 0,70	0,70 ÷ 0,65	0,65 ÷ 0,55	0,50

Příloha č. 3

Vlastnosti a značení zpracovávaného materiálu [18]

NEREZOVÁ OCEL 1.4301

CHROM NIKLOVÁ austenitická nestabilizovaná
nově značená dle ČSN 10088-1 1.4301 (X5CrNi 18-10)
staré označení AISI 304, ČSN 17240, AKV 7

Legování

Cr 17 - 19,5 %, Ni 8 - 10,5, C < 0,07%

Mechanické vlastnosti

Pevnost v tahu Rm 520 - 720 N/mm²
Mez průtažnosti (kluzu) Rp 0,2 min. 210 N/mm²
Tažnost A80mm min. 45 %
Žihací teplota 1000-1100°C chlazení vodou, intenz. vzduchem
Nemagnetická
Nekalitelná
Má sklon ke zpevnění za studena při tažení, nebo při třískovém obrábění nevhodnými řeznými podmínkami
Zpevnění vzniká přetvořením austenitu na deformační martenzit, který zvýší pevnost, sníží tažnost a způsobí magnetovatelnost (tažená tyčovina, za studena převálc. plechy od tl. 4 mm). U profilů s větší plochou průřezu (tyče od pr.80mm, plechy od tl.15mm) se může vyskytovat částečná magnetovatelnost v oblasti jádra profilu - je způsobena zbytkovým martenzitem z vysokých teplot při výrobě.
Deformační i zbytkový martenzit lze odstranit žiháním.
Tyto změny struktury nemají vliv na korozní odolnost materiálu a svařitelnost.

Odolnost

proti korozi v prostředí běžného typu (voda, slabé alkálie, slabé kyseliny, průmyslové a velkoměstské atmosféry).Náchylnost k mezikystalové korozi v oblasti tepelného ovlivnění (např.u svarů - CrC vznikají již od teploty 450° C).

Technologie zpracování

Je svařitelná ale v oblasti svaru náchylná k mezikryst. korozi.U průvarů nad 5mm tl. nutno žihat svařenec.
Zpracovává se stříháním , ohýbáním, tažením - lze použít obou způsobů tažení, ale je vhodnější pro nepravé tažení (přetahování). Materiál je vytahován z tloušťky materiálu
Třísková obrobitelnost je dobrá.
Leštitelná.

Užití

Běžné produkty k obecnému použití (gastronomická zařízení, vnější konstrukce, externí architektura, vodárny, zařízení ČOV ap.) mimo svařovaných konstrukcí s provařením přes 5 mm průvaru. U takových konstrukcí je po svaření nutné žihání s následným tryskáním a mořením.
Chemické složení vyhovuje normě pro použití výrobků pro potraviny a pitnou vodu. Max teplota 450°C.