

Konstrukce střížného a ohybového nástroje pro článek řetězu

Miroslav Skácel

Bakalářská práce
2024



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta technologická

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně

Fakulta technologická
Ústav výrobního inženýrství

Akademický rok: 2023/2024

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(projektu, uměleckého díla, uměleckého výkonu)

Jméno a příjmení: Miroslav Skácel
Osobní číslo: T21688
Studijní program: B3909 Procesní inženýrství
Studijní obor: Technologická zařízení
Forma studia: Prezenční
Téma práce: Konstrukce střížného a ohybového nástroje pro článek řetězu

Zásady pro vypracování

- 1) Vypracovat literární studii na dané téma
- 2) Návrh výstřižku
- 3) Návrh střížného a ohybového nástroje
- 4) Nakreslit 2D sestavu střížného a ohybového nástroje

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

Seznam doporučené literatury:

DVOŘÁK, Milan. Technologie tváření: plošné a objemové tváření. Akademické nakladatelství CERM, 2013. ISBN 9788021447479

ALTAN, Taylan. Sheet metal forming fundamentals. Ohio: ASM International, 2012. ISBN 978-1-61503-842-8

BANABIC, Dorel. Sheet metal forming processes: constructive modelling and numerical simulation. Berlin: Springer, 2010. ISBN 978-3-540-88112-4.

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Vojtěch Šenkeřík, Ph.D.**
Ústav výrobního inženýrství

Datum zadání bakalářské práce: **2. ledna 2024**

Termín odevzdání bakalářské práce: **17. května 2024**

L.S.

prof. Ing. Roman Čermák, Ph.D. v.r.
děkan

doc. Ing. Martin Bednařík, Ph.D. v.r.
ředitel ústavu

Ve Zlíně dne 4. března 2024

PROHLÁŠENÍ AUTORA BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Beru na vědomí, že:

- bakalářská práce bude uložena v elektronické podobě v univerzitním informačním systému a dostupná k nahlédnutí;
- na moji 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;
- podle § 60 odst. 1 autorského zákona má Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně právo na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona;
- podle § 60 odst. 2 a 3 autorského zákona mohu užít své dílo – 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);
- pokud bylo k vypracování bakalářské práce využito softwaru poskytnutého Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně nebo jinými subjekty pouze ke studijním a výzkumným účelům (tj. k nekomerčnímu využití), nelze výsledky bakalářské práce využít ke komerčním účelům;
- pokud je výstupem bakalářské práce jakýkoliv softwarový produkt, považuji se za součást práce rovněž i zdrojové kódy, popř. soubory, ze kterých se projekt skládá. Neodevzdání této součásti může být důvodem k neobhájení práce.

Prohlašuji,

- že jsem na bakalářské práci pracoval samostatně a použitou literaturu jsem citoval. V případě publikace výsledků budu uveden jako spoluautor.
- že odevzdaná verze bakalářské práce a verze elektronická nahraná do IS/STAG jsou obsahově totožné.

Ve Zlíně, dne:

Jméno a příjmení studenta:

.....
podpis studenta

ABSTRAKT

Téma této bakalářské práce se zaměřuje na návrh nástroje pro optimalizaci výrobního procesu článku řetězu pro dopravník. Cílem práce bylo navrhnout postupový nástroj umožňující výrobu obou typů článků s jednoduchou výměnou komponent. Teoretická část se věnuje tváření za studena, stříhání a ohýbání plechu, zatímco praktická část zhodnocuje technologičnost výrobku a stanovuje nezbytné výpočty pro konstrukci nástroje. Tento návrh má potenciál zlepšit efektivitu výrobního procesu. Výkres a model postupového sdruženého nástroje byl vytvořen pomocí 3D programu Autodesk Inventor.

Klíčová slova: tváření za studena, plošné tváření, postupový nástroj, stříhání, ohýbání

ABSTRACT

The topic of this bachelor thesis focuses on the design of a tool for optimizing the manufacturing process of a chain link for a conveyor. The aim of the thesis was to design a process tool to enable the production of both types of links with simple component replacement. The theoretical part deals with the cold forming, cutting and bending of the sheet metal, while the practical part evaluates the manufacturability of the product and establishes the necessary calculations for the design of the tool. This design has the potential to improve the efficiency of the production process. The drawing and model of the progressive compound tool was created using Autodesk Inventor 3D software.

Keywords: cold forming, sheet metal forming, die design, shearing, bending

Tímto bych rád poděkoval Ing. Vojtěchu Šenkeříkovi, Ph.D. za cenné rady a připomínky při psaní této bakalářské práce a také mé rodině za veškerou podporu při studiu, bez které by to nebylo možné.

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

OBSAH

ÚVOD	9
I TEORETICKÁ ČÁST	10
1 TECHNOLOGIE TVÁŘENÍ ZA STUDENA	11
1.1 ZÁKLADNÍ DRUHY TVÁŘENÍ	11
1.1.1 Objemové tváření	11
1.1.2 Plošné tváření	12
2 STŘÍHÁNÍ	13
2.1 STŘIŽNÝ PROCES	13
2.3 ROZDĚLENÍ STŘIŽNÝCH NOŽŮ DLE KONSTRUKCE	15
2.3.1 Stříhání s rovnoběžnými noži.....	15
2.3.2 Stříhání šikmými noži	15
2.4 STŘIŽNÁ PRÁCE A SÍLA	16
2.4.1 Síla a práce při stříhání rovnoběžnými noži.....	17
2.4.2 Síla při stříhání šikmými noži	18
2.5 PŘESNÉ STŘÍHÁNÍ	18
2.5.1 Stříhání s přidržovačem.....	19
2.5.2 Stříhání s tlačnou hranou.....	20
2.5.3 Stříhání se zaoblenou střížnou hranou	20
2.6 STŘIŽNÁ MEZERA	21
2.7 NÁSTŘIHOVÝ PLÁN.....	22
2.8 TECHNOLOGIČNOST PŘI STŘÍHÁNÍ	22
3 OHÝBÁNÍ	24
3.1 PROCES OHÝBÁNÍ	25
3.3 NEUTRÁLNÍ PLOCHA, MAXIMÁLNÍ A MINIMÁLNÍ POLOMĚR OHYBU.....	28
3.4 ODPRUŽENÍ	29
3.5 OHYBOVÁ PRÁCE A SÍLA.....	30
3.5.1 Ohýbací síla a práce do tvaru V	30
3.5.2 Ohýbací síla a práce do tvaru U	31
3.6 TECHNOLOGIČNOST PŘI OHÝBÁNÍ	31
4 NÁSTROJE PRO STŘÍHÁNÍ	33
4.1 STŘIŽNÍKY	33
4.2 STŘIŽNICE	35
II PRAKTICKÁ ČÁST	37
5 STANOVENÍ CÍLŮ PRÁCE	38
6 DEFINICE SOUČÁSTI	39

6.1	NÁVRH SOUČÁSTI.....	39
6.2	VÝBĚR POLOTOVARU A NÁSTŘIHOVÝ PLÁN.....	41
6.3	POSTUP VÝROBY	44
6.4	STŘIŽNÉ SÍLY A PRÁCE	45
6.5	OHYBOVÁ SÍLA.....	46
6.6	POLOHA STOPKY	47
6.7	KONSTRUKČNÍ VÝPOČTY	49
7	KONSTRUKCE NÁSTROJE	51
7.1	SPODNÍ ČÁST NÁSTROJE	52
7.1.1	První část střížnice	53
7.1.2	Druhá část střížnice	53
7.1.3	Třetí část střížnice	54
7.2	PROSTŘEDNÍ ČÁST NÁSTROJE	54
7.3	HORNÍ ČÁST NÁSTROJE.....	55
7.3.1	Střížníky	56
7.3.2	Ohybník.....	57
7.3.3	Kotevní a opěrná deska	58
7.4	VOLBA LISU.....	59
	ZÁVĚR	60
	SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY.....	61
	SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK	64
	SEZNAM OBRÁZKŮ	67
	SEZNAM TABULEK.....	69
	SEZNAM PŘÍLOH.....	70

ÚVOD

Strojírenství a výroba nástrojů představují klíčovou oblast průmyslového odvětví, které neustále hledá inovativní způsoby, jak optimalizovat výrobní procesy a zlepšit výsledné produkty. Velice produktivní metodou je právě stříhání a ohýbání v postupovém sdruženém nástroji. Tato technologie dokáže vyrobit v relativně malém čase a za dostupnou velké množství dílu.

Cílem této práce je posoudit stávající výrobu článku řetězu a navrhnout vhodnou technologii výroby. Články řetězu jsou hojně využívány a jsou, tak nezbytnou součástí různých strojů jako jsou například dopravníky, jízdní prostředky a těžké stroje.

Článek v současné době je vyráběn pomocí stříhání a svařování. Tento proces výroby je časově velice náročný a neefektivní při objemu minimálního množství 12 000 ks/rok. Proto se tato práce bude zabývat zlepšení efektivity výrobního procesu a snížení pracnosti výroby.

Bakalářská práce se v teoretické části bude zabývat tvářením materiálu za studena. Dále bude popsána technologie stříhání a ohýbání. V závěru teoretické části budou popsány nástroje pro stříhání. Praktická část se bude zabývat návrhem výstřížku a posouzením jeho technologičnosti. Provedeny budou nezbytné výpočty pro konstrukci nástroje. Popis nástroje a jeho jednotlivých komponent. Pro konstrukci a výkres bude využito 3D modelovacího programu Inventor Autodesk.

I. TEORETICKÁ ČÁST

1 TECHNOLOGIE TVÁŘENÍ ZA STUDENA

Při tváření za studena působí na materiál vnější síly, probíhá tak jeho trvalá změna tvaru materiálu, a to bez úběru třísek. Pomocí technologie tváření lze dosahovat vysoké hospodárnosti a produktivity. Předností tváření je vytváření výrobků, které jsou pevné a lehké. Při konvekčním obrábění vzniká odpad zhruba 20 až 40 %, přičemž při tváření vznikne asi jen 5 až 10 % odpadního materiálu. Využití materiálu tvářením bývá velmi hospodárné s co nejmenším odpadem. [1]

1.1 Základní druhy tváření

Při výrobě polotovarů z kovů, jak z železných, tak neželezných, se využívá plastické deformace za účelem dosažení požadovaného tvaru komponentu, jako jsou výkovky, výlisky či výstřižky. Tváření, přináší výhody v podobě zlepšených mechanických a fyzikálních vlastností výsledného výrobku. Během procesu dochází k tření, které aktivně ovlivňuje tok materiálu. Tato interakce mezi nástroji a kovovým materiálem je klíčová pro dosažení požadovaných rozměrů, struktury a vlastností výsledného produktu. Procesy tváření lze rozdělit na dvě skupiny, kterými jsou objemové a plošné tváření. [1]

1.1.1 Objemové tváření

Objemové tváření představuje technologii výroby dílců, která se vyznačuje komplexní deformací materiálu, zahrnující jak změnu tvaru, tak i přesun většího objemu tvářeného materiálu. Tato metoda nachází široké uplatnění v produkci polotovarů pro namáhané díly technologických zařízení, a to z důvodu dosažení příznivého průběhu vláken po tváření, který se pozitivně promítá do mechanických vlastností finálního produktu. V případě větších výrobních sérii se využívá metod přesného objemového tváření umožňující zhotovovat polotovary s minimalizovanými přídávky na obrábění, čímž se snižují náklady a zvyšuje se efektivita výroby. Samotný proces tváření se může provádět buď za studena, nebo za tepla. Volba teplotního režimu závisí na specifických vlastnostech materiálu a požadovaných parametrech tváření. Ohřev materiálu na tvářecí teplotu se běžně používá pro snížení tvářecí síly a zvýšení tvárnosti materiálu, čímž se tento proces usnadňuje a snižuje se riziko vzniku vad.

Objemové tváření se dělí na:

- válcování
- kování

- protlačování
- tažení. [2]

1.1.2 Plošné tváření

Plošné tváření představuje proces, který umožňuje výrobu široké škály méně namáhaných dílů s jednoduchým i složitým tvarem. Tento termín je používán k popisu různých metod tváření materiálu, umožňující trvalou změnu tvaru výchozího polotovaru, obvykle plechu, aniž by došlo k významné změně jeho tloušťky nebo průřezu. Tyto díly se vyznačují přesnými rozměry, malou tloušťkou stěny a vysokou tuhostí, která je dosažena vhodným prostorovým členěním. Typické vlastnosti takto vyrobených dílů zahrnují nízkou hmotnost, dostatečnou pevnost a tuhost. Výroba malých součástek pomocí sdružených tvářecích nástrojů umožňuje dosáhnout vysoké produktivity práce. Využití této metody je obvykle omezenější, jelikož vyžaduje tabuli, pás nebo svitek plechu a vytvoření přístřihů. Technologický odpad lze minimalizovat optimálně zvoleným uspořádáním přístřihů, jejichž tvar závisí na geometrii výstřižku, ale nelze ho zcela eliminovat. Zpracování plechu pomocí tváření je základním prvkem průmyslové výroby. Pomocí plošného tváření je také možné nahradit svařované dílce a odlitky, čímž lze uspořit materiál až o 50 % a také snížit pracnost až o 75 %.

Plošné tváření se dělí na:

- stříhání
- ohýbání
- tlačení
- tažení. [2, 3]

2 STŘÍHÁNÍ

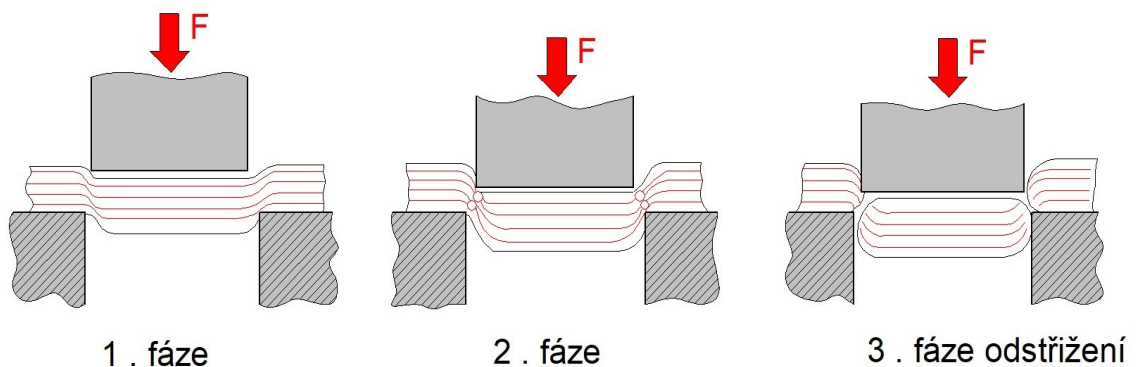
Proces stříhání představuje základní a nejrozšířenější operaci v oblasti tváření materiálů. Jeho všestranné využití zahrnuje jak přípravu polotovarů, tak i finální úpravy a pomocné operace. Mezi běžné činnosti patří stříhání tabulí, profilů, děrování, ostříhování a dále pro výrobu výstřižků z plechu pro další technologické operace (ohýbání, protlačování, tažení), nebo pro jeho konečné použití. Stříhání se uplatňuje i při dokončovacích a pomocných operacích, jako je odstraňování přebytečného materiálu nebo úprava tvaru a rozměrů.

Výběr vhodné technologie stříhání závisí na specifických požadavcích dané operace, vlastnostech materiálu a požadované přesnosti. Stříhání lze provádět pomocí nůžek nebo stříhacími nástroji – stříhadly.

Stříhání je klíčovou technologií v mnoha průmyslových odvětvích, od výroby automobilů a strojů až po výrobu elektroniky a spotřebního zboží. Díky své všestrannosti a široké škále dostupných metod je stříhání součástí moderní výroby. [4]

2.1 Střížný proces

Střížný proces lze rozdělit na tři fáze.



Obr. 1 Fáze stříhání [4]

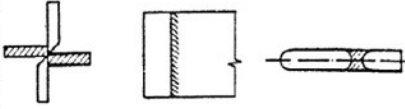
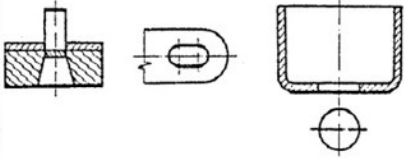
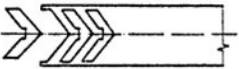
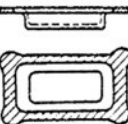
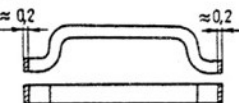

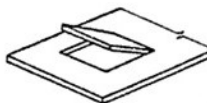

V první fázi se materiál v místě stříhu pružně deformuje. Střížník vniká do materiálu, jen nepatrně zhruba v rozmezí do 5-8 % tloušťky materiálu. Tato fáze závisí také na mechanických vlastnostech materiálu a trvá, dokud není dosaženo meze kluzu.

Po překročení meze kluzu se materiál v druhé fázi deformuje plasticky, tzv. trvale. V okolí hran střížnice a střížníku se hromadí napětí. Střížník přitom vniká zhruba do 10 až 25 % tloušťky materiálu.

V třetí fázi se v místě stříhu se začínají vytvářet trhlinky, které se rozšiřují a v důsledku překročení meze pevnosti ve stříhu dochází k utržení materiálu. Hloubka vniknutí střížníku se obecně pohybuje v rozmezí 10 až 60 % tloušťky materiálu, přičemž závisí především na velikosti střížné mezery a mechanických vlastnostech materiálu. [5]

2.2 Základní technologické operace stříhání plechu

Stříhání plechu lze rozdělit na základní operace dle použitého nástroje a střížné operace.

<p><i>Prosté stříhání</i></p> 	<p>Rozdělování materiálu, např. pásů, tabulí, tyčí</p>
<p><i>Děrování</i></p> 	<p>Vytváření otvorů různých tvarů. Vystřižená část tvoří odpad</p>
<p><i>Vystřihování</i></p> 	<p>Zhotovování výstřižků různého tvaru oddělením od materiálu po uzavřeném obrysu. Vystřižená část tvoří výstřižek</p>
<p><i>Ostřihování</i></p> 	<p>Oddělování přebytečného materiálu</p>
<p><i>Přistřihování</i></p> 	<p>Dosažení přesných tvarů, rozměrů nebo hladkých ploch</p>
<p><i>Nastřihování</i></p> 	<p>Částečné nastřihnutí materiálu v okraji tak, že není úplně oddělen</p>
<p><i>Prostřihování</i></p> 	<p>Částečné nastřihnutí materiálu v libovolném tvaru uvnitř součásti</p>
<p><i>Protrhávání</i></p> 	<p>Protržení materiálu pro vytvoření hrotů, děr a výstupků</p>

Obr. 2 Přehled základních operací při stříhání [5]

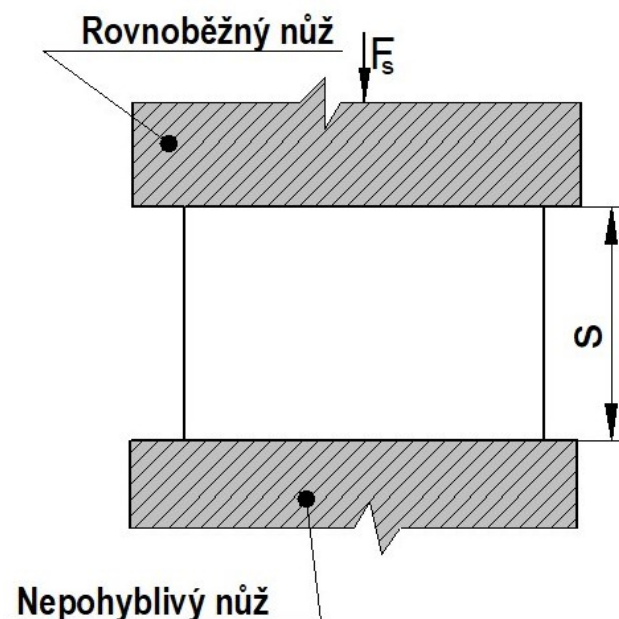
2.3 Rozdělení střížných nožů dle konstrukce

Znalost principů a faktorů ovlivňujících proces stříhání je nezbytná pro výběr vhodné metody a volbu nástroje.

Dělení materiálu je prováděno pomocí střížných nožů, které se liší typem a konstrukcí. Podle výkonné části nástroje jsou rozlišovány.

2.3.1 Stříhání s rovnoběžnými noži

Stříhání rovnoběžnými noži je běžnou metodou používanou pro přesné stříhání materiálu, a to za pomoci střížného nástroje. Tento nástroj se skládá z pohyblivého rovnoběžného nože (střížníku) a nepohyblivého nože (střížnice). Mezi nástroji je takzvaná střížná mezera neboli střížná vůle. Tato mezera, která odpovídá polovině šířky střížné vůle, je nezbytná pro bezpečný provoz, jelikož nedostatek mezery může způsobit havárii. Střížná mezera také ovlivňuje také kvalitu výstřížku, proto musí být optimálně zvolena. Nevýhoda rovnoběžných nožů spočívá v tom, že střížná síla je velká a působí okamžitě, což způsobuje rázy. [4]

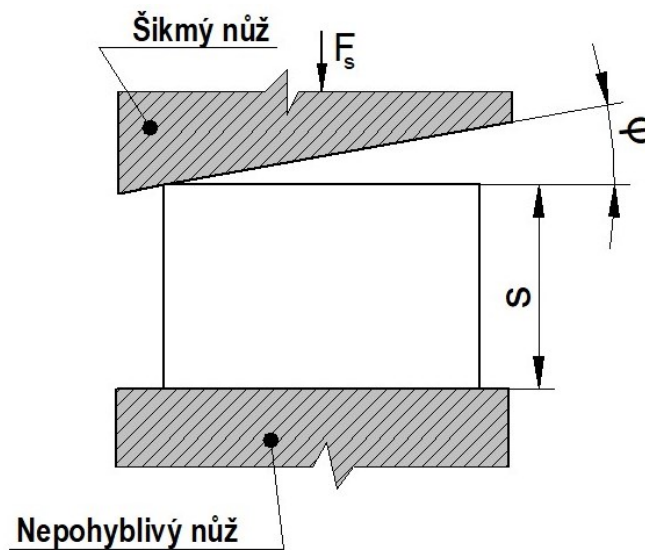


Obr. 3 Schéma stříhání rovnoběžnými noži [6]

2.3.2 Stříhání šikmými noži

Stříhání šikmými noži se používá pro stříhání materiálu o relativně malé tloušťce v porovnání s šířkou stříhu. Při použití šikmých nožů se snižuje střížná síla a zvětšuje se rozsah pohybu, který je nutný pro stříhání k oddělování materiálu. Pronikání horní čepele do materiálu je postupné a v důsledku toho dochází ke zmenšení rázů a také střížné síly.

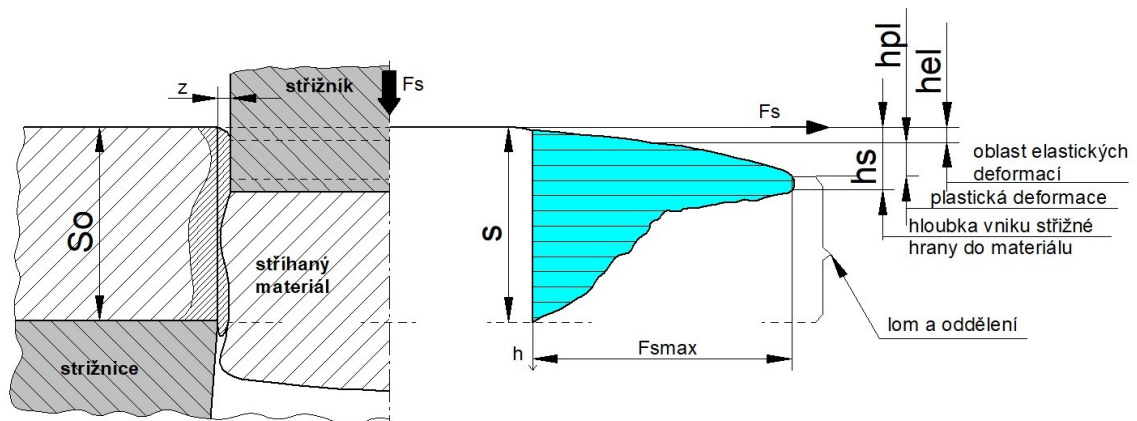
Nevýhodou šikmých nožů je deformace ustřižené části, která probíhá postupným ohýbáním materiálu během stříhu. [4]



Obr. 4 Schéma stříhání šikmými noži [6]

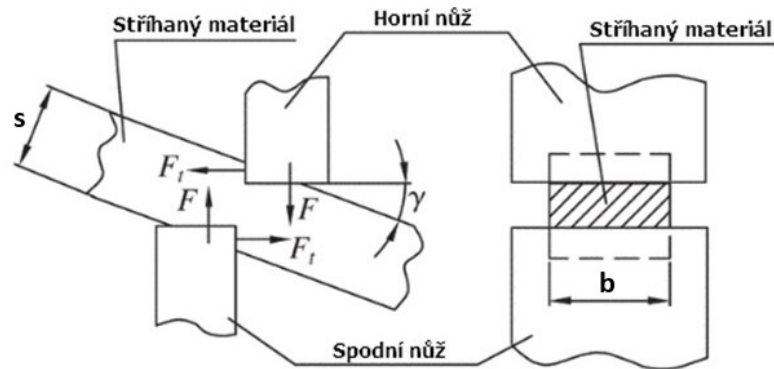
2.4 Střížná práce a síla

Střížné síly a vykonaná práce, ale i o místo, kde tato síla působí jsou klíčové pro další práci při navrhování nástroje. Když nástroj vniká do materiálu, vznikají v něm nejprve elastické deformace, následované plastickými. Velikost střížné síly závisí na hloubce, do které nástroj proniká. Vlivem postupu nástroje se tloušťka materiálu zmenšuje, avšak díky místnímu zpevnění síla plynule stoupá. Střížné síly narůstají až po dosažení hranice plastické deformace, kdy v materiálu začínají vznikat první trhlinky. Následně dochází k mírnému poklesu síly, kdy při dosažení hloubky „ h_s “, dochází k lomu materiálu. Následný pokles síly bývá ovlivňuje vzájemné tření povrchu materiálu. [7]



Obr. 5 Průběh střížné síly při stříhání [7]

2.4.1 Síla a práce při stříhání rovnoběžnými noži



Obr. 6 Stříhání rovnoběžnými noži [8]

Výpočet střížné síly rovnoběžnými noži pro vystřihování a děrování je dán ze vztahu (1).

$$F_s = k \cdot s \cdot l_s \cdot \tau_s \quad [N] \quad (1)$$

F_s - střížná síla [N]

k - součinitel otupení břitů (1,2 - 1,5) [-]

s - tloušťka plechu [mm]

l_s - délka stříhu (obvod všech stříhaných částí) [mm]

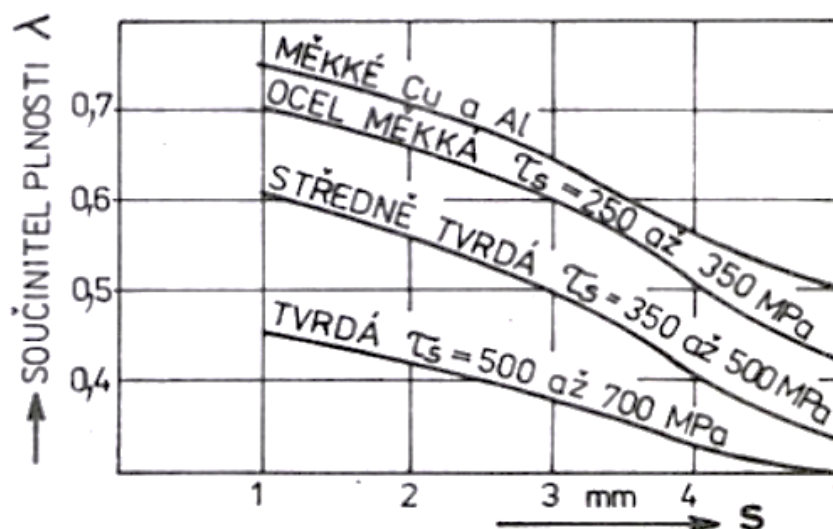
τ_s - pevnost materiálu ve stříhu, $\tau_s = 0,8 \cdot R_m$ [MPa]

Výpočet střížné práce rovnoběžnými noži je dán ze vztahu (2), kde součinitel plnosti lze určit z obr. 7.

$$A_s = \frac{F_s \cdot \lambda \cdot s}{1000} \quad [J] \quad (2)$$

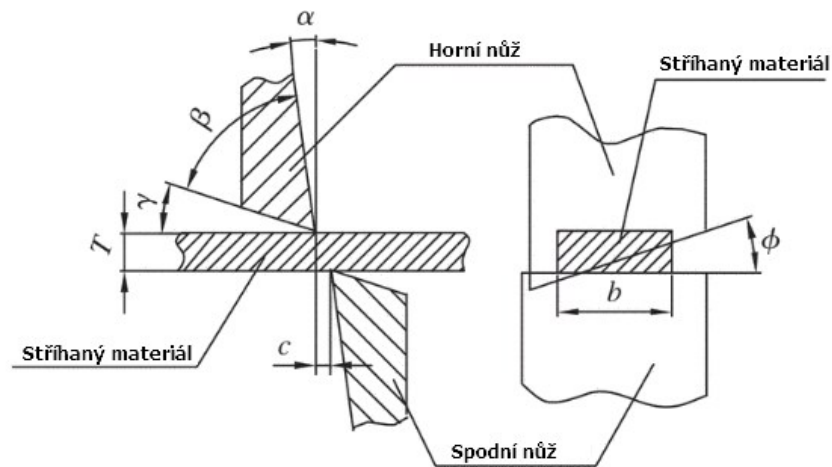
A_s - střížná práce [J]

λ - součinitel plnosti [-]



Obr. 7 Graf součinitele plnosti v závislosti na tloušťce plechu [7]

2.4.2 Síla při stříhání šikmými noži



Obr. 8 Stříhání šikmými noži [8]

$$F_s = k \cdot \frac{s^2}{2 \cdot \tan \varphi} \cdot \tau_s [N] \quad (3)$$

φ – úhel sklonu nožů ($2^\circ \leq \varphi \leq 5^\circ$) [$^\circ$]

2.5 Přesné stříhání

Na jakost povrchu má vliv i zvolená metoda stříhání, při standartním stříhání do tloušťky materiálu 4 mm a rozměru do 200 mm lze dosahovat přesnosti IT 12 až IT 14. Tvrdost materiálu má také vliv na jakost povrchu, čím tvrdší tím je jakost horší. Zvýšením rychlosti stříhu lze zlepšit jakost povrchu, nebo využitím přesného stříhání.

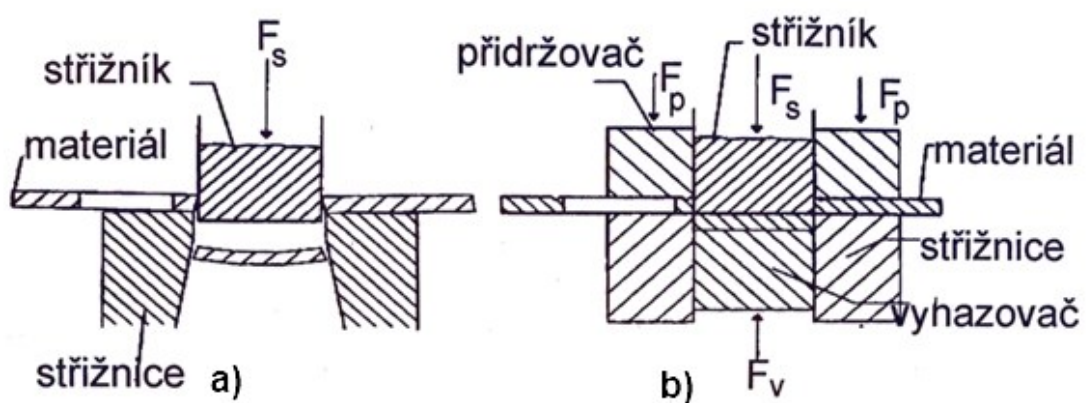
Přesného stříhání se využívá hlavně pro výrobu přesných rozměrů, otvorů nebo tam kde jsou kladeny vyšší nároky na jakost povrchu. Technologií přesného stříhání lze dosahovat stupně přesnosti IT 6 pro tloušťky plechu 0,5 až 1 mm a IT 9 u plechu tloušťky nad 6 mm. Tato technologie má určité omezení na vhodnost materiálu pro přesné stříhání. Rozdělení vhodných materiálů viz obr. 9. [9 ,10]

Označení materiálu	vhodnost pro přesné stříhání
ČSN 11 300, 11 320, 11 330, 11 343, 11 373, 11 423, 11 425; 12 010, 12 014, 12 020, 12 023, 12 024 ČSN 42 4214 (mosaz)	velmi dobrá
ČSN 11 500, 11 600, 11 700 16 720	dobrá
Ms 63; Ms 60	špatná
Ms 58 (ČSN 42 3223)	nevhodná
Ms 63Pb (ČSN 42 3214)	nehodí se
ČSN 12 040, 12 041, 12 050, 12 060, 12 061, 12 073, 12 081, 12 088; 13 180; 14 109, 14 120, 14 180, 14 220, 14 221, 14 260; 15 124, 15 130; 16 220, 16 221, 16 231, 16 420; 17 041, 17 240, 17 241, 17 246, 17 253; 19 103, 19 132, 19 140, 19 152, 19 191, 19 192, 19 221, 19 222, 19 252, 19 255, 19 312, 19 419, 19 452.	opotřebení nástroje

Obr. 9 Přehled vybraných materiálů pro přesné stříhání [10]

2.5.1 Stříhání s přidržovačem

Stříhání s přidržovačem funguje na principu přitlačné desky, která přidrží stříhaný materiál a zamezí jeho vtahování do vznikajícího otvoru. Se zvyšující se tahovou složkou napětí se také zvyšuje složka tlaková, což přispívá ke zlepšení stavu napjatosti v oblasti stříhu. Způsob stříhu s přidržovačem a bez viz obr. 10. [11]



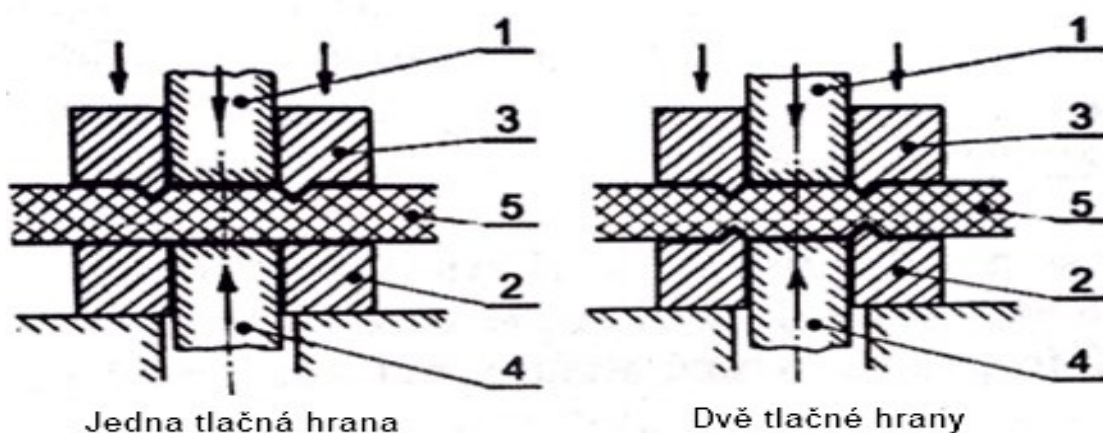
Obr. 10 Rozdíl mezi stříháním s přidržovačem a bez [11]

a) bez přidržovače, b) s přidržovačem

2.5.2 Stříhání s tlačnou hranou

Stříhání s tlačnou hranou spočívá v tom, že přidržovač s tlačnou hranou se vtiskne do materiálu ještě před samotným stříháním a tím zabráni prohýbání materiálu. Ze spodní strany působí na materiál vyhazovač, který působí tlakem se střížníkem. Tlakové napětí způsobuje rozšíření plastického střížného pásma přes celou tloušťku materiálu. [10]

Stříháním tlačnou hranou lze vyrábět výstřižky takzvaně na hotovo, není potřeba dalších úprav i u tlustších plechů. U materiálu s $t > 5$ mm se používají dvě tlačné hrany a to na střížníku i střížnici (viz obr. 11). [11]

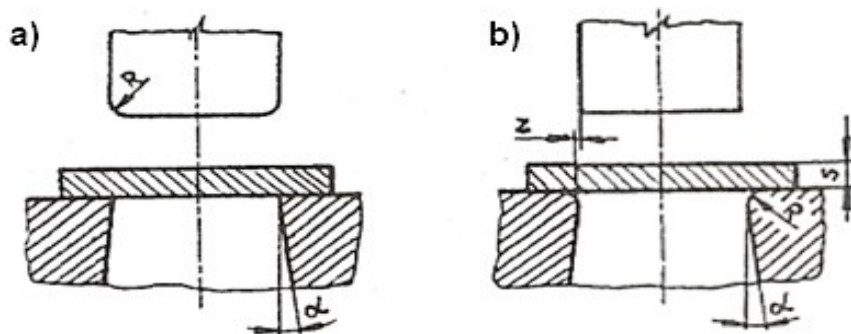


Obr. 11 Stříhání s tlačnou hranou [11]

1 - střížník, 2 - střížnice, 3 - přidržovač s tlačnou hranou, 4 - vyhazovač, 5 - materiál

2.5.3 Stříhání se zaoblenou střížnou hranou

Stříhání se zaoblenou střížnou hranou zabraňuje vzniku trhlin zaoblením střížné hrany střížníku, nebo střížnice. Kvalitní povrch otvoru zajišťuje zaoblená hrana střížnice naopak zaoblená hrana střížníku zajišťuje kvalitní povrch výstřižku. Zaoblení hran se doporučuje $R = (0,15 \text{ až } 0,20) \cdot s$ a velikost střížné mezery $z = (0,01 \text{ až } 0,025) \text{ mm}$. [9, 10]

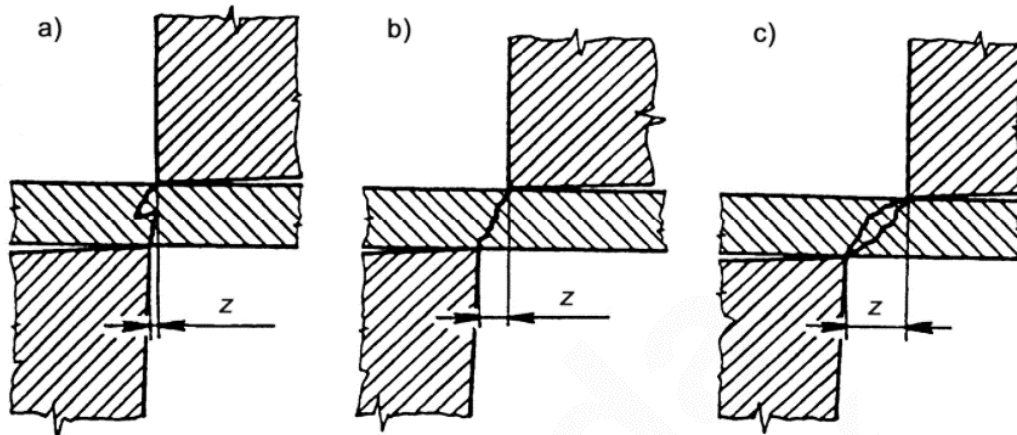


Obr. 12 Stříhání se zaoblenou hranou [10]

a) vystřihování, b) děrování

2.6 Střížná mezera

Velikost střížné mezery (tj. poloviční vůle) bude volena v závislosti na druhu materiálu a jeho tloušťce. Mezera v zásadě ovlivňuje důležité aspekty při stříhu, jako je kvalitní střížná plocha, velikost síly potřebné ke stříhu a životnost nástroje.



Obr. 13 Vliv střížné mezery na jakost střížné plochy [12]

a) malá mezera, b) optimální mezera, c) velká mezera

Při správně zvolené velikosti střížné mezery dochází k tomu, že se při stříhání vznikající trhliny spojí a dochází ke správnému ustřížení plochy (viz obr. 13). Kvalitní plocha s minimální střížnou silou je výsledkem optimálně volené střížné mezery. U měkčích a tlustších plechů se mezera volí menší. Obecný rozsah střížné mezery je 3 až 20 % tloušťky plechu. Při výrobě nových nástrojů je velikost střížné mezery pečlivě určena s minimální dovolenou tolerancí, s ohledem na budoucí opotřebení nástroje. Střížnou mezeru lze stanovit výpočtem. [12]

Výpočet velikosti střížné mezery pro tenké plechy $s \leq 3$ mm ze vztahu (4).

$$z = \frac{v}{2} = c \cdot s \cdot 0,32 \cdot \sqrt{\tau_s} \text{ [mm]} \quad (4)$$

Pro tlusté plechy $s > 3$ mm ze vztahu (5).

$$z = \frac{v}{2} = (1,5 \cdot c \cdot s - 0,015) \cdot 0,32 \cdot \sqrt{\tau_s} \text{ [mm]} \quad (5)$$

v – střížná vůle [mm]

z – střížná mezera [mm]

c – koeficient závislý na stupni stříhu (0,005 – 0,035) [-]

2.7 Nástřihový plán

V procesu stříhání je klíčové, aby výstřižky byly precizně rozmístěny na pásu plechu, s cílem minimalizovat množství odpadu. Nástřihový plán, je nezbytný pro optimalizaci výrobního procesu. Odpad, ať už technologický či konstrukční, tvoří důležitou část stříhání je řazen mezi hromadné výrobní operace, a proto je zásadní, aby byla věnována pozornost správnému rozložení výrobků. Materiál obvykle představuje významnou část nákladů, a to 60 až 75 %. Při volbě nástřihového plánu je třeba dbát na vhodné rozmístění výstřižku, aby bylo využito co nejvíce materiálu a vznikal co nejmenší technologický odpad (viz obr. 14). Také je třeba dbát na dodržování konstrukčních principů a minimální vzdálenosti mezi výrobkem a okrajem pásu.

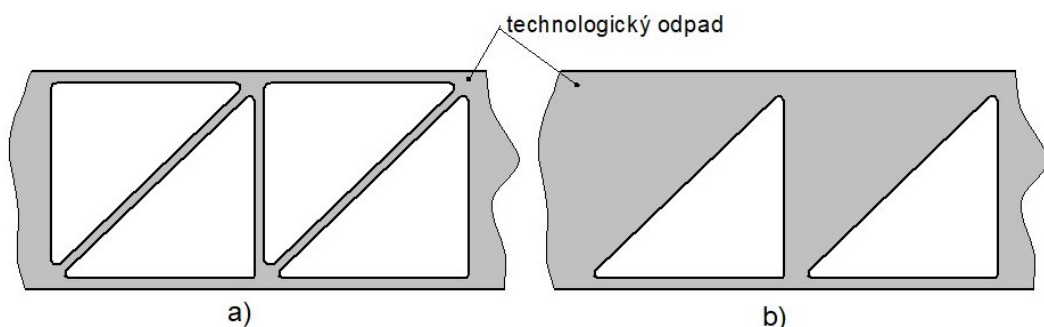
Existují dvě základní varianty nástřihového plánu: kusový, který optimalizuje stříhání jednotlivých kusů, a skupinový, který umožňuje stříhání specifických tvarů a součástí v jednom průchodu. Hospodárnost nástřihového plánu se vyjadřuje v procentech a je charakterizována součinitelem využití materiálu, který je dán ze vztahu (6). [4]

$$\eta = \frac{S_o}{S_p} \cdot 100 [\%] \quad (6)$$

η – součinitel využití materiálu [%]

S_o – celková plocha výstřižku [mm^2]

S_p – celková plocha plechu [mm^2]



Obr. 14 Ukázka nástřihového plánu [1]

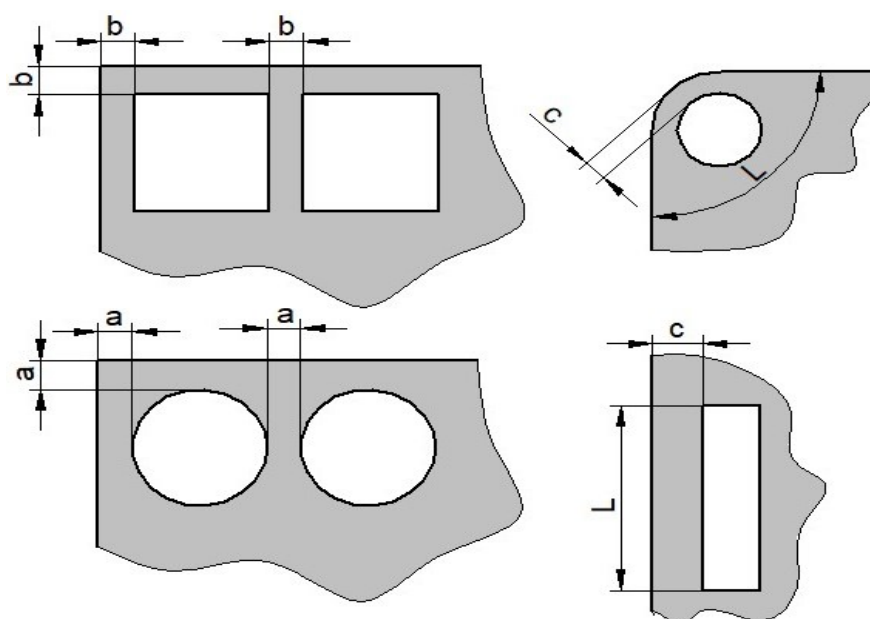
a) vhodné uspořádání materiálu, b) nevhodné uspořádání materiálu

2.8 Technologičnost při stříhání

Při navrhování výrobků zohledňujeme nejen jejich funkčnost a vzhled, ale hlavně způsob výroby a jeho ekonomickou stránku, ale případně i tu ekologickou. Technologičnost při

stříhání tvarových prvků spočívá v tom, že se zohlední určité aspekty v tomto procesu. Mezi tyto nedokonalosti lze zařadit.

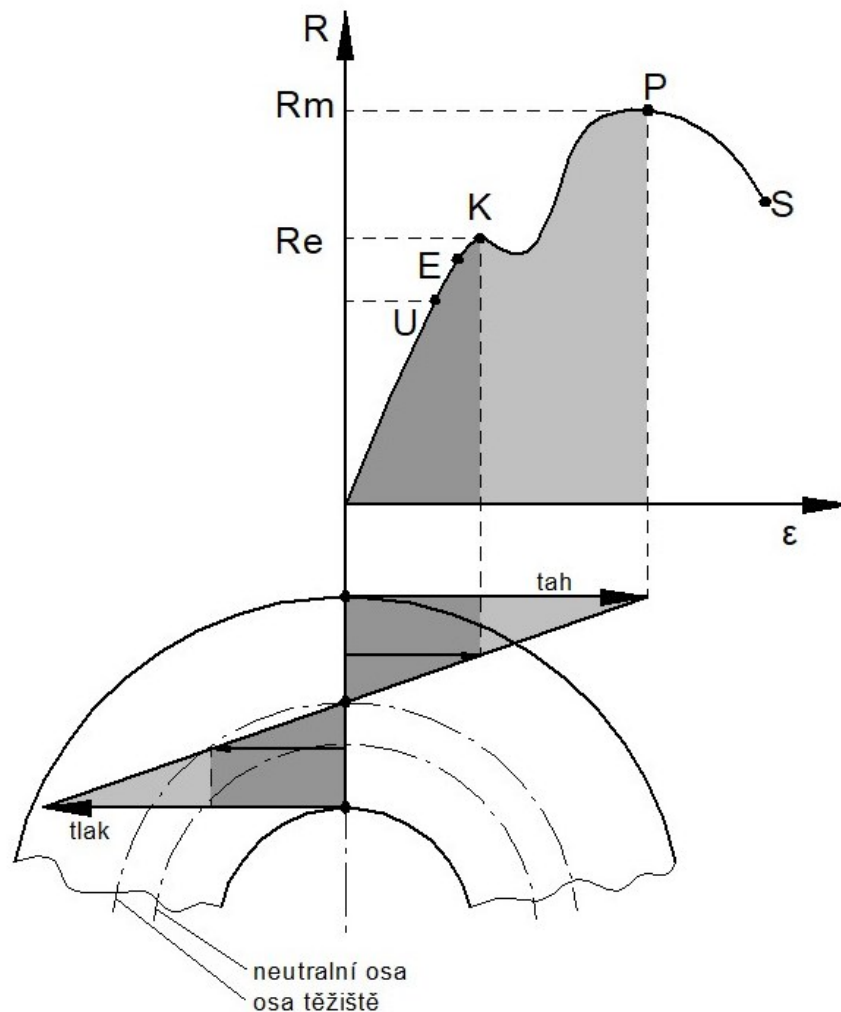
- Tolerance u výstřížků rozměrů menších než 150 mm lze dosahovat IT12 až IT 14, u přesného stříhání IT9 až IT11, pokud jsou součástí vodící sloupky.
- Není vhodné předepisovat lepší drsnost střížné plochy, než se dosahuje běžným stříháním, protože to zvyšuje náklady na výrobu. Běžně se předepisuje $Ra = 3,2 - 6,3$. Přesným stříháním se dosahuje drsnosti $Ra = 0,2 - 0,8$.
- Není nutné prepisovat drsnost a kolmost k ploše plechu, pokud není součástí funkční plochy. Rozvětvené a kruhové tvary jsou velice neefektivní. Nejvhodnější tvar je rovnoběžník.
- Jsou preferovány otvory kruhového průřezu. Rohy na výstřížku je nutné zkosit nebo zaoblit. Není vhodné, aby se měnily poloměry zaoblení rohů. Střídání zaoblených a ostrých rohů se nedoporučuje.
- Vzdálenost vystříhovaných otvorů od okraje, nebo mezi nimi u polotvrdých plechů by měla být minimálně: $a \geq 0,8 s$, $b \geq 1 s$, $c \geq 1,5 s$. U měkčích ocelí tloušťky $s \leq 1,5$ mm je vhodné tyto vzdálenosti zvětšit o 20 až 25 %.
- Děrováním lze vytvářet otvory s minimálním průměrem rovným tloušťce materiálu. Pro vytvoření menších otvorů lze použít přesné metody stříhání až do průměru, který je $d = 0,3s$. [1, 13]



Obr. 15 Technologické požadavky na vzdálenosti přepážek [13]

3 OHÝBÁNÍ

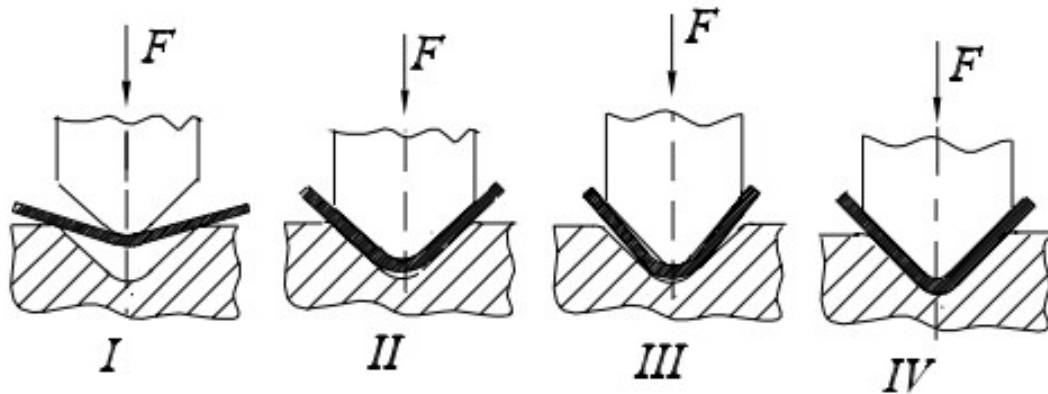
Ohýbání je způsob plošného tváření materiálu za pomoci ohýbadla, které je sestaveno z ohybníku a ohybnice. Produktem po ohýbání jsou výlisky. Během ohybu dochází k trvalé deformaci do požadovaného úhlu ohybu, přičemž hrany mohou být buď mírně zakřiveny nebo zcela ohnuté. Během ohýbání jsou vlákna materiálu na okrajích deformována napětím opačného smyslu, tj. tahem či tlakem, až dosáhnou bodů R_e a R_m , což představuje oblast trvalé deformace. Více deformovány bývají průřezy s delší stranou na výšku než ty, s delší stranou na šířku. V okolí středu ohýbaných průřezů jsou napětí relativně nízká a dosahují mez kluzu. Mezi těmito pásmy nejsou vlákna vystavena napětí ani deformaci. Tyto místa spojuje neutrální plocha, která je posunuta směrem k vnitřní straně ohybu (viz obr. 16), což znamená, že těžiště ohýbaného materiálu není shodné s polohou neutrální osy. [1, 4]



Obr. 16 Napětí v krajních vláknech ohýbaného materiálu [1]

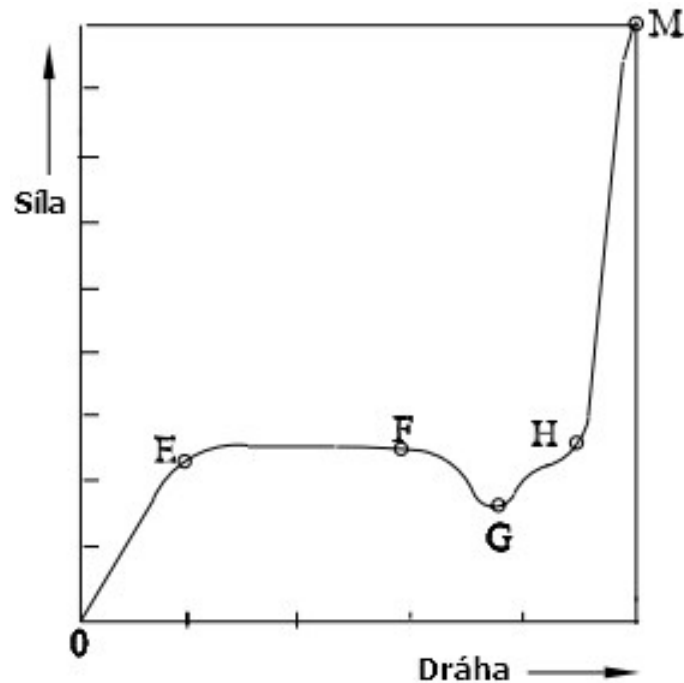
3.1 Proces ohýbání

Procesem jednoduchého ohýbání lze vyrábět součásti do tvaru V-profilu a U-profilu. Pro průběh ohýbání součásti do tvaru V jsou čtyři charakteristické fáze.



Obr. 17 Fáze ohybu [8]

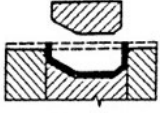
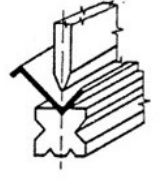
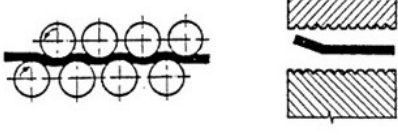
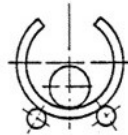
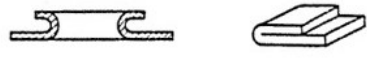




V první fázi dochází k volnému ohýbání. V této fázi je na výlisek vyvíjena síla ohybníkem, avšak vzdálenost mezi ohybovými body ohybnice se nemění. V druhé fázi působením síly ohybníku se konce výlisku dotýkají bočních ploch ohybnice a dochází ke změně vzdálenosti ohybových bodů. Zároveň se mění i poloměr ohybu, který je větší než poloměr ohybníku. V třetí fázi je výlisek kopírován tvarem ohybníku. Mezi fází tři a čtyři je výlisek ve skutečnosti ohýbán v opačném směru než ve fázi jedna a dva (zpětné odpružení). Fáze čtyři nastává ve chvíli, kdy se výlisek dotýká ohybníku a ohybnice po celé ploše a poloměr ohybu je stejný jako poloměr ohybníku. Obvykle je nutné zploštit ohybovou plochu mezi špičkou ohybníku a povrchem ohybnice, aby se zabránilo odpružení. Tímto krokem je docíleno pomocí tzv. kalibrace, kdy je ohybová síla zvýšena až o 25 %. V této chvíli je fáze čtyři ukončena a ohýbání plechu je dokončeno. [8]



Obr. 18 Vztah mezi silou ohybu a dráhou ohybníku [8]

Z obr. 18 je patrný graf, který popisuje vztah mezi silou ohybu a dráhou ohybníku. Volné ohýbání lze rozdělit na tři intervaly (OG). V prvním intervalu síla strmě narůstá (OE) a vznikají elastické deformace, které jsou ovlivněny mechanickými vlastnostmi ohýbaného materiálu. V druhém intervalu (EF), který probíhá nejdéle, se materiál pohybuje v oblasti plastických deformací a síla je převážně konstantní. V třetím intervalu (FG) se síla mírně sníží v důsledku skluzu materiálu. Poté se síla zase zvětší (GH) a vzniká konečný tvar, výlisek je ohnutý. Nakonec nastává tzv. kalibrace (HM), kde se na konci lisovacího cyklu zvětší ohybová síla, čímž dojde ke snížení odpružení případně zmizí úplně. [8]

3.2 Základní technologické operace ohýbání plechu

<p><i>Prosté ohýbání</i></p> 	<p>Tváření plochy rovinné v plochy různě vůči sobě orientované vytvářením ostrých nebo oblých hran</p>
<p><i>Ohraňování</i></p> 	<p>Ohýbání plechu na jednoúčelových, tzv. ohrňovacích lisech</p>
<p><i>Rovnění</i></p> 	<p>Dodatečné rovnání plechu, přístřihu, profilového materiálu i výtvarku</p>
<p><i>Zakružování</i></p> 	<p>Tváření rovinné i členité plochy v plochu válcovou, kuželovou nebo části těchto ploch</p>
<p><i>Lemování</i></p> 	<p>Ohýbání okraje rovinné nebo prostorové plochy k získání ozdobného vzhledu, odstranění ostrých hran apod.</p>
<p><i>Obrubování</i></p> 	<p>Vyztužování okraje rovinné nebo prostorové plochy ke zvýšení jakosti okraje, vytvoření okraje pro závěsy apod.</p>
<p><i>Osazování (prosazování)</i></p> 	<p>Ohnutí promáčknutím v okraji nebo uvnitř rovinné plochy</p>
<p><i>Drápkování</i></p> 	<p>Pevné spojení předehtnutých okrajů plechů tím, že se do sebe vzájemně zaklesnou a společně doohnou</p>
<p><i>Zkrucování</i></p> 	<p>Natáčení plochého nebo profilovaného polotovaru nebo výkovku vzhledem k sousední části kolem společné osy o určitý úhel</p>

Obr. 19 Přehled základních operací při ohýbání [5]

3.3 Neutrální plocha, maximální a minimální poloměr ohybu

Neutrální plocha je velice charakteristickým znakem pro ohýbání. Napětí v oblasti neutrální plochy podstupuje náhlou změnu své velikosti a polarity. Tyto změny v napětí, jak tahovém, tak tlakovém, v průběhu ohýbání současně ovlivňují deformaci v příčném průřezu. V místě ohybu dochází k ztenčení materiálu při ohýbání tenkých a širokých plechů, přičemž příčný průřez téměř zůstává nedotčen. Rozlišuje se také ohýbání úzkých ($w < 3s$) a širokých ($w > 3s$) polotovarů, kde w značí šířku a s tloušťku polotovaru v milimetrech. Poloměr ohybu neutrální osy lze vypočítat ze vztahu (6). [6]

$$\rho = R + x \cdot s \text{ [mm]} \quad (6)$$

R – vnitřní poloměr ohybu [mm]

x – součinitel posunutí neutrální osy [-]

ρ – poloměr ohybu neutrální osy [mm]

Tabulka 1 Hodnoty součinitele x [4]

R/s	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	1	1,2	1,5	2	3	4	> 5
x	0,23	0,29	0,32	0,35	0,37	0,38	0,39	0,4	0,4	0,42	0,44	0,45	0,46	0,47	0,5

U ohýbaných součástí, kde dochází ke změně tahového napětí existuje vrstva, ve které nepůsobí napětí a také nevzniká deformace. Tato vrstva se nazývá neutrální plocha (osa) a je nedílnou součástí při ohýbání. Pomocí této osy lze stanovit výchozí délku polotovaru. Délka ohýbaného ramene lze vypočítat ze vztahu (7). [6]

$$l_0 = \frac{\pi \cdot \rho \cdot \alpha}{180} \text{ [mm]} \quad (7)$$

l_0 – délka ohýbaného ramene [mm]

α – úhel ohnutého úseku [°]

Minimální poloměr ohybu R_{min} udává minimální přípustný poloměr, který je dovolen u ohýbaného materiálu. Při překročení přípustného poloměru mohou vzniknout trhliny, což má za následek trvalé poškození materiálu.

Minimální poloměr závisí na především na volbě materiálu a jeho mechanických vlastností, šířce a tloušťce, metodě ohýbání, úhlu ohybu, kvalitě povrchu. Ohyb by měl být prováděn napříč směru vláken. Minimálního poloměru lze vypočítat ze vztahu (8).

$$R_{min} = \frac{s}{2} \cdot \left(\frac{1}{\varepsilon_c} - 1 \right) = c_{min} \cdot s \text{ [mm]} \quad (8)$$

ε_c – mezní prodloužení [-]

c_{min} – koeficient určující min. poloměr ohybu, pro ocel = 0,5-0,6 [-]

Maximální poloměr R_{max} je určen potřebou zajistit trvalou deformaci překonáním meze kluzu Re v příslušných krajních vrstvách ohýbaného průřezu. Ohýbaný materiál se vrátí do původního stavu pouze při elastické deformaci, proto je třeba ji překonat. Maximální poloměr lze vypočítat ze vztahu (9). [10]

$$R_{max} = \frac{E_t \cdot s}{2 \cdot Re} \text{ [mm]} \quad (9)$$

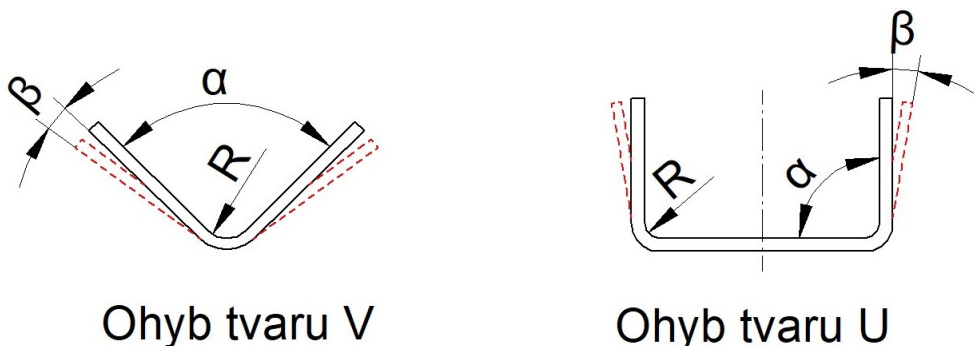
E_t – modul pružnosti v tahu (ocel $2,1 \cdot 10^5$) [MPa]

Re – mez kluzu materiálu [MPa]

3.4 Odpružení

Všechny materiály disponují určitým modulem pružnosti. Proto po působení vnější síly na plasticky deformované těleso dochází k tzv. pružnému zotavení. V případě ohýbání se toto zotavení nazývá odpružení. U materiálů zpracovaných plošným tvářením je odpružení většinou zanedbatelné, avšak u ohýbání je tomu naopak.

Úhlová odchylka β , znázorněná na obr. 16, se zde projevuje jako odpružení. Toto odpružení se především projevuje jako odpor tvářeného materiálu v oblasti neutrální osy. Obvykle se pohybuje mezi 3 a 15°, přičemž jeho velikost záleží na způsobu ohýbání, tloušťce, vlastnostech materiálu a poloměru ohybu. [4]



Obr. 20 Odpružení materiálu tvaru V a U [4]

α – úhel ohybu, β – úhel odpružení

Úhel odpružení lze určit ze vztahu (10) a (11), nebo na základě praktických zkoušek z diagramu.

$$\operatorname{tg} \beta = 0,375 \cdot \frac{l_V}{k_o \cdot s} \cdot \frac{Re}{E_t} [^\circ] \quad (10)$$

$$\operatorname{tg} \beta = 0,75 \cdot \frac{l_m}{k_o \cdot s} \cdot \frac{Re}{E_t} [^\circ] \quad (11)$$

l_V – vzdálenost mezi opěrami ohybnice ve tvaru V [mm]

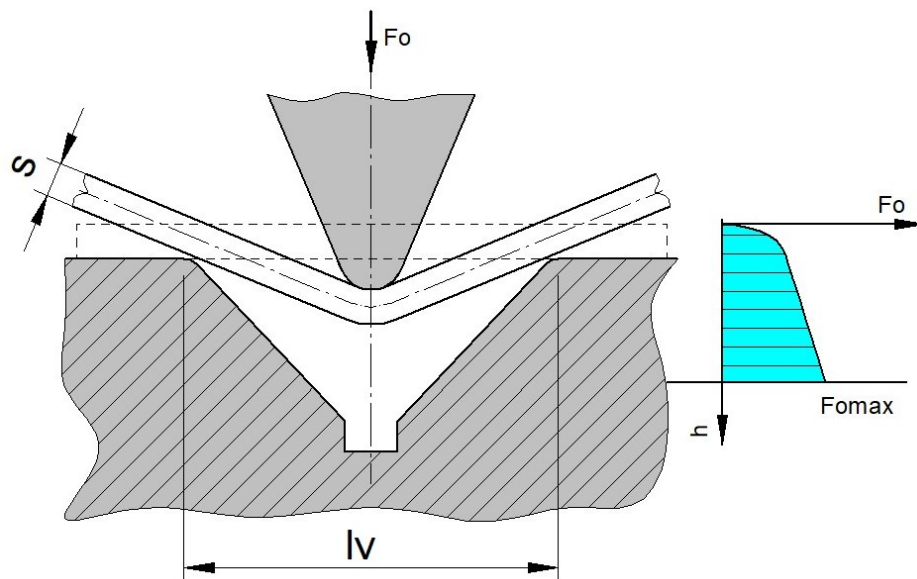
l_m – vzdálenost mezi ohybníkem a ohybnicí tvar U [mm]

k_o – součinitel určující polohu neutrální vrstvy $k_o = 1 - x [-]$

3.5 Ohybová práce a síla

Jednoduché ohýbání se dělí na dva základní tvary: U a V. Výpočet ohybové síly a práce je poměrně komplexní, jelikož do něj vstupuje mnoho faktorů. Proto zde bude uveden zjednodušený výpočet.

3.5.1 Ohýbací síla a práce do tvaru V



Obr. 21 Ohýbací síla tvaru V [6]

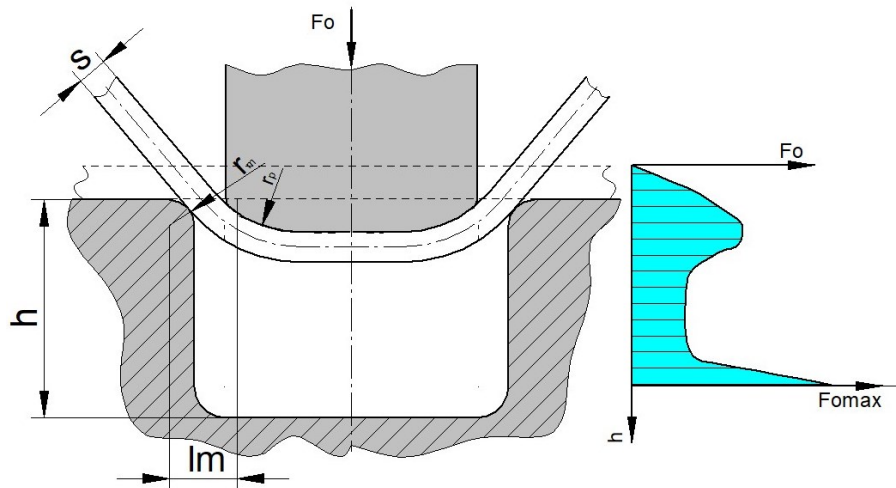
Ohýbaný výlisek lze chápat jako nosník, který leží na dvou podporách a je zatěžován silou uprostřed. Podpora je ohybnice a zatížení koná ohybník. Ohybovou sílu lze vyjádřit ze vztahu (12). [6]

$$F_{ov} = \frac{1,2 \cdot s^2 \cdot w \cdot Re}{l_V} [N] \quad (12)$$

F_{oV} – ohybová síla při tvaru do V [N]

w – šířka polotovaru [mm]

3.5.2 Ohýbací síla a práce do tvaru U



Obr. 22 Ohýbací síla tvaru V [6]

Ohyb do tvaru U probíhá současně ve dvou průřezích. Síla a práce lze spočítat z následujícího vztahu. Přidržovací síla se stanoví jako 25% ohybové síly. Celková síla i s kalibrací lze stanovit jako součet ohybové a přidržovací síly vynásoben třemi. [6]

$$F_{oU} = \frac{0,4 \cdot s^2 \cdot w \cdot R_m}{l_m} [N] \quad (13)$$

F_{oU} – ohybová síla při tvaru do U [N]

R_m – mez pevnosti v tahu [MPa]

Ohybová práce lze vypočítat ze vztahu (14) a platí pro tvar U i V.

$$A_o = m^* \cdot \frac{F_{(V,U)} \cdot h}{1000} [J] \quad (14)$$

m^* – součinitel respektující průběh ohýbací síly $m^* = 1/3 [-]$

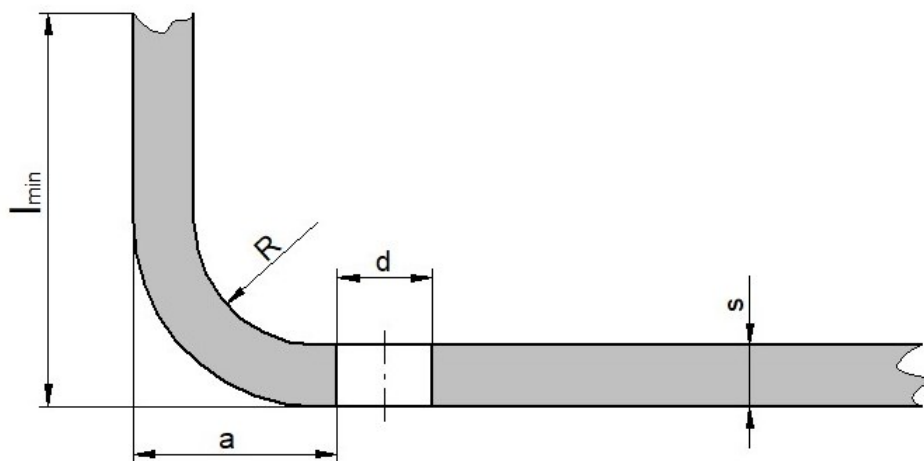
h – pracovní zdvih nástroje [m]

3.6 Technologičnost při ohýbání

Při navrhování ohýbaných výlisků je klíčové dodržet požadavky na poloměry ohybu. Poloměr ohybu by měl být dostatečný, aby došlo k plastické deformaci krajních vláken, ale zároveň nesmí být příliš malý, aby nedošlo k překročení mezí kluzu nebo pevnosti materiálu. Je také důležité volit poloměr ohybu tak, aby minimalizoval odpružení, ale zároveň zajistil

správnou tvárnost a tloušťku ohýbaného materiálu. Nesprávná volba poloměru ohybu může vést k destrukci ohýbaného průřezu. Pro zachování kvality výrobků je žádoucí dodržovat některé obecné zásady.

- Osu ohybu volit kolmo na směr vláken materiálu. V oblasti ohybu dochází vždy ke ztenčení materiál, je proto vhodné předpokládat ztenčení o 20 %.
- Poloměr ohybu zvolit nejmenší možný, proto aby se minimalizovalo odpružení, ale zároveň co největší s ohledem na tvárnost a tloušťku materiálu. Preferovat ohýbání s kalibrací namísto volného ohýbání.
- Navrhnout ohýbací nástroj tak, aby se zabránilo posunu místa ohybu. Případně upevnit materiál, pokud hrozí posunutí během ohýbání.
- Dodržovat vhodné vzdálenosti místa ohybu od kraje materiálu v závislosti na jeho tvrdosti. Zbytečně nepředepisovat tolerance, tam kde součást dovoluje nechat obecné tolerance.
- V situacích, kdy následuje ohyb po stříhání, je vhodné otřep směřovat na vnitřní stranu ohybu.
- V případě přesných otvorů v oblasti ohybu provést vystřižení dodatečně. Pokud se má zabránit deformaci děr během ohybu, je nutné umístit je ve specifické vzdálenosti od okraje ohybu: $a \geq R + 2s$, minimální délka ramene ohybu $l_{\min} = R + 3s$. [1, 14]



Obr. 23 Umístění děr a délka ramen pro ohyb [1]

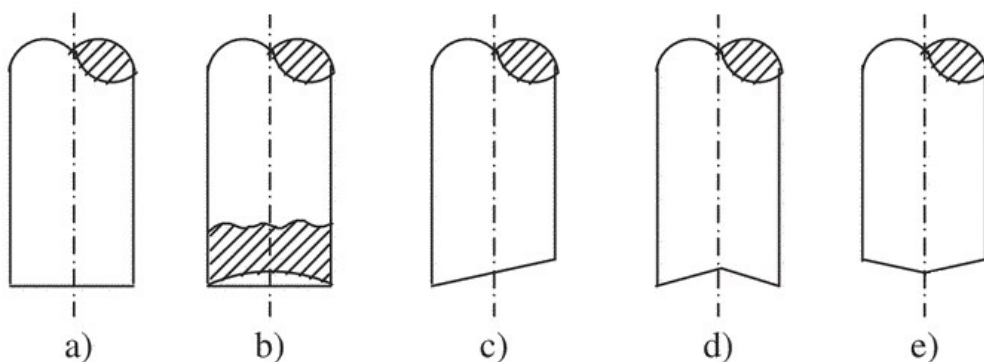
4 NÁSTROJE PRO STŘÍHÁNÍ

Nástroje pro stříhání lze rozdělit dle počtu operací a druhu.

- Jednoduché stříhadlo je určeno pro jednu operaci a vystřihuje jednoduché tvary.
- Postupové stříhadlo je určeno pro zhotovování výstřížků postupně na více kroků.
- Sloučené stříhadlo je určeno děrovat a vystřihovat zároveň v jednom kroku.
- Sdružené stříhadlo je určeno pro různé úkony jako je například děrování, tažení a ohýbání. [16]

4.1 Střížníky

Střížníky jsou pohyblivou částí nástroje, uloženou v kotevní desce a mající stejný tvar jako střížnice. Jsou vyráběny z nástrojové oceli poté se kalí pro zvýšení tvrdosti. Jednodušší tvary střížníků jsou normalizované. Při navrhování nestandardních střížníků je třeba brát ohled na jejich dostatečnou pevnost, aby nedocházelo k jejich prohýbání, a zabránit jejich protáčení při stříhání materiálu. Střížníky jsou rozlišovány na základě geometrie čel a způsobu uchycení. [8, 15, 17]

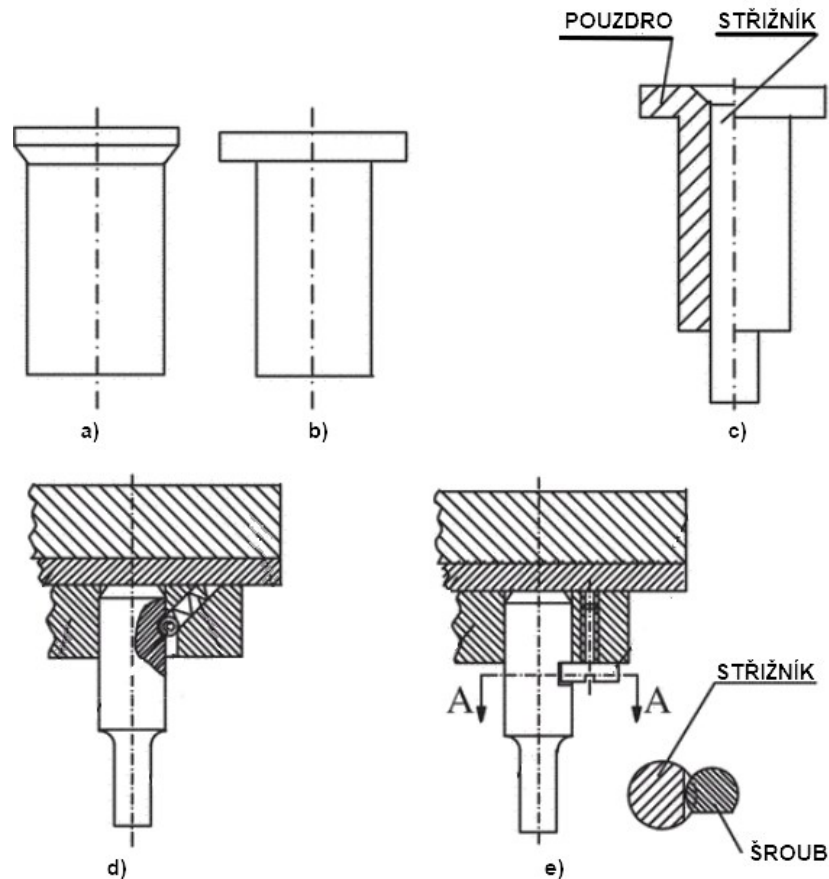


Obr. 24 Geometrie čel střížníků [8]

Nejvýhodnějším tvarem je rovnoběžník, jak je znázorněno na obrázku 24a. Jeho nevýhodou je, že na začátku dochází k velkému nárůstu střížné síly, protože stříhá celou plochu stříhu najednou, což způsobuje rázy. Tvary konkávního (obr. 24b), zkoseného (obr. 24c) a dvojitého zkosení (obr. 24d,e) snižují střížnou sílu, protože plochu stříhu vystřihují postupně. Nevýhodou těchto střížníků je jejich složitá výroba a následná údržba ve formě broušení střížných hran.

Způsoby uchycení střížníků jsou různé. Na obrázku 25a se hlava střížníku roznítuje do kotevní desky, nebo jej lze upnout za osazení obr. 25b. Další způsob je uchycení do pouzdra

a to v případě pokud má střížník malý průměr a je dlouhý. Na obr. 25d,e je znázorněno rychloupínání střížníků a to za pomoci kuličky nebo šroubem. Používá se zpravidla při častém měnění střížných nástrojů. [8, 16, 17]



Obr. 25 Způsoby uchycení střížníků [8]

Střížníky je nutné kontrolovat na namáhání v tlaku. Vzorec pro namáhání v tlaku je dán ze vztahu (15). [5]

$$\sigma_d = \frac{F_s}{S_s} < \sigma_{dov} \text{ [MPa]} \quad (15)$$

S_s – plocha průřezu střížníku [mm²]

σ_{dov} – dovolené napětí v tlaku [MPa]

Dlouhé střížníky musí být zkontrolovány na vzpěr. Kritická délka pro střížník ve vodící desce lze považovat za nosník, který je vetknutý a lze stanovit ze vztahu (16). [5]

$$l_k = \sqrt{\frac{4 \cdot \pi^2 \cdot E_t \cdot I}{k_b \cdot F_s}} \text{ [mm]} \quad (16)$$

l_k – kritická délka střížníku [mm]

π – Ludolfovo číslo [-]

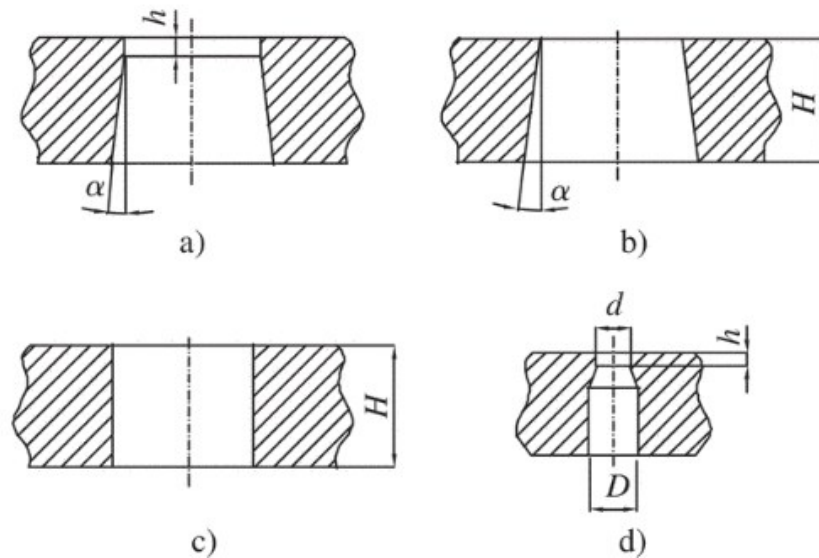
E_t – modul pružnosti v tahu [MPa]

I – moment setrvačnosti průřezu [mm⁴]

k_b – koeficient bezpečnosti (1,5 – 2) [-]

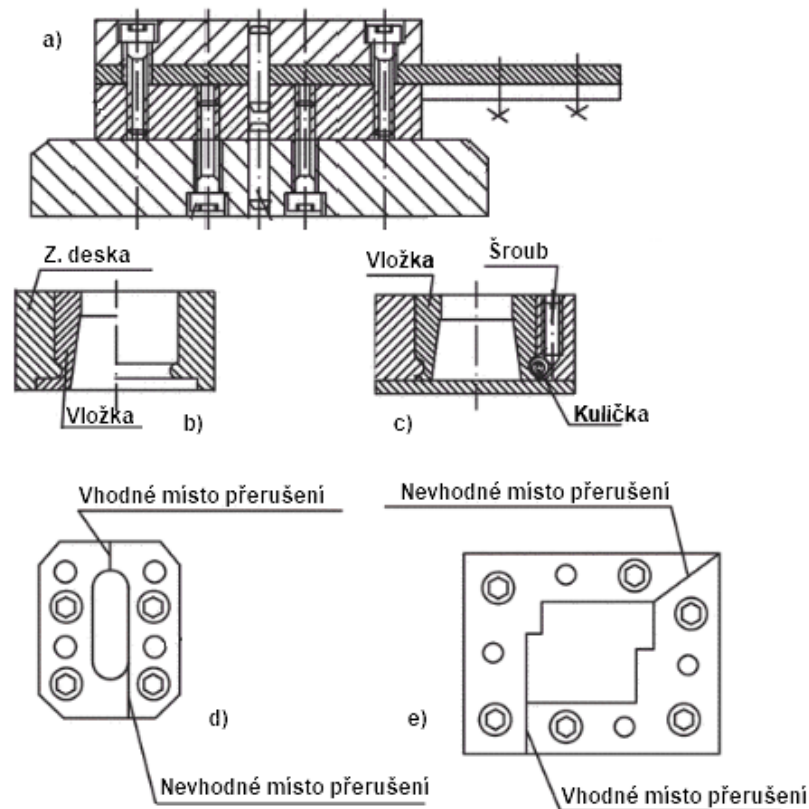
4.2 Střížnice

Střížnice je jedna z nejdražších částí nástroje, jedná se o nepohyblivou část, která je pevně uchycena na základové desce. Střížnice obsahuje díru pro odvod odpadního materiálu. Vyrábí se z nástrojové oceli a bývá zakalená. Vyrábí se jako celistvá deska nebo jako skládaná střížnice, popřípadě vložkovaná. [8, 18]



Obr. 26 Tvary střížnic [8]

Tvarové otvory střížnic závisí na účelu a požadované toleranci výstřížku. Tvary střížnic jsou znázorněny na obrázku 26. Střížnice ve tvaru kužele (obr. 26a) poskytují nejkvalitnější střížnou plochu výstřížku, ale jsou nejnáročnější na zpracování a také nejdražší na výrobu. Je často nutné brousit střížnou hranu, aby se udržel požadovaný tvar. Výška fazetky h pro tloušťku materiálu od 0,5 do 5 mm musí být v rozmezí 5,1 až 10 mm, s úhlem zkosení $\alpha = 3-5^\circ$. Střížnice ve tvaru kužele s fazetkou (obr. 26b) se používají pro malé výstřížky s nižší přesností. Pro materiály tloušťky větší než 1 mm se používá úhel zkosení $\alpha = 25-45^\circ$. Střížnice ve tvaru válce (obr. 26c) jsou nejjednodušší na výrobu a používají se pro vystřížení relativně velkých otvorů. Válcově vybrané střížnice (obr. 26d) se využívají pro vystřížení menších otvorů. Výška fazetky h je volena stejně jako u střížnice ve tvaru kužele s fazetkou. Průměr D musí být větší než průměr d o 3 mm [8, 15, 17]



Obr. 27 Varianty upnutí střížnic [8]

Existují různé upnutí střížnic do základové desky na obr. 27a lze vidět celistvý blok střížnice, který upnut do základové desky pomocí kolíků a šroubů. Tato metoda je používána při vystřihování jednoduchých tvarů. Na obr. 27b lze vidět střížnici vložkovanou toto upnutí se používá hlavně pro úsporu drahé nástrojové oceli. Stejný případ je na obr. 27c, kde je střížnice tvz. rychloupínací pomocí kuličky a šroubu. Tento typ se obvyklé používá, pro ušetření času a nákladů při opotřebení střížnice. Pokud je výstřížek velký nebo je otvor střížnice velký a složitý používá se střížnice skládána viz obr 27d,e. Bývá vyrobena po částech její části by měli být stejně velké, aby se zajistilo hospodárné využití nástrojové oceli. [8, 17, 18]

II. PRAKTICKÁ ČÁST

5 STANOVENÍ CÍLŮ PRÁCE

Cílem praktické části je optimalizovat výrobu řetězového článku pomocí střížného a ohybového nástroje.

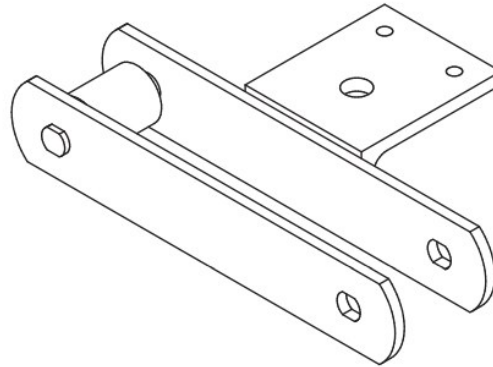
Praktická část se bude zabývat:

- stanovením vhodného nástřihového plánu,
- výpočtem střížných a ohybových sil,
- polohou stopky,
- určení technologických výpočtů,
- návrhem postupového sruženého nástroje ve 3D programu,
- 2D výkres postupového nástroje.

Postupový sružený nástroj bude modelován v programu Autodesk Inventor. Dále budou využity normálie od firmy Kern a Meusburger a to některé střížníky, desky a vodící sloupky s pouzdry.

6 DEFINICE SOUČÁSTI

Článek řetězu viz obr. 28, na nějž bude tato práce zaměřena, je používán jako pohon pro dopravník a zároveň slouží k uchycení tzv. „korýtky“. Článek řetězu je nezbytný pro chod dopravníků na výrobní lince, a jeho úkolem je přeprava materiálu pro další technologické úkony. Jeho potřebné množství je zhruba 12 000 ks/rok, pouze pro jednu výrobní halu.



Obr. 28 Článek řetězu v současném stavu

Pro výrobu dané součásti nejsou kladeny velké nároky na přesnost, kromě vytvoření díry pro nalisování čepu.

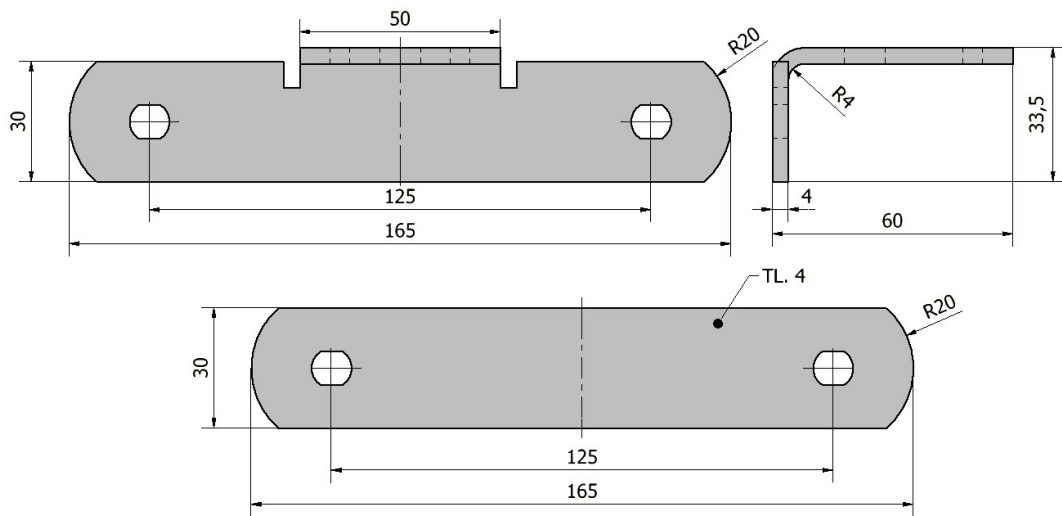
V současné době je tato součást vyráběna pomocí stříhání a svařování. Tento proces je velmi zdoluhavý při objemu 12 000 ks/rok, proto se práce bude zaměřovat na optimalizaci výroby.

Pro výrobu součásti mohou být využity technologie, jako je například řezání laserem, plazmou nebo vodním paprskem s následným ohybem. Tyto metody však nesplňují nároky na velkou sériovost a případnou optimalizaci výroby. Z tohoto důvodu lze považovat technologie stříhání a ohýbání ve sdruženém střižném nástroji za nejlepší volbu.

6.1 Návrh součásti

Článek řetězu je vyroben z materiálu 11 523 o tloušťce 4 mm je vhodný k ohýbání i lisování je dobře tvářitelný. Vyráběny budou obě části článku, a to část s ohybem a část bez. Je třeba také zhodnotit technologičnost součásti, jak bylo zmíněno v kapitolách o technologičnosti. Rozměry součásti a kruhové otvory budou tolerovány dle ČSN ISO 2768. Otvory pro umístění čepu budou vyráběny s vyšší přesností z důvodu nalisování čepu, proto u návrhu nástroje bude použita technologie přesného stříhání. Vzdálenost díry od okraje ohybu činní 23 mm, délka ramene je 60 mm, vzdálenosti děr od okraje jsou 7,5 mm je splněna i podmínka nejmenšího průměru díry $d = s$, která činní 5 mm. Kvůli ohybu 90° článku se musí zhotovit

přístřihy. Součást všechny technologické aspekty splňuje. Hlavní rozměry článku s ohybem a bez jsou totožné viz obr. 29.



Obr. 29 Hlavní rozměry článku

Pro zhotovení nástřihového plánu je třeba znát délku rozvinutého polotovaru. Pro stanovení rozvinuté délky je nutno nejdříve stanovit součinitele posunutí neutrální osy x z tabulky 1.

$$\frac{R}{s} = \frac{4}{4} = 1 \rightarrow x = 0,4$$

Ze vztahu (6) se stanoví poloměr neutrální vrstvy.

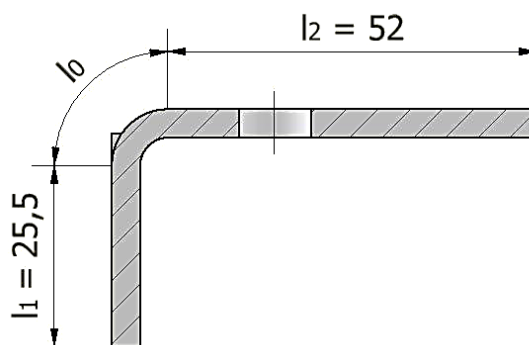
$$\rho = R + x \cdot s = 4 + 0,4 \cdot 4 = 5,6 \text{ mm}$$

Ze vztahu (7) se stanoví délka ohýbané části

$$l_0 = \frac{\pi \cdot \rho \cdot \alpha}{180} = \frac{\pi \cdot 5,6 \cdot 90}{180} = 8,8 \text{ mm}$$

Z délek neohnutých částí a délky ohýbané části se stanoví celková délka rozvinutého tvaru.

$$l_c = l_0 + l_1 + l_2 = 8,8 + 25,5 + 52 = 86,3 \text{ mm}$$



Obr. 30 Rozměry neohnutých délek

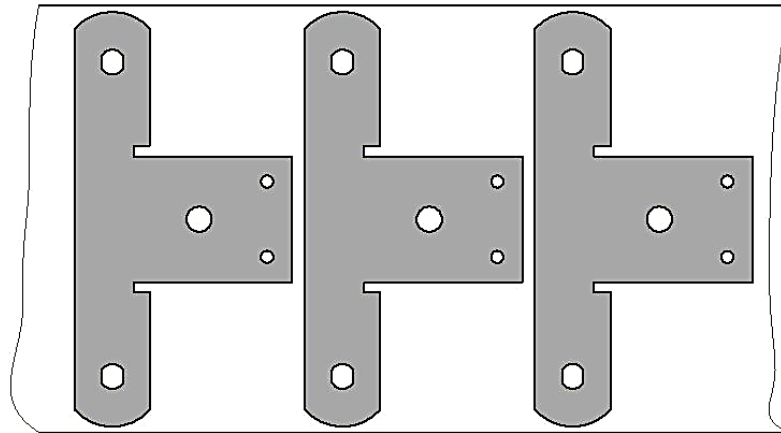
Je třeba také zkontrolovat minimální možný poloměr ohybu součástí. Lze jej určit ze vztahu (8). Koeficient c_{min} byl zvolen 0,6.

$$R_{min} = c_{min} \cdot s = 0,6 \cdot 2 = 2,4 \text{ mm}$$

Poloměr ohybu pro součást byl zvolen 4 mm a minimální poloměr byl stanoven na 2,4 mm. Zvolený poloměr tedy vyhovuje.

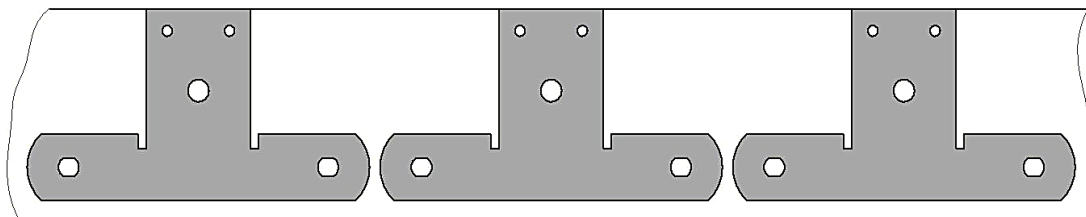
6.2 Výběr polotovaru a nástřihový plán

Výstřižky se dají zhotovit ze svitku plechu nebo pásů plechu. Svitek plechu pro článek nelze použít z důvodu 4 mm tloušťky, protože se v takovém provedení nevyrábí. Na zhotovení výstřižku bude zvolen jako výchozí polotovar plech, který bude nástřihán na pásy. Nejdříve je nutno stanovit rozmístění výstřižků na pás plechu, tak aby se stanovilo nejlepší využití materiálu, ale je třeba také brát v potaz technologickou stránku výroby nástroje. Šikmé rozmístění se jeví jako nejhorší možná volba z důvodu špatné vyrobitelnosti nástroje. Jako nejlepší volba se nabízí rozmístění příčné nebo podélné.



Obr. 31 Varianta příčné rozmístění

Příčné rozmístění má výhodu, že ohyb je ve směru vláken. Nevýhoda příčného rozmístění je komplikovanější konstrukce nástroje, větší odpad a nastavení kroku by muselo být zhotoveno pomocí přídavného zařízení.



Obr. 32 Varianta podélné rozmístění

Podélné rozmístění se jeví jako nejlepší možnost. Krok lze zhotovit pomocí pevného dorazu. Nevýhoda tohoto uspořádání je relativně malé využití materiálu, ale lze brát také v potaz konstrukci nástroje, která je jednodušší oproti příčnému nebo jinému nástřihovému plánu.

Polotovarem bude plech z materiálu 11 523 podle ČSN o tloušťce 4 mm. Dostupné velikosti plechů jsou (1,25 x 2,5 ; 1,5 x 3 ; 2 x 6) m. Plech bude dělen na pásy v jeho podélném směru. Pro výběr nejvhodnější velikosti plechu je třeba stanovit šířku a délku kroku. Pomocí tabulky v příloze (P I) na základě šířky výstřižku a tloušťky materiálu stanovíme velikost můstku E a šířku okraje plechu F. Okraj plechu F je určen jen z jedné strany viz. obr. 33 z důvodu místa pro doraz a také lepší jakosti povrchu, protože plocha přichází do styku s plastem. Na druhé straně se nenachází, jelikož lepší jakost povrchu není potřeba a také pro větší úsporu materiálu. [19]

Šířka pásu \check{S} lze stanovit ze vztahu (17).

$$\check{S} = A + F = 86,3 + 5,5 = 91,8 \text{ mm} \quad (17)$$

Velikost kroku K lze stanovit ze vztahu (18).

$$K = B + E = 165 + 4,5 = 169,5 \text{ mm} \quad (18)$$

\check{S} – šířka pásu [mm]

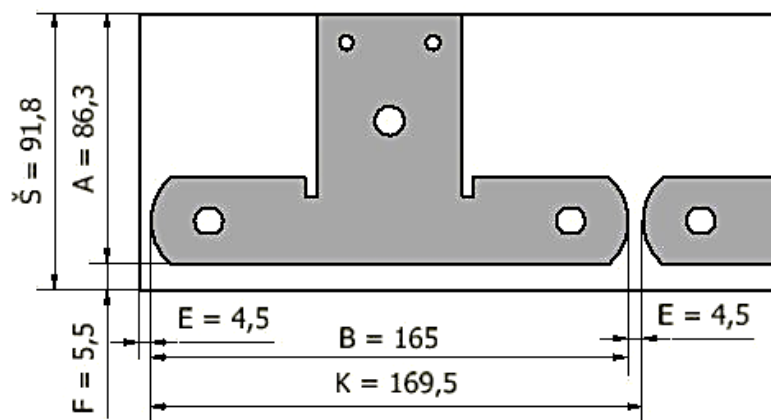
A – šířka výstřižku [mm]

E – můstek [mm]

F – šířka okraje plechu [mm]

K – velikost kroku [mm]

B – délka výstřižku [mm] [5]



Obr. 33 Nástřihový plán článek s ohybem

Polotovar plechu 1,25 x 2,5 m se rozdělí podélně na pásy a bude vypočten jeho počet pásu, počet kusů výstřížků na jeden pás a také na celou tabuli.

Počet kusů pásů plechu ze vztahu (19)

$$n_p = \frac{w}{\check{s}} = \frac{1250}{91,8} = 13,61 \text{ ks} \quad (19)$$

n_p – počet kusů pásu plechu [ks]

Počet kusů výstřížků na pásu ze vztahu (20)

$$n_v = \frac{l_t}{\check{s}} = \frac{2500}{169,5} = 14,74 \text{ ks} \quad (20)$$

n_v - počet kusů výstřížků na pásu [ks]

Poté lze spočítat celkový počet kusů výstřížků na jednu tabuli plechu. Počet kusů pásů a počet výstřížků byly zaokrouhleny směrem dolů a to na 13 a 14 ks.

$$n_c = n_p \cdot n_v = 13 \cdot 14 = 182 \text{ ks} \quad (21)$$

n_c – počet kusů výstřížků na tabuli plechu [ks]

Obsah tabule plechu.

$$S_p = w \cdot l_t = 1250 \cdot 2500 = 3\,125\,000 \text{ mm}^2 \quad (22)$$

S_p – obsah tabule plechu [mm²]

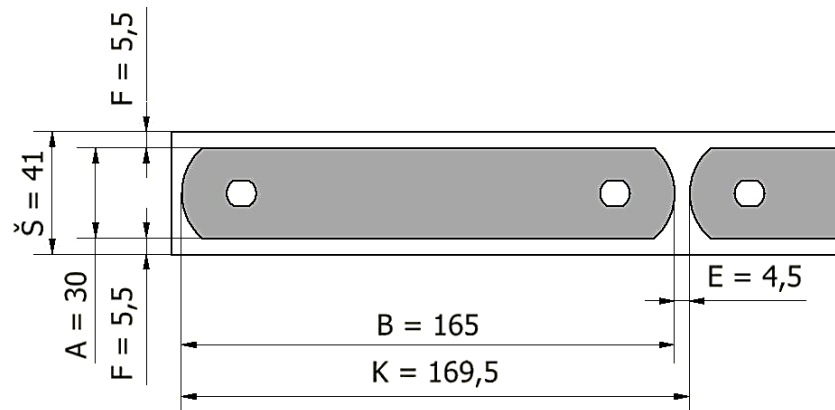
Ze vztahu (6) lze spočítat celkové využití tabule.

$$\eta = \frac{S_o \cdot n_c}{S_p} \cdot 100 = \frac{7331,79 \cdot 182}{3125000} \cdot 100 = 42,7 \%$$

S_o – obsah výstřížku (zjištěno pomocí Autodesk Inventor)

Obsahy výstřížku lze vidět v příloze P II.

Velikost můstku a šířka okraje bude volena pro článek bez ohybu stejně jako u článku s ohybem, z důvodu jednodušší konstrukce nástroje.



Obr. 34 Nástřihový plán článek bez ohybu

V tabulce 2 jsou znázorněny využití plechu pro různé rozměry plechu, pro článek s ohybem a bez.

Tabulka 2 Využití tabule plechu

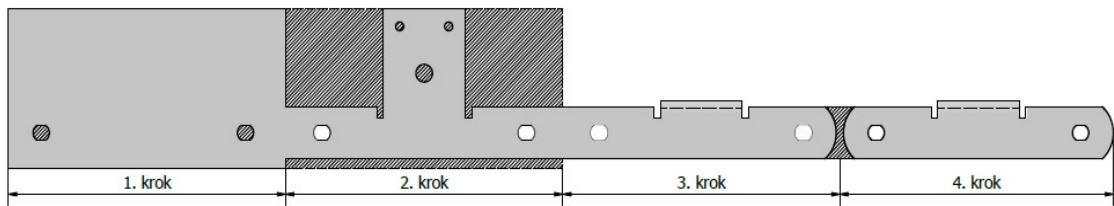
Rozměr tabule [m]	Článek s ohybem			Článek bez ohybu		
	1,25x2,5	1,5x3	2x6	1,25x2,5	1,5x3	2x6
Šířka pásu Š [mm]	91,8	91,8	91,8	41	41	41
Velikost kroku K [mm]	169,5	169,5	169,5	169,5	169,5	169,5
Počet pásů na plechu [ks]	13	16	21	30	36	48
Počet výstřížků na pásu [ks]	14	17	35	14	17	35
Počet výstřížků na plechu [ks]	182	272	735	420	612	1680
Obsah tabule [mm ²]	3125000	4500000	12000000	3125000	4500000	12000000
Obsah výstřížku [mm ²]	7331,79	7331,79	7331,79	4678,94	4678,94	4678,94
Využití tabule [%]	42,7	44,3	44,9	62,9	63,6	65,5

Z tabulky 2. lze vidět, že nejlepší využití tabule plechu je pro rozměr 2x6 m. Článek s ohybem má využití 44,9 % a článek bez ohybu 65,5 %. Využití materiálu u článku s ohybem není moc vysoké, ale dalo by se zvýšit volbou jiného nástřihového plánu. Vstupní polotovar tedy bude plechová tabule o rozměrech 2x6 m nastříhaná na pásy.

6.3 Postup výroby

Postup výroby výstřížku lze vidět na obr 35. v každém kroku je stříhaná oblast vyznačena šrafy. V prvním kroku se pás dorazí k načínacímu dorazu a poté se vystříhnou díry pro nalísování čepu. V druhém kroku se doraz vytáhne a pás se posune k pevnému dorazu a odstříhne se obrys součásti, dvě díry Ø 5 mm a díra Ø 10,2 mm. V kroku tři dochází k ohnutí článku. V kroku tři/čtyři se ostříhnou oba zaoblené okraje součásti a tím dojde k oddělení článku z pásu plechu. Postup výroby článku bez ohybu probíhá obdobně, jen s rozdílem

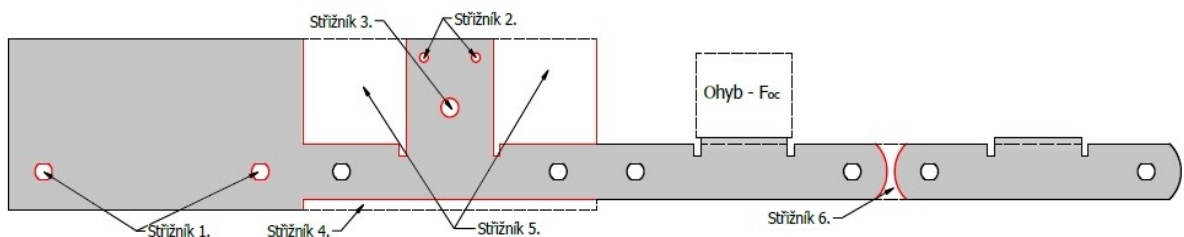
v druhém kroku se vymění střížníky a střížnice, jinak je postup výroby zachován na čtyři kroky.



Obr. 35 Postup výroby

6.4 Střížné síly a práce

V této kapitole bude provedena výpočtová část jednotlivých střížných sil a jejich celkový součet. Výpočet bude proveden na základě kapitoly 2.4. Bude stříhán a ohýbán materiál 11 523 o tloušťce 4 mm se střední pevností v tahu $R_m = 560$ MPa, mezí kluzu $R_e = 355$ MPa a tažností $A_t = 20$ %. Ze vztahu (1) lze vypočítat střížné síly jednotlivých operací. Délka stříhu jednotlivých střížníků je vyznačena červeně (na obr. 36). jejich délky jsou určeny pomocí Autodesk Inventor. [20]



Obr. 36 Délky stříhu

Nejdříve je potřeba spočítat pevnost materiálu ve stříhu

$$\tau_s = 0,8 \cdot R_m = 0,8 \cdot 560 = 448 \text{ MPa}$$

Velikost síly pro střížník č.1

$$F_{s1} = k \cdot s \cdot l_s \cdot \tau_s = 1,3 \cdot 4 \cdot 30,86 \cdot 448 = 71\,892 \text{ N}$$

Velikost síly pro střížník č.2.

$$F_{s2} = k \cdot s \cdot l_s \cdot \tau_s = 1,3 \cdot 4 \cdot 15,71 \cdot 448 = 36\,598 \text{ N}$$

Velikost síly pro střížník č.3.

$$F_{s3} = k \cdot s \cdot l_s \cdot \tau_s = 1,3 \cdot 4 \cdot 32,04 \cdot 448 = 74\,640 \text{ N}$$

Velikost síly pro střížník č.4.

$$F_{S4} = k \cdot s \cdot l_s \cdot \tau_s = 1,3 \cdot 4 \cdot 175 \cdot 448 = 407\,680 \text{ N}$$

Velikost síly pro střižník č.5.

$$F_{S5} = k \cdot s \cdot l_s \cdot \tau_s = 2 \cdot 1,3 \cdot 4 \cdot 185,37 \cdot 448 = 431\,838 \text{ N}$$

Velikost síly pro střižník č.6.

$$F_{S6} = k \cdot s \cdot l_s \cdot \tau_s = 1,3 \cdot 4 \cdot 67,84 \cdot 448 = 158\,040 \text{ N}$$

Celková střižní síla bude stanovena součtem všech dílčích sil střižníků.

$$\begin{aligned} F_{Sc} &= (2 \cdot F_{S1}) + (2 \cdot F_{S2}) + F_{S3} + F_{S4} + (2 \cdot F_{S5}) + F_{S6} = & (23) \\ &= (2 \cdot 71892) + (2 \cdot 36598) + 74640 + 407680 + (2 \cdot 431838) + 158040 = \\ &= 1\,721\,015 \text{ N} \end{aligned}$$

F_{Sc} – celková střižná síla [N]

Střižná práce bude vypočtena dle kapitoly 2.4. Střižná práce ze vztahu (2) součinitel plnosti stanoven z obr. 7.

$$A_s = \frac{F_{Sc} \cdot \lambda \cdot s}{1000} = \frac{1721015 \cdot 0,4 \cdot 4}{1000} = 2753,6 \text{ J}$$

6.5 Ohybová síla

Tato kapitola bude zaměřena na výpočet ohybové síly. Výpočet bude proveden ze vztahu (13). Bude proveden 90° ohyb do tvaru U s vnitřním poloměrem $R = 4 \text{ mm}$. Nejdříve bude vypočtena vzdálenost mezi rameny, na které působí ohybová síla.

$$l_m = r_m + 1,2 \cdot s + r_p = 8 + 1,2 \cdot 4 + 4 = 16,8 \text{ mm} \quad (24)$$

r_m – poloměr zaoblení pevné čelisti [mm], $r_m = 2s$ až $6s$

r_p – poloměr zaoblení pohyblivé čelisti [mm], $r_p = R$

$$F_{oU} = \frac{0,4 \cdot s^2 \cdot w \cdot R_m}{l_m} = \frac{0,4 \cdot 4^2 \cdot 50 \cdot 560}{16,8} = 10\,667 \text{ N}$$

Sílu je nutno následně zvětšit o sílu přidržovače.

$$F_p = 0,25 \cdot F_{oU} = 0,25 \cdot 10667 = 2667 \text{ N} \quad (25)$$

F_p - přidržovací síla [N]

Celková síla i s kalibrací se vypočte následovně.

$$F_{oC} = 3 \cdot (F_{oU} + F_p) = 3 \cdot (10667 + 2667) = 40\,002\,N \quad (26)$$

F_{oC} – celková ohybová síla [N]

6.6 Poloha stopky

Poloha stopky nebo také těžiště, kterým prochází beran lisu je důležitá část nástroje. Pokud není beran lisu v těžišti nástroje může docházet k takzvaným klopným momentům, které jsou nežádoucí při stříhání plechu. Klopné momenty způsobují nepřesnosti při výrobě, snižují trvanlivost nástroje a také způsobují rychlejší opotřebení beranu lisu. Na obr. 37 je uveden způsob odměření jednotlivých těžišť střížníků a ohybníku v ose x a y. Označení sil je shodné s obr. 36. Pro jednodušší výpočet těžišť bude použita tabulka 3 a 4. [15, 17]

Vzorec pro výpočet těžiště v ose x a y.

$$X_T = \frac{\sum F_i \cdot x_i}{F_c}; Y_T = \frac{\sum F_i \cdot y_i}{F_c} \quad (27)$$

X_T – poloha těžiště v ose x [mm]

Y_T – poloha těžiště v ose y [mm]

x_i – I-tá poloha těžiště střížníku v ose x [mm]

y_i – I-tá poloha těžiště střížníku v ose y [mm]

F_i – I-tá velikost síly střížníku [N]

Velikost síly celkové se stanoví jako celková střížná síla a celková ohybová síla.

$$F_c = F_{sc} + F_{oC} = 1721015 + 40002 = 1\,761\,017\,N \quad (28)$$

F_c – celková tvářecí síla [N]

Tabulka 3 Výpočet sil v závislosti na poloze v ose x

x_i	F_i	Poloha [mm]	Síla [N]	$F_i \cdot x_i$ [N·mm]
x_1	F_{s1}	20	71892	1437840
x_2	F_{s1}	145	71892	10424340
x_3	F_{s5}	199,3	431838	86065313,4
x_4	F_{s2}	239,3	36598	8757901,4
x_5	F_{s3}	254,3	74640	18980952
x_6	F_{s4}	254,3	407680	103673024
x_7	F_{s2}	269,3	36598	9855841,4
x_8	F_{s5}	309,1	431838	133481125,8
x_9	F_{oC}	423,8	40002	16952847,6
x_{10}	F_{s6}	508,5	158040	80363340
Součet $F_i \cdot x_i =$				469992525,6

$$X_T = \frac{\sum F_i \cdot x_i}{F_c} = \frac{469992525,6}{1761017} = 266,9 \text{ mm}$$

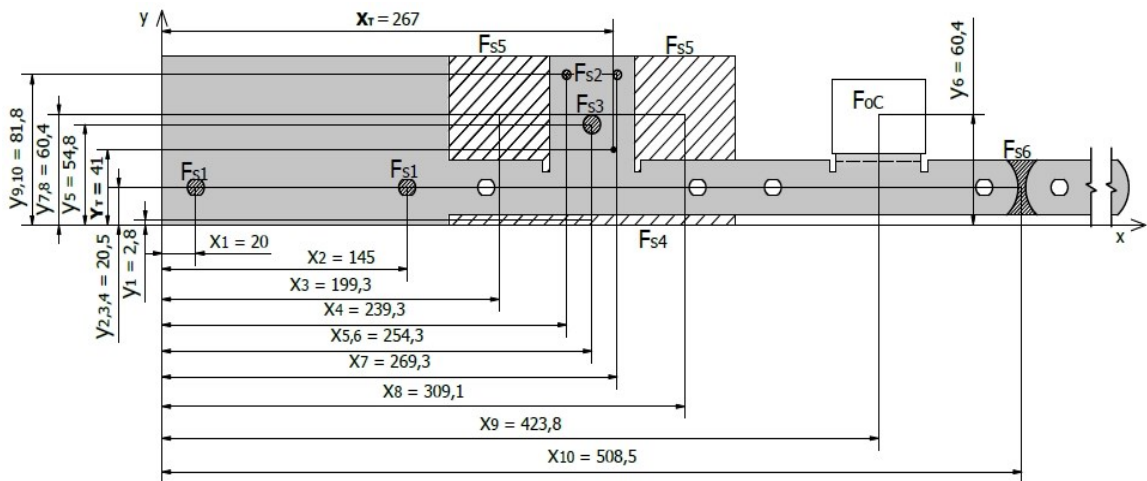
Výsledná poloha těžiště v ose X vyšla na 266,9 mm a byla zaokrouhlena na 267 mm.

Tabulka 4 Výpočet sil v závislosti na poloze v ose y

y_i	F_i	Poloha [mm]	Síla [N]	$F_i \cdot x_i$ [N·mm]
y_1	F_{s4}	2,8	407680	1141504
y_2	F_{s1}	20,5	71892	1473786
y_3	F_{s1}	20,5	71892	1473786
y_4	F_{s6}	20,5	158040	3239820
y_5	F_{s3}	54,8	74640	4090272
y_6	F_{oc}	60,4	40002	2416121
y_7	F_{s5}	60,4	431838	26083015
y_8	F_{s5}	60,4	431838	26083015
y_9	F_{s2}	81,8	36598	2993716
y_{10}	F_{s2}	81,8	36598	2993716
Součet $F_i \cdot x_i =$				71988752

$$Y_T = \frac{\sum F_i \cdot y_i}{F_c} = \frac{71988752}{1761017} = 40,9 \text{ mm}$$

Výsledná poloha těžiště v ose X vyšla 40,9 mm a byla zaokrouhlena na 41 mm.



Obr. 37 Poloha těžiště

6.7 Konstrukční výpočty

Tato kapitola bude zaměřena na stanovení nezbytně nutných výpočtů pro konstrukci nástroje. Při stříhání je třeba zkontrolovat střížník na otláčení, kritickou délku střížníku, kontrolu tloušťky střížnice na ohyb, stanovení střížné mezery a úhel odpružení ohybu.

Střížníky se při stříhání mohou otláčovat do upínací desky, proto je třeba provést kontrolu na otláčení. Dovolené napětí pro ocel je $\sigma_{dov} = 180 \text{ MPa}$, a pokud tedy bude napětí na osazené straně střížníku větší bude použita kalená opěrná deska. Zkontrolován bude střížník č. 2 s nejmenším průřezem. Výpočet je dán vztahem (15).

$$\sigma_d = \frac{F_{s2}}{S_{s2}} = \frac{36598}{\frac{\pi \cdot 9^2}{4}} = 575 \text{ MPa}$$

S_{s2} – Plocha průřezu střížníku [mm²]

Výsledné napětí $\sigma_d = 575 \text{ MPa}$ je vyšší než dovolené a z toho důvodu bude použita opěrná kalená deska pro všechny střížníky. Tato deska se používá z ekonomického důvodu, vyměnit opěrnou desku je levnější, než měnit celou upínací desku.

Dlouhé střížníky malých průměrů jsou náchylné na zlomení, proto bude provedena kontrola na vzpěr. Při konstrukci nástroje bude použita vodící deska, a tak lze střížník považovat za nosník vetknutý na obou koncích. Pokud je kritická délka střížníku větší, než je ta skutečná musí se provést konstrukční úprava střížníku. Kontrola bude provedena pro nejmenší střížník č. 2.

Pro výpočet kritické délky je třeba stanovit moment setrvačnosti průřezu kruhu.

$$I = \frac{\pi \cdot d^4}{64} = \frac{\pi \cdot 5^4}{64} = 30,8 \text{ mm}^4 \quad (29)$$

I – moment setrvačnosti průřezu [mm⁴]

Ze vztahu (16) lze spočítat kritickou délku střížníku.

$$l_k = \sqrt{\frac{4 \cdot \pi^2 \cdot E_t \cdot I}{k_b \cdot F_s}} = \sqrt{\frac{4 \cdot \pi^2 \cdot 2,1 \cdot 10^5 \cdot 30,8}{1,5 \cdot 36598}} = 68,2 \text{ mm}$$

Kritická délka střížníku je relativně mála, proto bude použit střížník s odsazením o $\varnothing 9 \text{ mm}$.

Další důležitý rozměr, který je zapotřebí stanovit je výška střížnice. Při stříhání materiálu je střížnice namáhána na ohyb a může docházet k její deformaci. [5]

$$H_s = \sqrt{\frac{1,5 \cdot F_{sc}}{\sigma_{odov}}} = \sqrt{\frac{1,5 \cdot 1721015}{400}} = 80 \text{ mm} \quad (30)$$

H_s – výška střížnice [mm]

σ_{odov} – dovolené napětí v ohybu [MPa], ocel 300-400 MPa

Výsledná výška střížnice dosahuje 80 mm. Z důvodu ušetření drahého nástrojového materiálu byla výška střížnice zvolena 35 mm, a bude použita opěrná deska výšky 100 mm.

Střížné vůle musí být optimálně zvolena, aby docházelo ke správnému ustřížení materiálu.

Pro tloušťku plechu 4 mm bude zvolen výpočet ze vztahu (5). Koeficient závislý na stupni bříty byl zvolen $c = 0,005$ pro střížník č. 1, protože je požadována vyšší přesnost. Pro ostatní střížníky není vyšší přesnost požadována, proto byl koeficient zvolen $c = 0,015$.

Střížná vůle mezi střížníkem a střížnicí č.1 (střížník č. 1 lze vidět na obr. 36)

$$v = 2 \cdot (1,5 \cdot c \cdot s - 0,015) \cdot 0,32 \cdot \sqrt{\tau_s}$$

$$v = 2 \cdot (1,5 \cdot 0,005 \cdot 4 - 0,015) \cdot 0,32 \cdot \sqrt{448} = 0,2 \text{ mm}$$

Střížná vůle pro ostatní střížníky a střížnice.

$$v = 2 \cdot (1,5 \cdot 0,015 \cdot 4 - 0,015) \cdot 0,32 \cdot \sqrt{448} = 1,0 \text{ mm}$$

Kontrola odpružení ohybu lze spočítat ze vztahu (11), součinitel určující polohu neutrální vrstvy lze určit jako: $k_o = 1-x = 1-0,4 = 0,6$.

$$\beta = \arctg\left(0,75 \cdot \frac{l_m}{k_o \cdot s} \cdot \frac{Re}{E_t}\right) = \arctg\left(0,75 \cdot \frac{16,8}{0,6 \cdot 4} \cdot \frac{355}{2,1 \cdot 10^5}\right) = 0^\circ 30'$$

Úhel odpružení splňuje toleranci $\pm 0^\circ 50'$, takže vyhovuje.

Pružiny budou použity pro vyvození stírací síly. Stírací sílu je možno stanovit jako přibližně 10% celkové tvářecí síly. Což z celkové tvářecí síly činní 176 101 N. Byla tedy zvolena plynová pružina od firmy Meusburger E 6360 4925 s potřebnou silou stlačení 49 250 N. [5]

$$P_p = \frac{F_{stir}}{F_0} = \frac{176101}{49250} = 3,57 \text{ ks} \quad (31)$$

P_p – počet pružin [ks]

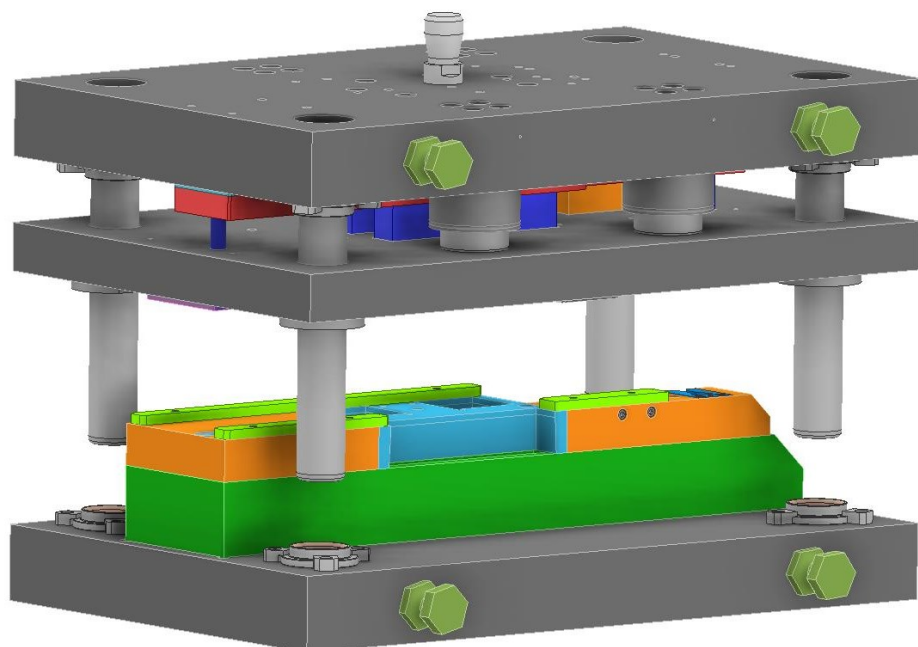
F_{stir} – stírací síla [N]

Byly tedy zvoleny čtyři plynové pružiny označení E 6360 4925/75/15.

7 KONSTRUKCE NÁSTROJE

Postupový sdružený nástroj byl konstruován, tak aby odpovídal zadaným požadavkům. Požadavky na konstrukci nástroje byly následující, a to vytvořit nástroj, který by dokázal vyrobit článek řetězu s ohybem a bez, jak už bylo zmíněno v předešlé kapitole. Pořizovací cena těchto nástrojů bývá poměrně vysoká, proto bylo při konstrukci využíváno normalizovaných dílů od firmy Kern a Meusburger. Největší rozměry jsou následovně šířka 480 mm, délka 630 mm, výška v sevřeném stavu bez stopky 315 mm a se stopkou 371 mm. Na začátku výroby součásti se načínací doraz vysune ručně a pás plechu se zasune k dorazu. Poté se doraz musí zasunout zpátky, protože jinak by došlo k jeho ustřížení. Střížníky pro první krok děrování jsou delší o 5 mm než ostatní střížníky z důvodu velkých střížných sil, tak aby všechny nepůsobili v jeden okamžik. Po vystřížení otvorů následuje krok 2, pás plechu se posune a zastaví se o vodící lištu, která zde působí jako pevný doraz. Při druhém zdvihu nástroje bude zhotoven obrys součásti, vystříhnuty dvě díry o $\text{Ø}5$ mm a díra o $\text{Ø}10,2$ mm. Poté se plech posune ke kroku 3, kde se součást ohne a ustříhne se její okraj. Při kroku 4 se součást odstříhne od pásu a sjede po skluzu dolů do přichystané bedny.

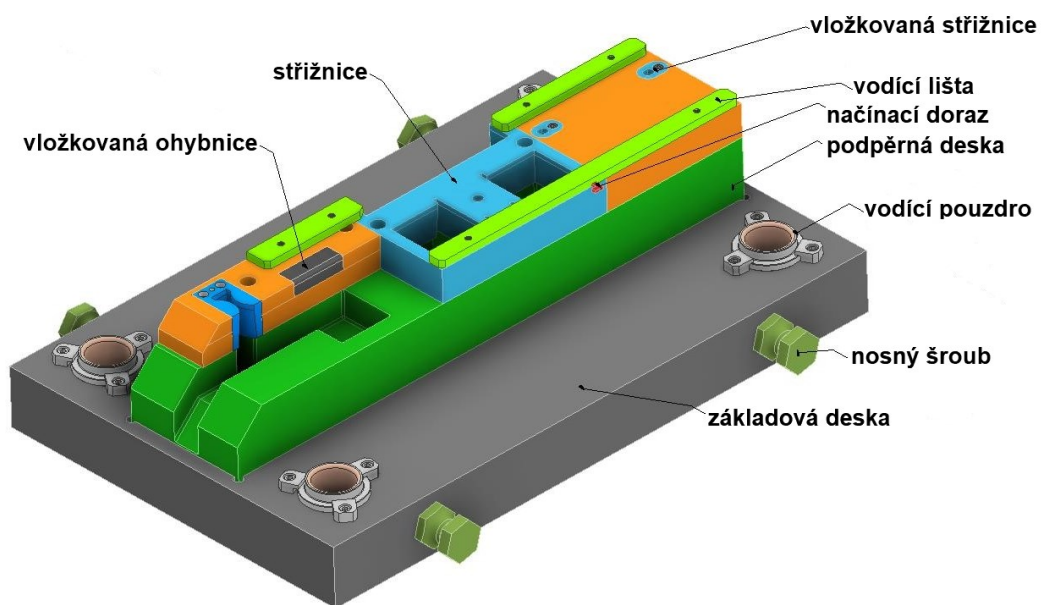
Jednotlivé komponenty nástroje budou následovně popsány.



Obr. 38 3D model nástroje

7.1 Spodní část nástroje

Spodní část nástroje se skládá ze základové desky a jedná se o nepohyblivou část nástroje, která je upnuta ve spodní části lisu pomocí T-drážek nebo pomocí šroubů. Základová deska je zakoupena jako normálie od firmy Kern a jedná se o čtyř sloupkové provedení. Označení dle firmy je ISO 1113 630x400x3. Délka desky je 630 mm, šířka 400 mm a označení 3 znamená počet desek. Dostupná pracovní plocha této desky je 200 mm a je vyrobena z materiálu 11 600. V základové desce jsou také čtyři nosné šrouby M24 pro manipulaci s deskou o nosnosti 1000 kg a samomazná vodící pouzdra od firmy Meusburger. Vodící pouzdra jsou zajištěny pomocí upínek, které jsou k desce přišroubovány pomocí šroubů M6. Deska má také zhotoveny díry pro propad materiálu, který se odvádí do bedny pod nástrojem.

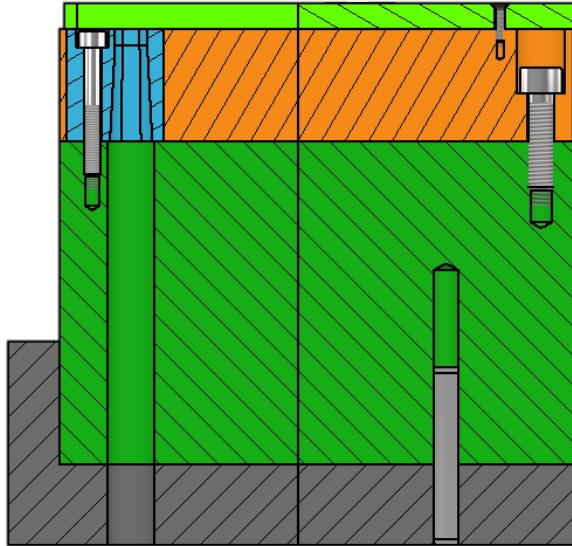


Obr. 39 Spodní část nástroje

V základové desce je podpěrná deska zapuštěna, aby nástroj nebyl příliš vysoký. Podpěrná deska je vyrobena z materiálu 12 050 a ze spodní strany je vystředěna pomocí kolíku a spojena šrouby. Na podpěrné desce jsou dělené střížnice, které jsou připevněny pomocí šroubů. Střížnice je navrhnutá na základě nástřihového plánu s tím, že jednotlivé komponenty lze jednoduše vyměnit pro výrobu článku bez ohybu. Ke střížným deskám jsou připevněny vodící lišty o výšce 8 mm a materiálu 11 600, které jsou cementovány HRC 60.

7.1.1 První část střížnice

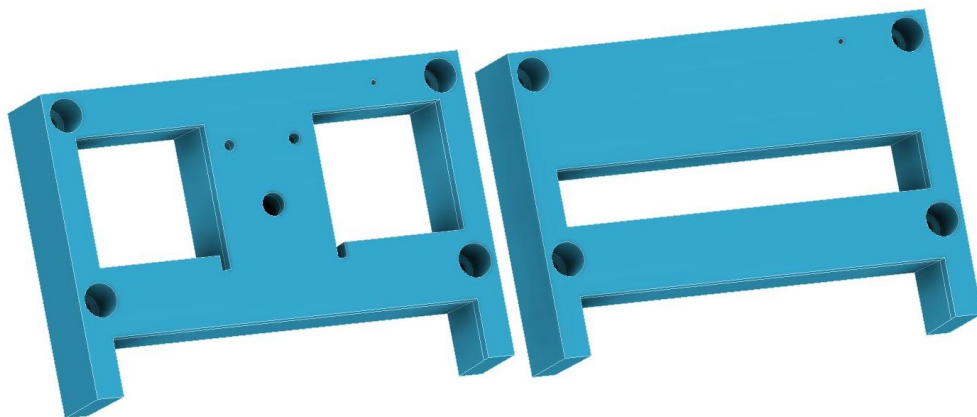
Jedná se o vložkovanou střížnici z důvodu ušetření nástrojového materiálu. Střížná deska je zhotovena z materiálu 11 600. Vložky střížnice jsou vyrobeny z materiálu 19 830 a kaleny na HRC 63. Fazetka střížnice je 5 mm a úkos 3°.



Obr. 40 Vložkovaná střížnice způsob upnutí

7.1.2 Druhá část střížnice

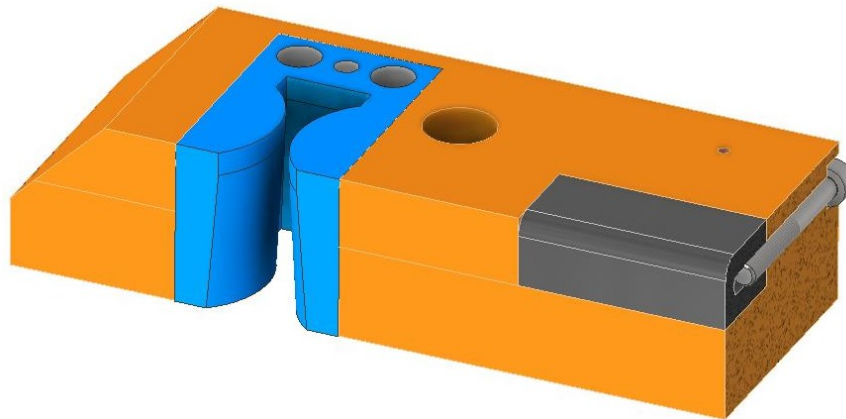
Jedná se o celistvý blok střížnice vyrobený z materiálu 19 830 a zakalen na HRC 63. Tato střížnice bude měněna za druhou pro výrobu článku bez ohybu. Střížnice na levé straně bude využita pro výrobu článku s ohybem a střížnice na pravé straně k výrobě článku bez ohybu. Fazetka střížnice je 5 mm a úkos 3°. Pro výměnu střížnice stačí odšroubovat vodící lišty a čtyři šrouby, kterými je střížnice přišroubována k podpěrné desce. Rozměry desek jsou stejné a stejně tak rozteče šroubů, je tak z důvodu jednoduché vyměnitelnosti.



Obr. 41 Vyměnitelná střížnice

7.1.3 Třetí část střížnice

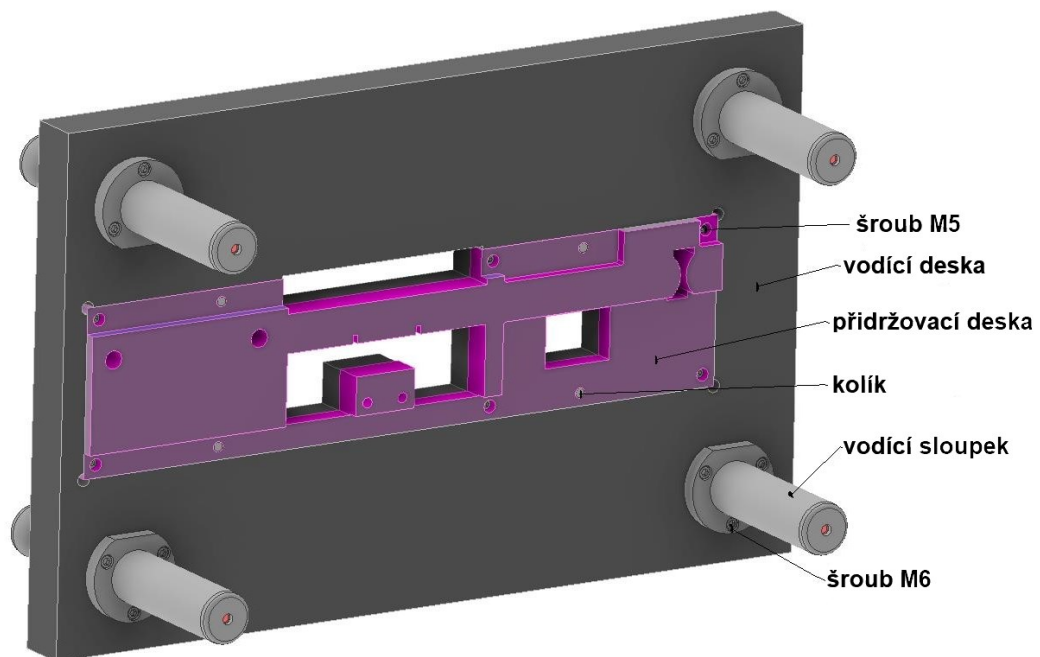
V této části je zhotovena střížná a ohybová deska, která je zhotovena z materiálu 11 600. Střížnice a ohybnice jsou vložkované pro jednodušší výměnu a ušetření nástrojového materiálu. Obě tyto vložky jsou vyrobeny z nástrojového materiálu 19 830 a zakaleny na HRC 63. Střížná vložka je upnuta do podpěrné desky pomocí dvou šroubů M5 a kolíků. Ohybová vložka je upnuta pomocí dvou šroubů M5, jak lze vidět na obr. 42.



Obr. 42 Deska se střížnicí ohybnicí

7.2 Prostřední část nástroje

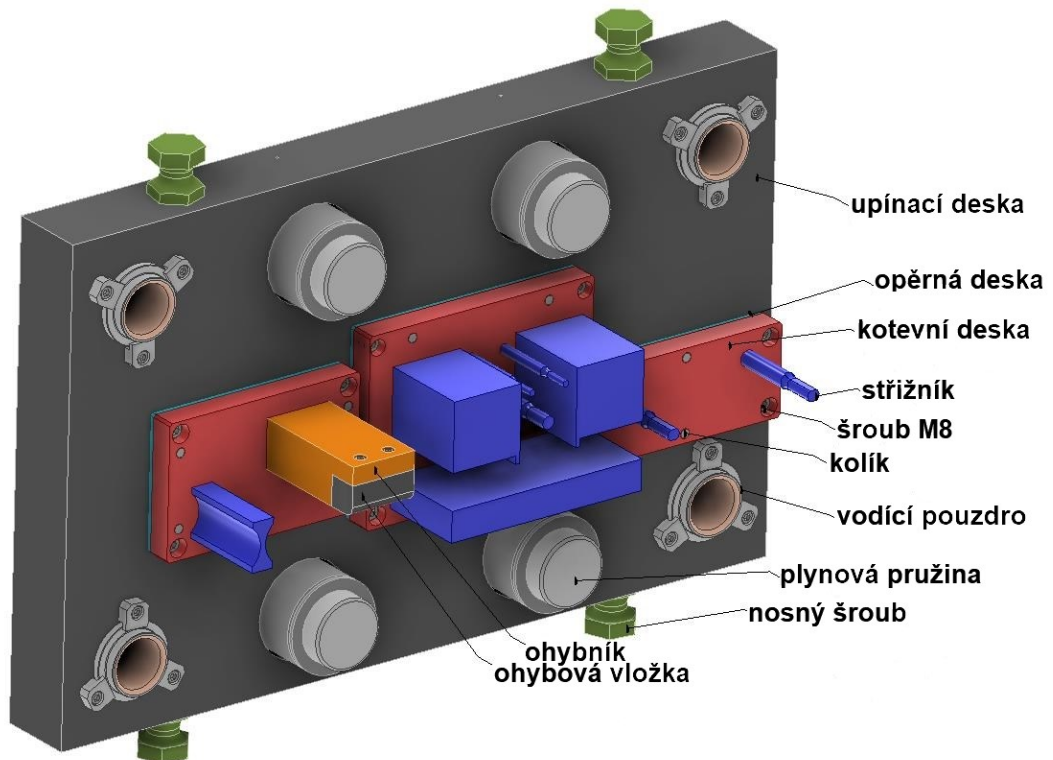
Prostřední část nástroje neboli vodící deska (viz obr. 43) úkolem této desky je vést nástroj, aby neměl tendenci uhýbat a vymezuje jeho přesný pohyb střížníků vůči střížnici. Vodící deska je stejných rozměrů jako základová deska, jen s rozdílem její výšky, která činí 40 mm. Deska je vyrobena ze stejného materiálu. Ve vodící desce jsou nalisovány čtyři vodící sloupky se středovou přírubou od firmy Meusburger, které jsou ze spodní strany desky přišroubovány šrouby M6. Vodící sloupky mají za úkol vymezovat přesný pohyb nástroje a jsou tak jeho nezbytnou součástí. V desce je také zapuštěna přidržovací deska, která má úkol přidržet plech, aby při stříhu a ohybu neuhýbal a tím by mohli vznikat nepřesnosti. Přidržovací deska je upevněna pomocí šroubů a kolíků pro vystředění jeho polohy. Přidržovací deska je vyrobena z materiálu 11 600. Jak lze rovněž vidět na obrázku 43, vodící a přidržovací desky jsou vybaveny otvorem pro nástroj na výrobu článku bez ohybu. Toto opatření je provedeno s cílem ušetřit materiál a odstranit potřebu kompletní přestavby nástroje. Tohle provedení zahrnuje i základovou desku s podpěrnou.



Obr. 43 Prostřední část nástroje

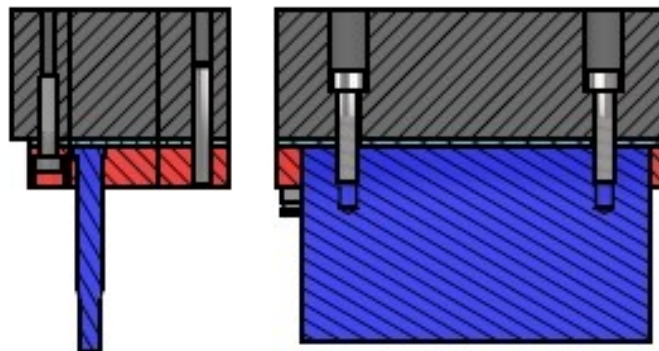
7.3 Horní část nástroje

Upínací deska má stejné parametry jako základová deska. Deska je pevně upnuta za stopku do pohyblivé části tvářecího lisu. V desce jsou čtyři samomazná vodící pouzdra a nosné šrouby, které jsou stejné jako v základové desce. Zapuštěny jsou zde plynové pružiny od firmy Meusburger se zdvihem 15 mm. Pružiny jsou k desce přišroubovány pomocí šroubů M8 pro odvod plynu jsou v desce zhotoveny díry. K základové desce jsou zespodu uchyceny opěrné desky s kotevní deskou pomocí šroubů a pro vymezení přesné polohy kolíky. Velké střižníky jsou přišroubovány k základové desce. Menší střižníky a ohybník mají osazení a jsou zasazeny v kotevní desce.



Obr. 44 Horní část nástroje

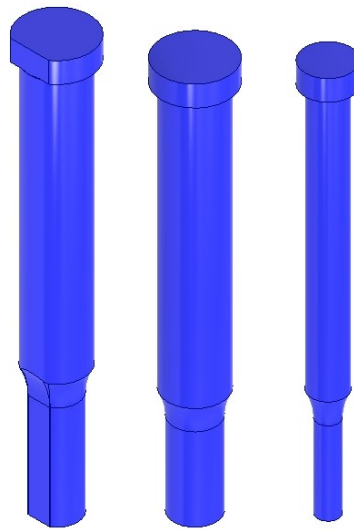
Velké střížníky jsou přišroubovány k základové desce. Menší střížníky a ohybník mají osazení a jsou zasazeny v kotevní desce, jak lze vidět na obr. 45.



Obr. 45 Způsob uchycení střížníků

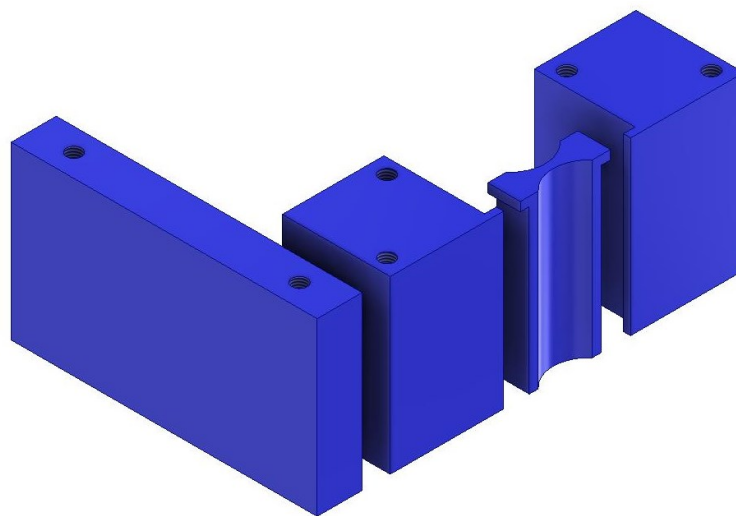
7.3.1 Střížníky

Střížníky pro zhotovení děr jsou zakoupeny jako normálie od firmy Meusburger. Střížníky jsou odsazené s válcovou hlavou pro zachování vzpěrné stability. Vyrobeny jsou z nástrojové rychlořezné oceli 19 830 (1.3341) a kaleny na HRC 62. Střížník nekruhový je zajištěn proti pootočení, jak lze vidět na obr. 46.



Obr. 46 Střižníky normálie

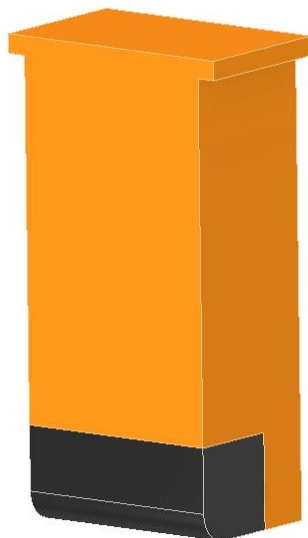
Střižníky tvarové (viz obr. 47) jsou konstruovány na základě tvarů, které jsou potřeba zhotovit. Tvarové střižníky jsou vyrobeny z nástrojové oceli 19 830 a zakaleny na HRC 62.



Obr. 47 Střižníky tvarové

7.3.2 Ohybník

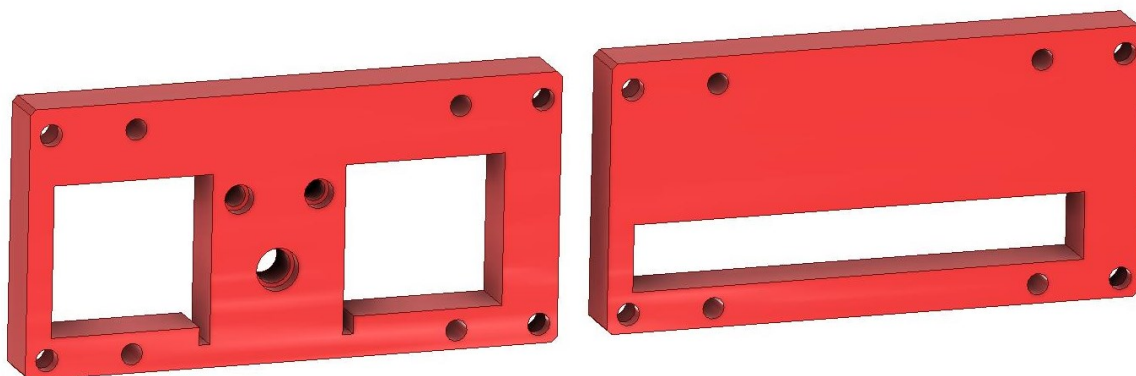
Ohybník je zapuštěn v kotevní desce pomocí osazení a ohybová vložka je přišroubována k ohybníku. Ohybník je vyroben z materiálu 11 600 a ohybová vložka je z nástrojové oceli 19 830 a zakalena na HRC 63.



Obr. 48 Ohybník s ohybovou vložkou

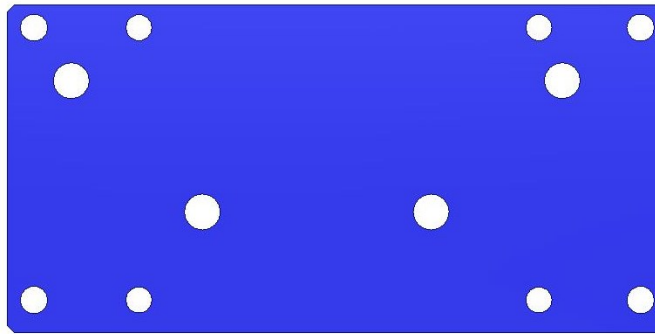
7.3.3 Kotevní a opěrná deska

Kotevní desky jsou zhotoveny z materiálu 11 500. Desky jsou děleny, jak lze vidět na obrázku 44. Všechny ostatní kotevní desky jsou zhotoveny stejným způsobem jako kotevní deska na obr. 49. Deska v kroku 2 je vyměnitelná na obr. 49 vlevo je kotevní deska pro výrobu článku s ohybem a vpravo pro výrobu článku bez ohybu. Rozměry desek a rozteče děr jsou stejné pro jednoduchou vyměnitelnost a správné pozicování.



Obr. 49 Vyměnitelná kotevní deska

Opěrná deska je využita z důvodu pravděpodobného vtláčování střížníku do upínací desky. Deska bude sice po nějaké době opotřebována, ale výměna opěrné desky je ekonomičtější než měnit celou upínací desku. Deska je vyrobena z nástrojové oceli 19 436 a je zakalena na HRC 63.



Obr. 50 Opěrná kalená deska

7.4 Volba lisu

Lis pro nástroj lze zvolit na základě rozměrů nástroje a potřebné tvářecí síly. Celková tvářecí síla na lisu je 1 761 kN a rozměry největší rozměry nástroje jsou 630x480 mm. Maximální sevření nástroje 315 mm. Tyto parametry splňuje lis od firmy Šmeral označení LKOA 200.

Tabulka 5 Parametry lisu [21]

LKOA 200		
Jmenovitá tvářecí síla	2000	kN
Sevření	585	mm
Průchod	1420	mm
Upínací plocha stolu	1415x1000	mm
Upínací plocha beranu	1200x800	mm
Zdvih	210	mm
Počet zdvihů	55	min ⁻¹
Celkový instalovaný výkon	15	kW
Rozměry stroje	4,2x2,4x2,5	m

Sevření u tohoto lisu je 585 mm tento problém by se dal vyřešit přidáním podložných desek o výšce 270 mm pod základovou desku.



Obr. 51 Ostřihovací lis LKOA 200 [21]

ZÁVĚR

Cílem bakalářské práce bylo navrhnout nástroj pro optimalizaci výrobního procesu článku řetězu pro dopravník, který slouží jak k pohonu dopravníku, tak jako úchyt tzv. korýtka. Materiál, ze kterého je článek vyroben (11 523), byl zachován i pro tuto výrobu. Tloušťka součásti je 4 mm.

Postupový sdružený nástroj byl navržen tak, aby bylo možné vyrábět oba články; to bylo dosaženo jednoduchou výměnou střížnic, střížníků a kotevní desky.

Teoretická část bakalářské práce se nejprve zaměřuje na tváření za studena, následně popisuje rozsáhlé části týkající se stříhání a ohýbání plechu.

V praktické části byla hodnocena technologičnost výrobku, kde rozměry součásti splňovaly požadavky. Bylo nutné vytvořit přístřihy pro ohyb, aby se zabránilo vzniku trhlin.

Následně byl vybrán vhodný nástřihový plán a stanoven postup výroby. Využitelnost materiálu u článku s ohybem byla 44,9 % tato hodnota je relativně nízká, ale dala by se zvýšit volbou jiného nástřihového plánu. Nicméně, ale z důvodu jednodušší konstrukce nástroje a možnosti druhotné výroby článku bez ohybu byla tato varianta považována za nejvýhodnější. U článku bez ohybu dosahovala využitelnost 65,5 %, což je přijatelný výsledek.

Byly stanoveny střížné a ohybové síly, celkově činící 1 761 kN, a také poloha těžiště, která vyšla v ose $x = 267$ mm a ose $y = 41$ mm. Dále byly provedeny konstrukční výpočty.

Následně byl zhotoven model nástroje pomocí programu Autodesk Inventor. Postup konstrukce nástroje vycházel z nástřihového plánu součásti. Nástroj byl následně složen ze tří částí a to horní, spodní části a vodící desky. Při konstrukci nástroje bylo využito normálií od firmy Meusburger a Kern. Jako normálie byly použity některé desky, střížníky, plynové pružiny, vodící sloupky, vodící pouzdra, stopka, nosné šrouby. Jednotlivé součásti byly zkompletovány pomocí šroubů a kolíků normy ISO.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] HLUCHÝ, Miroslav; KOLOUCH, Jan a PAŇÁK, Rudolf. *Strojírenská technologie* 2. 2., upr. vyd. Praha: Scientia, 2001. ISBN 80-718-3244-8.
- [2] BÍLEK, Ondřej a LUKOVICS, Imrich. *Výrobní inženýrství a technologie*. Ve Zlíně: Univerzita Tomáše Bati, 2014. ISBN 978-807-4544-712.
- [3] DVOŘÁK, Milan a CÍSAŘOVÁ, Michaela. *TECHNOLOGIE TVÁŘENÍ: Studijní opory*. Online. In: Odbor technologie tváření kovů a plastů. 2021. Dostupné z: https://ust.fme.vutbr.cz/tvareni/img/opory/ctt_technologie_tvareni_sylabus_dvorak_cisarova.pdf. [cit. 2024-02-04].
- [4] LENFELD, Petr. *Technologie II: Technologie plošného tváření*. Online. In: Katedra tváření kovů a plastů – Skripta. Dostupné z: https://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta_tkp/sekce/06.htm#061. [cit. 2024-02-08].
- [5] DVOŘÁK, Milan, František GAJDOŠ a Ladislav ŽÁK, 2005. *Technologie tváření: návody do cvičení*. Vyd. 2. Brno: Akademické nakladatelství CERM. ISBN 80-214-2881-3.
- [6] DVOŘÁK, Milan. *Technologie II*. Učební texty vysokých škol. Brno: CERM, 2001. ISBN 80-214-2032-4.
- [7] FOREJT, Milan a PÍŠKA, Miroslav. *Teorie obrábění, tváření a nástroje*. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2006. ISBN 80-214-2374-9.
- [8] BOLJANOVIC, Vukota. *Sheet Metal Forming Processes and Die Design*. Online. 2nd ed. Industrial Press, 2014. ISBN 978-0-8311-3492-1. Dostupné z: <https://app-knovel-com.proxy.k.utb.cz/kn/resources/kpSMFPDDEE/toc?q=sheet%20metal%20forming&cid=kpSMFPDDEE>. [cit. 2024-02-08].
- [9] BŘEZINA, Richard a PETRUŽELKA, Jiří. *Úvod do tváření II*. Ostrava: Vysoká škola báňská - Technická univerzita, 2002. ISBN 80-248-0068-3.
- [10] DVOŘÁK, Milan; NOVOTNÝ, Karel a GAJDOŠ, František. *Technologie tváření: plošné a objemové tváření*. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2003. ISBN 80-214-2340-4.

- [11] MACHEK, Václav. *Kovové materiály 4: výroba a zpracování ocelí a litin*. V Praze: České vysoké učení technické, 2015. ISBN 978-80-01-05686-8.
- [12] ČADA, Radek. *TECHNOLOGIE TVÁŘENÍ A SLÉVÁNÍ – V PŘÍKLADECH*. Online. Ostrava: VŠB – TU, 2013. ISBN 978-80-248-3016-2. Dostupné z: https://projekty.fs.vsb.cz/463/edubase/vy_01_005/Technologie%20tváření%20a%20slévání%20-%20v%20příkladech/02%20Text%20pro%20e-learning/3.%20STRÍHÁNÍ%20PLECHU.pdf. [cit. 2024-03-14].
- [13] TATÍČEK, František a DVOŘÁK, Roman. *Akademie tváření: Technologičnost konstrukce v návrhu výstřižků*. Online. Mmspektrum. 2011. Dostupné z: <https://www.mmspektrum.com/clanek/akademie-tvareni-technologicnost-konstrukce-v-navrhu-vystrizku>. [cit. 2024-03-14].
- [14] TATÍČEK, František a DVOŘÁK, Roman. *Akademie tváření: Technologičnost konstrukce při ohýbání*. Online. Mmspektrum. 2012. Dostupné z: <https://www.mmspektrum.com/clanek/akademie-tvareni-technologicnost-konstrukce-pri-ohybani>. [cit. 2024-03-17].
- [15] BOLJANOVIC, Vukota a PAQUIN, J.R. *Die Design Fundamentals*. Online. 3rd ed. Industrial Press, c2006. ISBN 978-1-61344-843-4. Dostupné z: <https://app-knovel-com.proxy.k.utb.cz/kn/resources/kpDDFE0001/toc?cid=kpDDFE0001>. [cit. 2024-03-18].
- [16] SUCHY, Ivana. *Handbook of die design*. 2nd ed. McGraw-Hill handbooks. New York: McGraw-Hill, c2006. ISBN 00-714-6271-6.
- [17] NEE, John G. *Fundamentals of Tool Design*. Online. 6th ed. Society of Manufacturing Engineers, c2010. ISBN 978-1-61344-974-5. Dostupné z: <https://app-knovel-com.proxy.k.utb.cz/kn/resources/kpFTDE0002/toc?cid=kpFTDE0002>. [cit. 2024-03-25].
- [18] ALTAN, Taylan; NGAILE, Gracious a GANGSHU, Shen. *Cold and Hot Forging - Fundamentals and Applications*. Online. ASM International, c2004. ISBN 978-1-68015-946-2. Dostupné z: <https://app.knovel.com/kn/resources/kpCHFFA003/toc?cid=kpCHFFA003>. [cit. 2024-04-11].

- [19] *Plechy*. Online. In: Atreon. C2024. Dostupné z: <https://www.atreon.cz/plechy/?pv22=142&pv31=73>. [cit. 2024-04-28].
- [20] *Nelegovaná konstrukční jemnozrnná ocel vhodná ke svařování 11523*. Online. In: Techportal. C1997 - 2024. Dostupné z: https://www.techportal.cz/searchcontent.phtml?getFile=2AXR_TUAMiBFGAgUc6BzY5pKR4a_RmSdJyeRjhvvhWt6GT3USXlrODF32bS3UUhLt43w9y1W_Xp75N8MGgz73w. [cit. 2024-04-25].
- [21] *OSTŘIHOVACÍ LISY*. Online. Šmeral. Brno, c2000-20024. Dostupné z: <https://www.smeral.cz/cs/category/22/ostrihovaci-lisy>. [cit. 2024-05-01].

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

Zkratka	Význam	Jednotka
A	Šířka výstřižku	mm
A_s	Střižná práce	J
A_t	Tažnost	%
B	Délka výstřižku	mm
c	Koeficient závislý na stupni stříhu	-
c_{min}	Koeficient určující minimální poloměr ohybu	-
E	Můstek	mm
E_t	Modul pružnosti v tahu	MPa
F	Šířka okraje plechu	mm
F_c	Celková tvářecí síla	N
F_i	I-tá velikost síly střižníku	N
F_{oC}	Celková síla s kalibrací	N
F_{oU}	Ohybová síla při tvaru do U	N
F_{oV}	Ohybová síla při tvaru V	N
F_p	Síla přidržovače	N
F_s	Střižná síla	N
F_{sc}	Celková síla střižníků	N
$F_{stir.}$	Stírací síla	N
h	Pracovní zdvih nástroje	m
H_s	Výška střižnice	mm
I	Moment setrvačnosti průřezu	mm ⁴
k	Součinitel otupení břitů	-

K	Velikost kroku	mm
k_b	Koeficient bezpečnosti	-
k_o	Součinitel určující polohu neutrální vrstvy	-
l_0	Délka ohýbaného ramene	mm
$l_{1,2}$	Délky ramen	mm
l_c	Celková délka rozvinu	mm
l_k	Kritická délka střižníku	mm
l_m	Vzdálenost mezi ohybníkem a ohybnicí (U)	mm
l_s	Délka stříhu	mm
l_t	Délka plechu	mm
l_v	Vzdálenost mezi opěrami ohybnice (V)	mm
m^*	Součinitel respektující průběh ohýbací síly	-
P_p	Počet pružin	ks
R	Vnitřní poloměr ohybu	mm
R_e	Mez kluzu	MPa
R_m	Mez pevnosti v tahu	MPa
r_m	Poloměr zaoblení pevné čelisti	mm
R_{max}	Maximální poloměr ohybu	mm
R_{min}	Minimální poloměr ohybu	mm
r_p	Poloměr zaoblení pohyblivé čelisti	mm
s	Tloušťka plechu	mm
S_o	Celková plocha výstřižku	mm ²
S_p	Celková plocha plechu	mm ²
S_s	Plocha průřezu střižníku	mm ²

\check{S}	Šířka pásu	mm
v	Střížná vůle	mm
w	Šířka polotovaru	mm
x	Součinitel posunutí neutrální osy	-
x_i	I-tá poloha těžiště střížníku v ose x	mm
X_T	Poloha těžiště v ose x	mm
y_i	I-tá poloha těžiště střížníku v ose y	mm
Y_T	Poloha těžiště v ose y	mm
z	Střížná mezera	mm
Symbol	Význam	Jednotka
α	úhel ohnutého úseku	°
β	úhel odpružení	°
ϵ_c	mezní prodloužení	-
η	Součinitel využití materiálu	%
η_c	celkový počet výstřížků	ks
η_p	počet kusů pásu plechu	ks
η_v	počet výstřížků na pásu	ks
θ	Úhel sklonu nožů	°
λ	Součinitel plnosti	-
ρ	poloměr ohybu neutrální osy	mm
σ_d	napětí v tlaku	MPa
σ_{dov}	dovolené napětí v tlaku	MPa
σ_{odov}	dovolené napětí v ohybu	MPa
τ_s	Pevnost materiálu ve stříhu	MPa

SEZNAM OBRÁZKŮ

<i>Obr. 1 Fáze stříhání [4]</i>	13
<i>Obr. 2 Přehled základních operací při stříhání [5]</i>	14
<i>Obr. 3 Schéma stříhání rovnoběžnými noži [6]</i>	15
<i>Obr. 4 Schéma stříhání šikmými noži [6]</i>	16
<i>Obr. 5 Průběh střížné síly při stříhání [7]</i>	16
<i>Obr. 6 Stříhání rovnoběžnými noži [8]</i>	17
<i>Obr. 7 Graf součinitele plnosti v závislosti na tloušťce plechu [7]</i>	17
<i>Obr. 8 Stříhání šikmými noži [8]</i>	18
<i>Obr. 9 Přehled vybraných materiálů pro přesné stříhání [10]</i>	19
<i>Obr. 10 Rozdíl mez i stříhání s přidržovačem a bez [11]</i>	19
<i>Obr. 11 Stříhání s tlačnou hranou [11]</i>	20
<i>Obr. 12 Stříhání se zaoblenou hranou [10]</i>	20
<i>Obr. 13 Vliv střížné mezery na jakost střížné plochy [12]</i>	21
<i>Obr. 14 Ukázka nástřihového plánu [1]</i>	22
<i>Obr. 15 Technologické požadavky na vzdálenosti přepážek [13]</i>	23
<i>Obr. 16 Napětí v krajních vláknech ohýbaného materiálu [1]</i>	24
<i>Obr. 17 Fáze ohybu [8]</i>	25
<i>Obr. 18 Vztah mezi silou ohybu a dráhou ohybníku [8]</i>	26
<i>Obr. 19 Přehled základních operací při ohýbání [5]</i>	27
<i>Obr. 20 Odpružení materiálu tvaru V a U [4]</i>	29
<i>Obr. 21 Ohýbací síla tvaru V [6]</i>	30
<i>Obr. 22 Ohýbací síla tvaru V [6]</i>	31
<i>Obr. 23 Umístěná děr a délka ramen pro ohyb [1]</i>	32
<i>Obr. 24 Geometrie čel střížníků [8]</i>	33
<i>Obr. 25 Způsoby uchycení střížníků [8]</i>	34
<i>Obr. 26 Tvary střížnic [8]</i>	35
<i>Obr. 27 Varianty upnutí střížnic [8]</i>	36
<i>Obr. 28 Článek řetězu v současném stavu</i>	39
<i>Obr. 29 Hlavní rozměry článku</i>	40
<i>Obr. 30 Rozměry neohnutých délek</i>	40
<i>Obr. 31 Varianta příčné rozmístění</i>	41
<i>Obr. 32 Varianta podélné rozmístění</i>	41
<i>Obr. 33 Nástřihový plán článek s ohybem</i>	42
<i>Obr. 34 Nástřihový plán článek bez ohybu</i>	44

<i>Obr. 35</i> Postup výroby	45
<i>Obr. 36</i> Délky stříhu	45
<i>Obr. 37</i> Poloha těžiště	48
<i>Obr. 38</i> 3D model nástroje	51
<i>Obr. 39</i> Spodní část nástroje	52
<i>Obr. 40</i> Vložkovaná střížnice způsob upnutí	53
<i>Obr. 41</i> Vyměnitelná střížnice	53
<i>Obr. 42</i> Deska se střížnicí ohybnicí	54
<i>Obr. 43</i> Prostřední část nástroje	55
<i>Obr. 44</i> Horní část nástroje	56
<i>Obr. 45</i> Způsob uchycení střížníků	56
<i>Obr. 46</i> Střížníky normálie.....	57
<i>Obr. 47</i> Střížníky tvarové	57
<i>Obr. 48</i> Ohybník s ohybovou vložkou	58
<i>Obr. 49</i> Vyměnitelná kotevní deska	58
<i>Obr. 50</i> Opěrná kalená deska	59
<i>Obr. 51</i> Ostříhovací lis LKOA 200 [21]	59

SEZNAM TABULEK

Tabulka 1 Hodnoty součinitele x [4]	28
Tabulka 2 Využití tabule plechu	44
Tabulka 3 Výpočet sil v závislosti na poloze v ose x	47
Tabulka 4 Výpočet sil v závislosti na poloze v ose y	48
Tabulka 5 Parametry lisu [21]	59

SEZNAM PŘÍLOH

Příloha P I: Parametry postupového stříhání

Příloha P II: Obsahy výstřižků

Příloha P III: CD

- BP-model. (složka)
- Článek_bez_ohybu.pdf
- Článek_s_ohybem.pdf
- Postupový_nástroj_sestava.pdf

PŘÍLOHA P I: PARAMETRY POSTUPOVÉHO STRÍHÁNÍ

Tloušťka materiálu	Šířka pásu											
	do 15		15 – 50		50 – 100		100 – 200		200 – 300		300 – 400	
	e	f	e	f	e	f	e	f	e	f	e	f
0,1 – 0,9	1,2	1,5	1,5	1,8	1,8	2,2	2,5	3,1				
1	1,3	1,6	1,6	2	2	2,5	3	3,7	4	4,8	4,8	6
1,3	1,4	1,7	2	2,5	2,5	3,1	3,5	4,3	4,2	5,2	5,3	6,5
1,5	1,5	1,8	2,2	2,7	2,5	3,1	3,5	4,3	4,5	5,4	5,6	6,8
1,8	1,8	2,2	2,2	2,8	2,5	3,1	3,5	4,3	4,7	5,6	5,8	7
2	2	2,5	2,5	3,1	3	3,7	4	5	5	6	6	7
2,2	2,2	2,7	2,6	3,2	3,2	4	4,2	5,2	5,2	6,2	6,2	7,2
2,5	2,5	3,1	2,8	3,5	3,2	4	4,2	5,2	5,4	6,3	6,3	7,2
2,8	2,8	3,5	3	3,7	3,2	4	4,2	5,2	5,4	6,3	6,5	7,3
3	3	3,7	3,2	4	3,5	4,3	4,5	5,5	5,5	6,5	6,6	7,5
3,5			3,5	4,3	4	5	5	6	6	7	7	8,5
4			3,8	4,5	4,5	5,5	5,5	6,5	6,7	8	8	9,3
4,5			4,0	4,8	4,5	5,7	5,5	6,8	7	8,3	8,3	9,8
5			4,5	5	5	6	6	7	7,3	8,5	8,7	10

Výpočet délky kroku: $k = l_v + e$ [mm]

Šířka pásu: $P = š_v + 2f + g$ [mm]

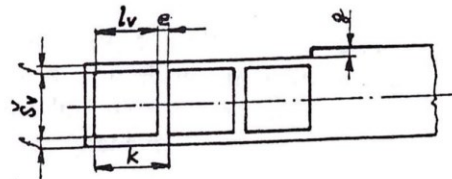
l_v – délka výstrižku

$š_v$ – šířka výstrižku

e – můstek

f – šířka okraje plechu

g – okraj po ostřížení ostříhovacím nožem



PŘÍLOHA P II: OBSAHY VÝSTŘIŽKŮ

Měření × +

▼ Výběr 1 (Plocha)

Obvod	509,88 mm
Celková délka smyčky	635,05 mm
Plocha	7331,79 mm ²

▼ Rozšířené vlastnosti

Přesnost

Úhlová přesnost

Dvojitá jednotky

Hotovo

Měření × +

▼ Výběr 1 (Plocha)

Obvod	370,76 mm
Celková délka smyčky	432,47 mm
Plocha	4678,94 mm ²

▼ Rozšířené vlastnosti

Přesnost

Úhlová přesnost

Dvojitá jednotky

Hotovo