

Konstrukce sdruženého (střih/ohyb) nástroje pro výrobu plechového dílu

Bc. Michal Kománek

Diplomová práce
2024



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta technologická

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně

Fakulta technologická

Ústav výrobního inženýrství

Akademický rok: 2023/2024

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(projektu, uměleckého díla, uměleckého výkonu)

Jméno a příjmení: **Bc. Michal Kománek**
Osobní číslo: **T22633**
Studijní program: **N3909 Procesní inženýrství**
Studijní obor: **Výrobní inženýrství**
Forma studia: **Kombinovaná**
Téma práce: **Konstrukce sdruženého (střih/ohyb) nástroje pro výrobu plechového dílu**

Zásady pro vypracování

1. Vypracovat literární studii na dané téma
2. Provést 3D konstrukci plechového dílu
3. Návrhnout výrobní postup s výpočty jednotlivých parametrů
4. Vypracovat 3D konstrukci sdruženého nástroje s ohledem na vyrobiteľnosť
5. Nakreslit 2D řez nástroje s kusovníkem

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

Seznam doporučené literatury:

DVOŘÁK, Milan, František GAJDOŠ a Karel NOVOTNÝ. Technologie tváření: plošné a objemové tváření. Vyd. 5., V Akademickém nakladatelství CERM 3. vyd. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2013, 169 s. Učební texty vysokých škol. ISBN 9788021447479.

HU, Ping, Ning MA a Yi-guo ZHU. Theories, methods and numerical technology of sheet metal cold and hot forming: analysis, simulation and engineering applications. London: Springer, [2013], xiv, 210 s. Springer series in advanced manufacturing. ISBN 978-1-4471-4098-6.

WANG, Darren, ed. Handbook of metal forming process. New York: NY research press, [2015], vi, 212 s. ISBN 978-1-63238-253-5.

Vedoucí diplomové práce: **doc. Ing. Martin Ovsík, Ph.D.**
Ústav výrobního inženýrství

Datum zadání diplomové práce: **2. ledna 2024**
Termín odevzdání diplomové práce: **10. května 2024**

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

L.S.

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

Ve Zlíně dne 1. března 2024

PROHLÁŠENÍ AUTORA DIPLOMOVÉ PRÁCE

Beru na vědomí, že:

- diplomová práce bude uložena v elektronické podobě v univerzitním informačním systému a dostupná k nahlédnutí;
- na moji diplomovou 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 – diplomovou 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 diplomové práce využito softwaru poskytnutého Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně nebo jinými subjekty pouze ke studijním a výzkumným účelům (tj. k nekomerčnímu využití), nelze výsledky diplomové práce využít ke komerčním účelům;
- pokud je výstupem diplomové práce jakýkoliv softwarový produkt, považují se za součást práce rovněž i zdrojové kódy, popř. soubory, ze kterých se projekt skládá. Neodevzdání této součásti může být důvodem k neobhájení práce.

Prohlašuji,

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

Ve Zlíně dne: 10. května 2024

Jméno a příjmení studenta: Michal Kománek

.....
podpis studenta

ABSTRAKT

Tato diplomová práce řeší konstrukci sdruženého nástroje pro výrobu plechového dílu. Teoretická část práce se zabývá průzkumem různých způsobů výroby daného dílu a výběrem nejlepší varianty, kterou dále popisuje literární rešerše. V praktické části je zkontrolována technologičnost výroby, navržen nejvhodnější plán produkce a ověřeny výpočty spojené s ekonomičností či funkčností nástroje. Výpočty také slouží jako podklad pro správný návrh sdruženého nástroje a volbu tvářecího lisu.

Klíčová slova: stříhání, ohýbání, tváření, sdružený nástroj, návrh, plechová součást

ABSTRACT

This diploma thesis deals with the construction of a combined tool for the production of a sheet metal part. The theoretical part of the thesis deals with the research of different methods of production of the given piece and the selection of the best variant, which is further described in the literature search. In the practical part, the technology of production is checked, the most suitable production plan is proposed and calculations related to the economy or functionality of the tool are verified. The calculations also serve as a basis for the correct design of the combined tool and the choice of the press.

Keywords: shearing, bending, forming, progressive cutting tool, design, metal sheet part

Děkuji tímto panu doc. Ing. Martinu Ovsíkovi, Ph.D. za cenné připomínky a rady, které mi poskytl při vypracování diplomové práce.

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

OBSAH

ÚVOD	9
I TEORETICKÁ ČÁST	10
1 SEZNÁMENÍ S ŘEŠENOU PROBLEMATIKOU	11
2 MOŽNOSTI VÝROBY	12
2.1 STŘÍHÁNÍ.....	12
2.2 LASER	13
2.3 VODNÍ PAPERSEK	14
2.4 ZHODNOCENÍ MOŽNOSTÍ VÝROBY	15
3 STŘÍHÁNÍ	16
3.1 PRŮBĚH STŘÍHÁNÍ	16
3.2 STŘIŽNÁ PLOCHA.....	17
3.3 STŘIŽNÁ VŮLE	18
3.4 STŘIŽNÁ SÍLA A PRÁCE	20
3.5 STŘIŽNÍKY	21
3.6 STŘIŽNICE	24
3.7 STŘIŽNÝ NÁSTROJ	25
4 OHÝBÁNÍ	26
4.1 OHÝBACÍ SÍLA	28
4.2 ODPRUŽENÍ	29
4.3 MINIMÁLNÍ A MAXIMÁLNÍ POLOMĚR OHYBU	30
4.4 OHÝBACÍ NÁSTROJ	31
5 TECHNOLOGIČNOST	32
5.1 TECHNOLOGIČNOST PŘI STŘÍHÁNÍ	32
5.2 TECHNOLOGIČNOST PŘI OHÝBÁNÍ	33
6 MATERIÁLY NÁSTROJŮ	35
7 MATERIÁLY PRO TVÁŘENÍ	37
8 TEPELNÉ ZPRACOVÁNÍ TVÁŘECÍCH NÁSTROJŮ	39
8.1 KALENÍ	39
8.2 CEMENTOVÁNÍ	40
8.3 NITRIDOVÁNÍ	41
9 TVÁŘECÍ STROJE – LISY	42
10 VÝROBNÍ LINKY PRO TVÁŘENÍ	44
11 SDRUŽENÉ NÁSTROJE	47

II PRAKTICKÁ ČÁST.....	52
12 CÍLE DIPLOMOVÉ PRÁCE	53
13 3D KONSTRUKCE A NÁVRH VÝROBY PLECHOVÉHO DÍLU	54
13.1 KONTROLA VYROBITELNOSTI.....	55
14 STANOVENÍ DILČÍCH ČÁSTÍ NÁSTROJE	63
14.1 VOLBA TYPU STŘIŽNÍKŮ A STŘIŽNIC.....	63
14.2 STANOVENÍ FUNKČNÍCH ROZMĚRŮ STŘIŽNÍKŮ A STŘIŽNIC	64
14.3 KONTROLA STŘIŽNÍKŮ	67
14.4 POPIS A VOLBA VODÍCÍCH PRVKŮ NÁSTROJE.....	68
14.5 POPIS A VOLBA STŘEDÍCÍCH PRVKŮ PLECHU	70
14.6 STANOVENÍ PRUŽIN PRO OHYBNÍKY A PŘIDRŽOVACÍ DESKU	71
14.7 UPÍNÁNÍ NÁSTROJE.....	72
14.8 PŘEPRAVA A MANIPULACE S NÁSTROJEM	73
15 KONSTRUKCE NÁSTROJE	74
15.1 VOLBA ODVODU ODPADNÍCH VÝSTŘIŽKŮ Z NÁSTROJE	79
16 PRINCIP FUNKČNOSTI NÁSTROJE	80
17 VOLBA LISU	82
17.1 DÁVKOVACÍ LINKA	83
18 DISKUZE VÝSLEDKŮ	84
ZÁVĚR	85
SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY.....	86
SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK.....	88
SEZNAM OBRÁZKŮ	91
SEZNAM TABULEK.....	94
SEZNAM PŘÍLOH.....	95

ÚVOD

V oblasti průmyslové výroby přetrvává stálý tlak na optimalizaci výrobních procesů a zvyšování efektivity výrobních nástrojů. Jedním z klíčových aspektů této snahy je neustálé hledání nových a inovativních přístupů k tvorbě nástrojů, které by byly schopny zvládat složité úkoly tvarování součástí. [1]

V dnešní době je také při výrobě strojírenských součástí k dispozici široká škála technologií, zahrnující procesy tváření. Tvářecí technologie lze rozdělit do dvou hlavních kategorií a to objemové, kde dochází k změně tvaru a objemu součásti napříč jejím průřezem, a plošné s rovinným přetvarováním, kde je změna tvaru omezena na plochu materiálu. [1; 6]

Do plošného tváření spadá také výroba sruženým nástrojem. Několika kroky zahrnující stříhání, lisování a ohýbání se formuje požadovaný tvar výrobku. Jako polotovar se nejčastěji volí pás plechu, který podávacím zařízením zavádíme do stroje. K přednostem postupového tváření patří především vysoká produktivita, která je spojena s vysokou jakostí a přesností. Jelikož je výrobní cena nástroje poměrně vysoká, je žádoucí tuto technologii kombinovat s vysokou sérií vyrobených dílců. [1; 6]

Tvářecí nástroje se upínají do lisů, které jim pomocí přímočarého pohybu umožňují vykonat produkční operaci. Hlavním faktorem výroby u lisů je maximální lisovací síla, popřípadě zdvih pístu. [1]



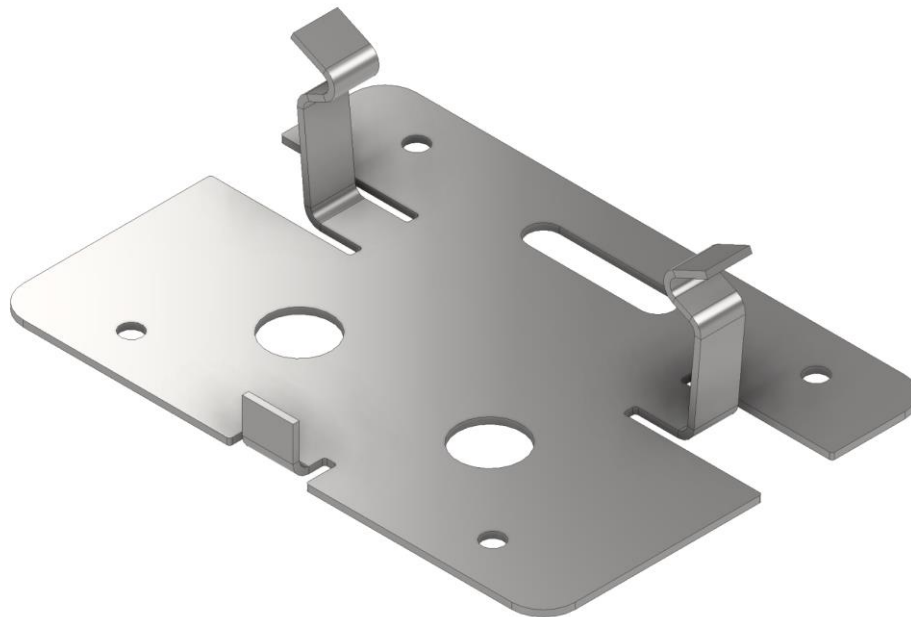
Obr. 1 Příklady součástí vyrobených ve sruženém nástroji [2].

I. TEORETICKÁ ČÁST

1 SEZNÁMENÍ S ŘEŠENOU PROBLEMATIKOU

Řeší se výroba dílu z plechu tloušťky jednoho milimetru, jenž je vyobrazen na obr. 2. Využití nachází v elektrotechnice jako dílčí součástka z reproduktoru. Obsahuje čtyři díry pro montáž pomocí šroubů, větší kruhové otvory s drážkou slouží pro vedení kabeláže a dále také packy pro spojení a ustavení s jinými díly. Materiál se uvažuje korozivzdorná ocel, jelikož může přijít do styku s vlhkým prostředím. Velikost výrobní série je zadaná na počet 400.000 kusů.

Pro vyrobení zadané součásti se hledá nejlepší a nejekonomičtější možnost produkce. V úvahu přichází zohlednění několika různých technologií, pomocí kterých je možné součást vyrobit, tyto varianty jsou dále stručně popsány v úvodu teoretické části diplomové práce. Následně se nejvhodnější zvolená technologie popisuje detailně ve zbytku teoretické části. Praktická část poté navazuje na teoretickou a řeší celkový návrh výroby a konstrukci nástroje.



Obr. 2 Ilustrace řešené součásti.

2 MOŽNOSTI VÝROBY

Pro výrobu součástí lze v dnešní době volit z řady rozdílných technologií. Vhodná volba technologie závisí na řadě různých faktorů, které ovlivňují kvalitu zpracování, rychlost produkce, efektivitu výrobního procesu a náklady s tím spojené. V úvahu se musí vzít také velikost výrobní série, jenž má zásadní vliv na cenu. Všechny tyto parametry by měly být brány v potaz a na základě nich zvolit technologii s nejméně kompromisy. Obecně je kladen především důraz na nejnižší finanční náklady produkce s optimálním dodržáním požadovaných přesností a parametrů vyráběného dílce.

Níže v dalších kapitolách jsou popsány vybrané technologie, které se uvažují pro výrobu řešené součásti či ji obdobných.

2.1 Stříhání

Stříhání (obr. 3), jako výrobní technologie se vyznačuje velmi přesným oddělováním materiálu pomocí dvou řezných hran – střížnice a střížníku. Tento proces nabízí několik významných výhod. První z nich je vysoká úroveň přesnosti, kterou lze dosáhnout při vytváření rozměrů a tvarů dílů. Dále je stříhání často považováno za rychlejší v porovnání s jinými technologiemi, což přispívá k efektivitě výrobního procesu. V neposlední řadě lze stříhání dobře automatizovat do výrobní linky. [4; 5; 13]

Naproti tomu stříhání může mít i některé nevýhody. Jednou z nich je omezení ve tvarech, které lze vytvořit. Pro složitější tvary může být obtížné dosáhnout požadovaného výsledku. Další nevýhodou je omezení v tloušťce materiálu, který je možné stříhat. Proces stříhání není vhodný pro extrémně tenké materiály, a naopak pro extrémně tlusté materiály. Mimo to může stříhání být méně hospodárné s využitím materiálu. [4; 5; 13]

Technologie stříhání je ideální pro střední až velké série výroby, kde lze využít výhod rychlosti a opakovatelnosti procesu. Pro malé série výroby mohou být náklady na přípravu nástrojů a strojů nepraktické. Velkou výhodou je možnost zařazení stříhání do postupového nástroje. [4; 5; 13]

Při provádění postupového stříhání se součást postupně formuje z pásu plechu. Prvním krokem je děrování, následuje stříhání obvodu a při potřebě lze přidat další kroky, jako je ohýbání, podle specifických požadavků. Poslední fází je odstřížení dokončené součásti. Tento proces umožňuje dosáhnout vysoké produktivity práce a vytvořit velké množství výrobků v krátkém časovém intervalu. Tato výrobní metoda se stále více prosazuje, přičemž

je běžná zejména v automobilovém a leteckém průmyslu, ale také v širokém spektru odvětví vyrábějících komponenty pro elektrická zařízení. [4; 5; 13]



Obr. 3 Stříhání [7].

2.2 Laser

Řezání laserem je pokročilá technologie výroby, která využívá koncentrovaný paprsek laseru k přesnému a efektivnímu oddělování materiálu. Princip fungování spočívá v tom, že laserový paprsek, generovaný v laserovém zdroji, je směřován přes soustavu zrcadel a čoček na povrch materiálu, který má být řezán (obr. 4). [10]

Samotný laserový paprsek se skládá z velmi intenzivního světelného záření, které je schopno zahřát materiál na tak vysokou teplotu, že dochází k lokálnímu tání nebo odpařování. Tento paprsek je poté řízen pomocí počítačového systému podle přesně definovaných tras a parametrů, které určují požadované tvary a rozměry výsledných dílů. [10]

Jedním z hlavních benefitů je vysoká úroveň přesnosti, kterou lze dosáhnout při vytváření tvarů a rozměrů dílů. Laserové řezání je také známo pro svou příznivou rychlost, což přispívá k efektivitě výrobního procesu a umožňuje vytvářet výrobky s vysokou produkční rychlostí při složitých obrysových tvarech. Další výhodou je minimální deformace materiálu, díky koncentrovanému teplu paprsku laseru, což znamená, že materiál je řezán s minimálním zkreslením nebo deformací. Tloušťka oceli, kterou lze řezat laserem, závisí na několika faktorech, včetně typu laseru, jeho výkonu a typu oceli. Obecně platí, že laserové řezání je účinné pro širokou škálu tloušťek a typů oceli, obvykle od několika desetin milimetru až po několik centimetrů. [10]

Pokud jde o vhodnost série výroby, laserové řezání je obvykle ideální pro malé až středně velké série výroby. Pro velké série by počáteční náklady na vybavení, údržbu a energetickou náročnost mohly být překážkou. [10]



Obr. 4 Řezání laserem [11].

2.3 Vodní paprsek

Řezání vodním paprskem je další pokročilá technologie výroby, která využívá vysokotlaký paprsek vody k přesnému oddělování materiálu. Princip fungování spočívá v tom, že voda je stlačena na vysoký tlak a následně vytlačena skrz trysku, vytvářející paprsek s vysokou kinetickou energií (obr. 5). [8; 9]

Vodní paprsek má schopnost pronikat do materiálu a postupně ho rozpouštět nebo obrušovat. Pro lepší řezné vlastnosti se do vodního roztoku přivádí řezní brusivo. Tento proces je řízen pomocí počítačového systému, který určuje požadované tvary a rozměry řezu. [8; 9]

Při kontaktu s materiálem paprsek vody postupně odstraňuje materiál, čímž vytváří přesné a čisté řezy podle definovaných parametrů. Díky absenci tepelného vstupu je tento proces ideální pro materiály, které by mohly být poškozeny vysokými teplotami, jako jsou například plastické materiály nebo kompozity. [8; 9]

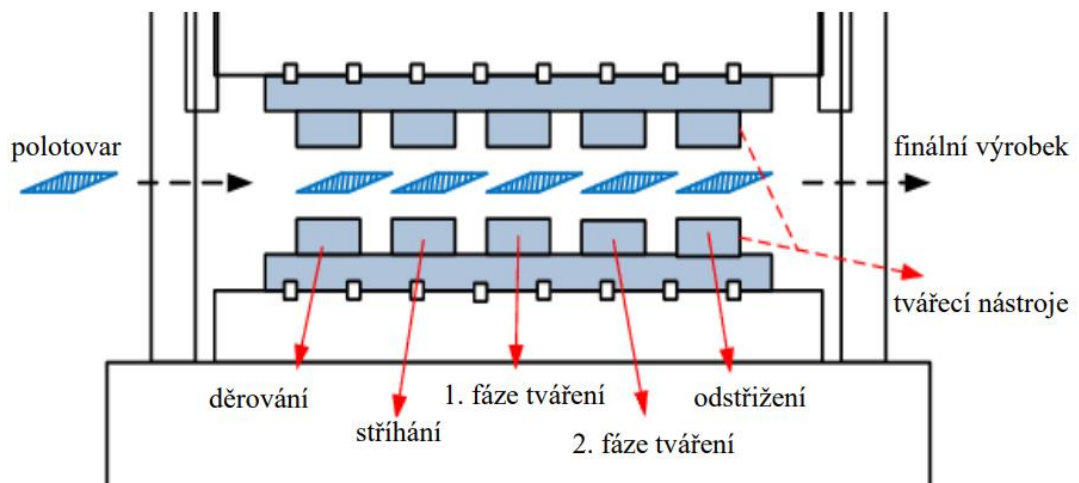
Řezání vodním paprskem je také flexibilní technologií, která umožňuje práci s různými druhy materiálů, včetně kovů, plastů, skla, keramiky a dalších. Díky své univerzálnosti a přesnosti je řezání vodním paprskem často využíváno v různých odvětvích průmyslu, kde je kladen důraz na kvalitu a přesnost výroby. Tato technologie je efektivní pro výrobu menších sérií, protože není nutné vytvářet drahé formy nebo nástroje, což zvyšuje přizpůsobivost a snižuje počáteční náklady na výrobu. [8; 9]



Obr. 5 Řezání vodním paprskem [8].

2.4 Zhodnocení možností výroby

Po zvážení požadavků na přesnost a parametrů řešené součásti je jako optimální volba pro výrobu zvolena technologie postupové stříhání ve sruženém nástroji. S ohledem na tenkost a snadně tvářitelný charakter materiálu o tloušťce 1 mm se stříhání jeví jako nejlepší možnost výroby. Navíc umožňuje kombinaci různých tvářecích operací, jako je například ohýbání v jednoduchých krocích, což eliminuje potřebu dalších tvářecích strojů (obr. 6). Díky velkosériové výrobě vykazuje stříhání vysokou produktivitu práce, čímž se náklady na pořízení nástrojů rozprostírají mezi velký počet vyrobených kusů. S ohledem na tyto faktory bude další literární rešerše zaměřena na technologii stříhání a ohýbání.



Obr. 6 Schéma příkladu stříhání ve sruženém nástroji [12].

3 STŘÍHÁNÍ

Stříhání, jako dominující operace v oboru plošného tváření, slouží především k separaci materiálu za použití protilehlých nožů. Pohyblivý nůž se nazývá střížník, pevný nůž střížnice. Tato technika není používána pouze pro vystříhování součástí z plechu, ale také pro další procesy, jako je dělení polotovarů, děrování, ostříhování a přistříhování. [3; 4]

Kvalita střížných ploch je ovlivněna řadou proměnných, přičemž mezi klíčové faktory patří vlastnosti materiálu, velikost střížné mezery, způsob stříhání a stav střížných nástrojů. U materiálů s tloušťkou do 4 mm se očekává přesnost v rozmezí IT 9 až IT 12 a drsnost $R_a = 3,2$ až $6,3 \mu\text{m}$. [3; 4; 13]

Stříhání vyžaduje správné nastavení stroje a střížných nástrojů pro minimalizaci deformací materiálu a dosažení čistého a přesného stříhu. Nedostatečná údržba a nevhodné použití může mít za následek nejen nekvalitní střížnou plochu, ale i poškození nástrojů či stroje. [3]

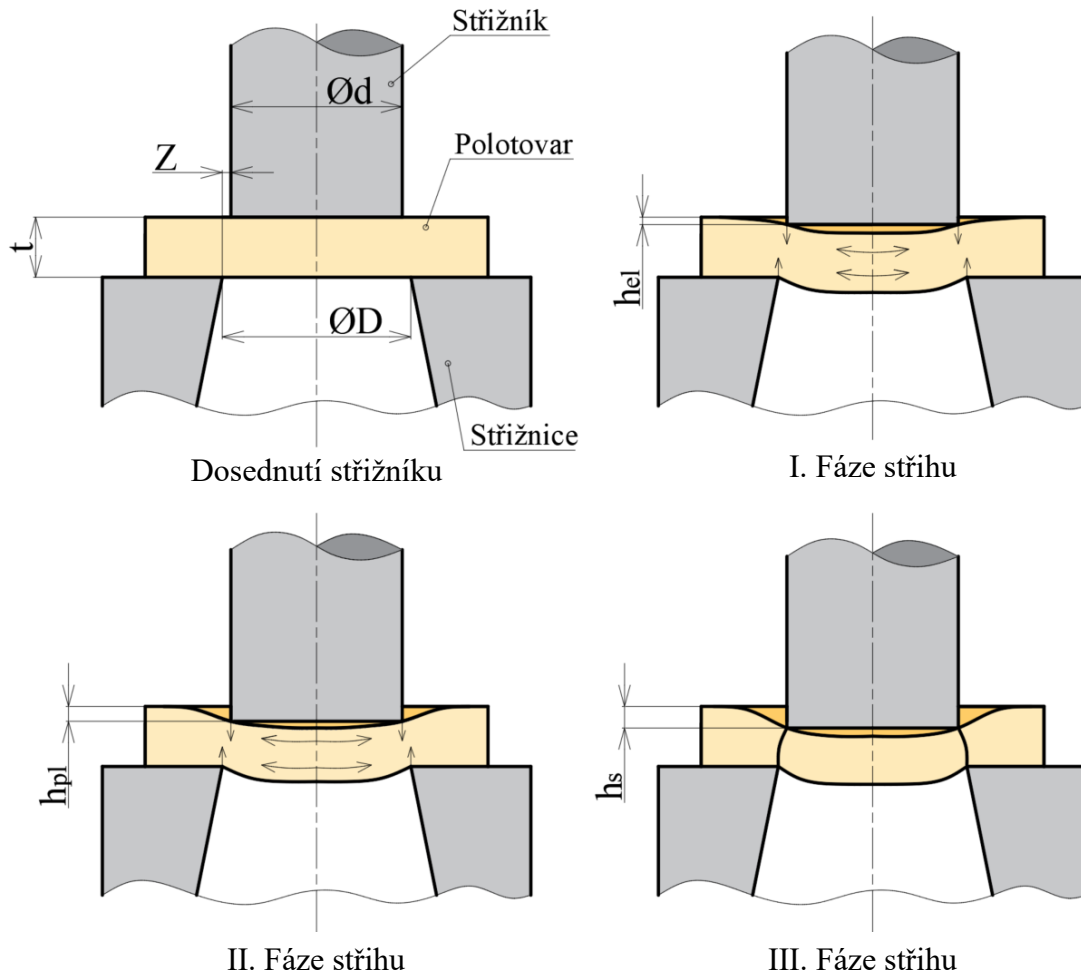
3.1 Průběh stříhání

Průběh stříhání začíná dosednutím střížníku na stříhaný polotovar. Střížník působí tvářecí silou a pomocí střížných hran dochází k postupnému tváření požadovaného tvaru. Celkový proces lze rozdělit do tří základních fází znázorněných na obr. 7. [1; 4; 13]

1. Fáze stříhu – střížník se přiblíží k polotovaru a vytváří vzájemný kontakt, čímž vzniká tlak působící na oblast pružných deformací materiálu. Postupně dochází k stlačování, ohýbání a jeho vtlačování do střížnice. Hloubka pronikání střížníku h_{e1} do materiálu souvisí s mechanickými charakteristikami a pohybuje se v rozmezí 5 až 8 % tloušťky polotovaru. [1; 4; 13]

2. Fáze stříhu – překonává se mez kluzu materiálu, což vede k trvalé plastické deformaci. Hloubka proniknutí střížníku do materiálu h_{p1} se pohybuje mezi 10 až 25 % tloušťky stříhané součásti. K samému konci této fáze dosahuje napětí hodnoty srovnatelné s mezí pevnosti při stříhu. [1; 4; 13]

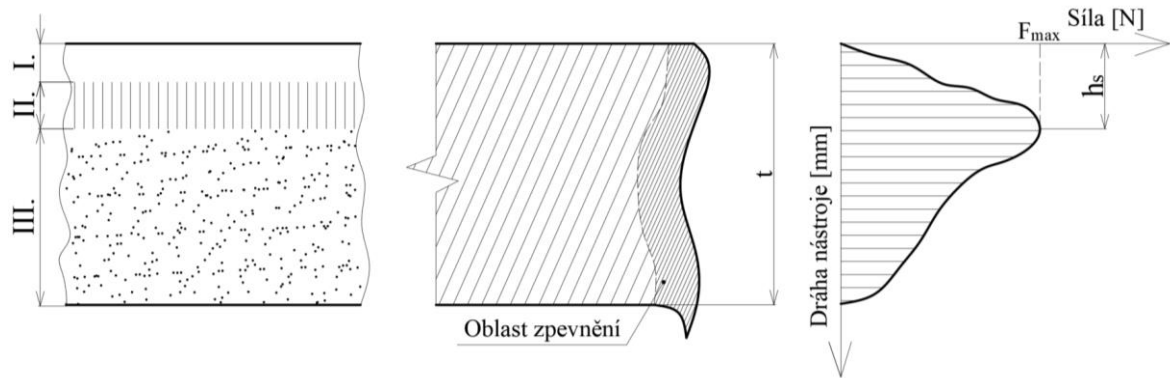
3. Fáze stříhu – dochází k překročení napětí mezi pevnosti při stříhu, což má za následek ztrátu jeho koheze. V okolí hran střížných nástrojů se nejprve formují mikroskopické trhliny, které postupně expandují s prohlubujícím se pronikáním střížníku do polotovaru. Tyto trhliny se nakonec spojí při překročení hloubky stříhu h_s a dochází k úplnému oddělení výstřížku od zbytku materiálu. [1; 4; 13]



Obr. 7 Průběh stříhání [4].

3.2 Střížná plocha

Střížná plocha úzce souvisí s jednotlivými fázemi stříhání a také může být rozdělena do třech oblastí, tyto oblasti jsou znázorněny na obr. 8. Během stříhání dochází na stříhané součásti ke vzniku třech pásem, které se vyvíjejí v průběhu různých fází stříhu. V prvním pásmu vznikají pružné deformace, kdy střížník pronikne do maximální hloubky materiálu odpovídající zhruba 8 %. Druhé pásmo tvoří 8-12 % hloubky vniku střížníku, plocha se plasticky tváří. Místo spojení druhého a třetího pásma představuje bod, kde střížná síla F_{\max} dosahuje svého maximálního účinku v závislosti na hloubce proniknutí h_s střížníku do materiálu. Část třetího pásma obvykle zaujímá přibližně 80 % celkové střížné plochy a je klíčová pro hodnocení kvality stříhu. Trhliny vznikají na březích obou střížných nástrojů a postupují směrem ke středu. Tyto trhliny se setkávají uprostřed materiálu a formují tak střížnou plochu. Při nesprávném setkání střížných trhlin může na povrchu vzniknout tříška nebo otřep. [1; 4; 13]



Obr. 8 Zobrazení pásem střižné plochy [4].

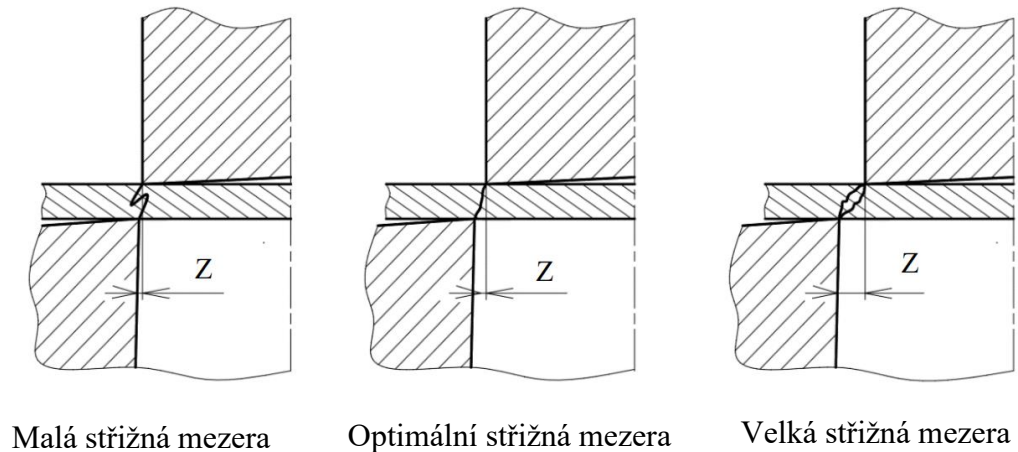
3.3 Střižná vůle

Střižná vůle v , definovaná jako rozdíl rozměrů střižníku a střižnice, je kritickým parametrem ovlivňujícím kvalitu střižných ploch. Jednostranný prostor mezi střižníkem a střižnicí, nazývaný střižná mezera Z , ta musí být konzistentní po celém obvodu střižové křivky. Udržení správné velikosti střižné mezery je klíčové pro optimalizaci střižného procesu. Příliš malá (nebo velká) střižná mezera (obr. 9) může negativně ovlivnit kvalitu střihu, vedoucí k rychlému opotřebení nástrojů nebo dokonce k jejich zlomení. [1; 4]

Při malé střižné mezeře se zvyšuje opotřebení a střižná práce v důsledku nesouladu mezi střižnými křivkami. Naopak při velké střižné mezeře nedochází ke správnému setkání střižných křivek a pásmo otěru se rozšiřuje přes celou střižnou plochu. [1; 4]

Volba velikosti střižné vůle je individuální a závisí na požadované přesnosti a kvalitě střihu, stejně jako na vlastnostech stříhaného materiálu. Tato hodnota je stanovena pomocí výpočtu, který se liší v závislosti na tloušťce plechu. Pro plechy do tloušťky 3 mm je výpočet dle vztahu (1), pro plechy nad tloušťku 3 mm je výpočet dle vztahu (2). [1; 4]

Optimální velikost střižné mezery zajišťuje, že střižné křivky se setkají v jednom bodě, což vede k žádané kvalitě střihu. Velikost střižné vůle může být také vyjádřena jako procentuální podíl z tloušťky stříhaného plechu a materiálu, z něhož je vyroben. Pro tento způsob lze využít tabulku č. 1. [1; 4]



Obr. 9 Vliv střížné mezery na kvalitu střížné plochy [4].

$$Z = \frac{v}{2} = c_1 \cdot t \cdot \sqrt{\frac{\tau_s}{10}} \quad [\text{mm}], \quad (1)$$

Kde:

c_1 – součinitel, jehož velikost se volí v rozmezí 0,005 – 0,035. (Nižší hodnota se volí pro lepší střížné plochy, vyšší pro dosažení minimální střížné síly),

t – tloušťka plechu [mm],

τ_s – pevnost ve stříhu ($\tau_s = 0,8 \cdot R_m$) [MPa].

$$Z = \frac{v}{2} = (1,5 \cdot t - 0,015) \cdot \sqrt{\frac{\tau_s}{10}} \quad [\text{mm}]. \quad (2)$$

Tab. 1 Volba střížné vůle dle materiálu. [4]

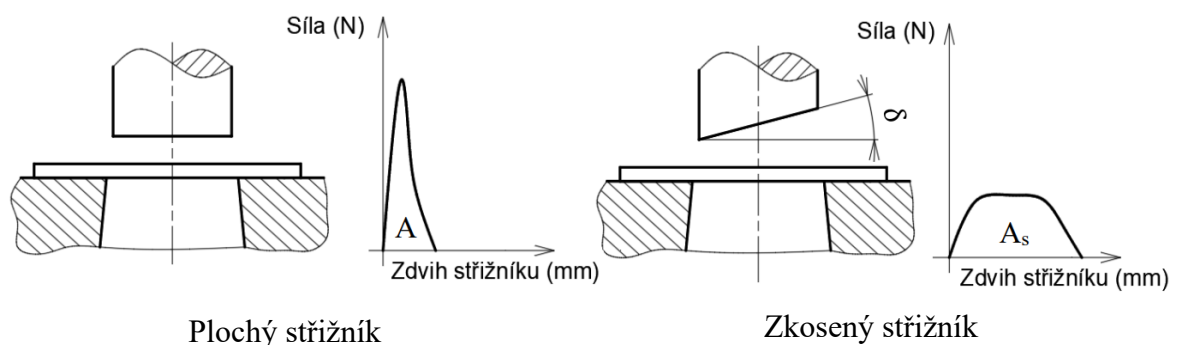
Stříhaný materiál	Střížná vůle [v % tloušťky materiálu]	
	do 2,5 mm	2,5 mm až 6 mm
Ocel měkká	3 ÷ 5	7 ÷ 8
Ocel středně tvrdá	6	6 ÷ 8
Ocel tvrdá	7 ÷ 9	7 ÷ 10
Hliník	4 ÷ 7	5 ÷ 9
Dural	7 ÷ 8	7 ÷ 10
Měď měkká	4 ÷ 5	5 ÷ 6
Měď polotvrdá a tvrdá	6 ÷ 7	6 ÷ 7

3.4 Střížná síla a práce

Střížná síla představuje podstatný faktor v procesu stříhání materiálů. Její správné určení zásadně ovlivňuje volbu lisu a zajišťuje správný průběh stříhání. V praxi se následně spočtená síla předimenzuje zhruba o 20 % a více, aby byla zajištěna bezpečnost a efektivita. [4; 17]

Střížná síla je funkcí hloubky vniku střížníku do materiálu a je dána součinem střížné plochy a střížného odporu. Během stříhání dochází k postupnému zvyšování střížné síly vlivem plastické deformace a zpevňování materiálu, až dosáhne bodu meze pevnosti, kdy začnou vznikat trhliny. Poté střížná síla klesá až k okamžiku, kdy je materiál úplně oddělen. [4; 17]

Rozdílný průběh střížné síly je patrný u různých typů materiálů. Křehké materiály s malým rozdílem mezi mezí kluzu a mezí pevnosti vykazují strmý nárůst a rychlý pokles střížné síly, zatímco houževnaté materiály se stávají odolnějšími během tváření, což negativně ovlivňuje stříhání zvýšením střížného odporu. [4; 17; 19]



Obr. 10 Střížná síla a práce dle tvaru střížníku [19].

Optimalizace střížných nástrojů je nezbytná pro efektivní ovlivnění střížné síly. Jedním z účinných přístupů je úprava střížné plochy střížníku prostřednictvím jejího zešíkvení pod specifickým úhlem. Tato modifikace může vést k významné redukci síly až o několik desítek procent. Velikost střížné síly pro ploché střížníky lze vypočítat pomocí vztahu (3), zatímco pro zkosené střížníky je nutné použít odpovídající vzorec (4). Střížná práce je přímo úměrná střížné síle a hloubce vtlačení střížníku do materiálu, v grafické interpretaci se jedná o oblast pod křivkou znázorňující průběh síly. Graf závislosti dráhy střížníku na střížné síle poskytuje přehled o velikosti střížné práce. Při použití šikmých střížníků při stříhání dosáhneme stejné práce jako při využití plochých střížníků, avšak s odlišným vývojem síly. U šikmých střížníků je požadovaná síla menší, ale delší dráha stříhu (obr. 10). [4; 17; 19]

Velikost střížné síly pro ploché střížníky:

$$F_s = k_1 \cdot o \cdot t \cdot \tau_s \quad [\text{N}] \quad (3)$$

Kde:

o – střížný obvod [mm],

k – součinitel otupení (volí se 1,1 až 1,3) [-].

Velikost střížné síly pro zkosené střížníky:

$$F_s = k_1 \cdot t \cdot b \cdot \tau_s = k \cdot t^2 \cdot b \cdot \frac{\tau_s}{\text{tg}\varphi} \quad [\text{N}] \quad (4)$$

Kde:

b – délka stříhu [mm],

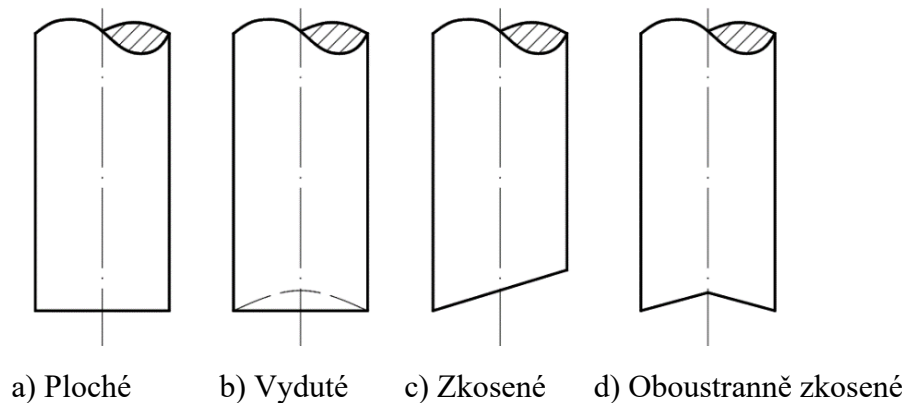
$\text{tg}\varphi$ – úhel stříhu (úhel sklonu nožů) [°].

3.5 Střížníky

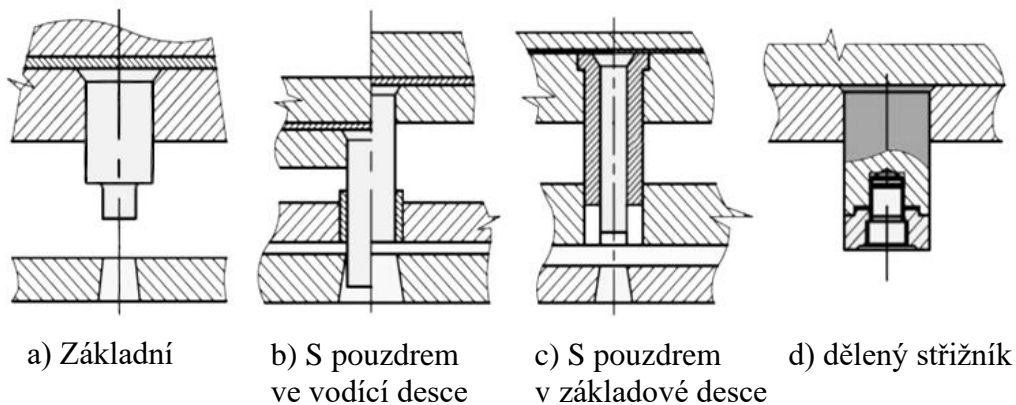
Střížník ve střížném nástroji slouží jako horní pohyblivý nůž, který se přizpůsobuje tvaru stříhané součásti. Základní tvary střížníků jsou standardizované a často mají břity (ostří) kolmé k ose střížníku, což usnadňuje jejich výrobu a ostření. Pro snížení střížné síly lze upravit tvar čela střížníku např. na vydutý, zkosený nebo oboustranně zkosený (obr. 11). [4; 17; 19]

Menší střížníky bývají často vyrobeny z jednoho kusu materiálu, zatímco u větších rozměrů jsou střížníky dělené, nosná část je vyráběna z konstrukční oceli a funkční část z nástrojové oceli. Funkční část se obvykle připevňuje k nosné části pomocí šroubů a musí být přesně středěná. Pokud je střížník obzvláště tenkého průřezu, lze ho uložit do výstužné vložky (pouzdra) a tím zvýšit jeho únosnost. U delších střížníků se používá vodící deska s pouzdrem, která chrání střížník proti vzpěru a jeho následnému zlomení (obr. 12). [4; 17]

Střížníky se můžou aretovat, aretace je prováděna jako zábrana proti jejich pootočení v kotevní desce. Využít k tomu lze neotočné středící plochy, klíny či pera. U tvarových dělených střížníků je možné celý střížník aretovat, například odbroušením části hlavy. [4; 17]



Obr. 11 Zakončení pracovní části střížníků [19].



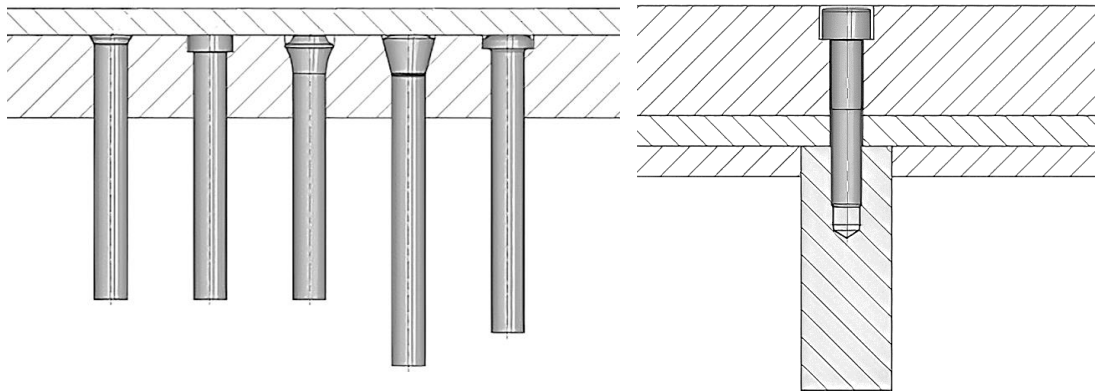
Obr. 12 Konstrukce střížníků [17].

3.5.1 Upínání střížníků

V závislosti na konstrukci a požadavcích na střížný nástroj lze volit z různých typů upínání střížníků. Každá z variant má své výhody a nevýhody.

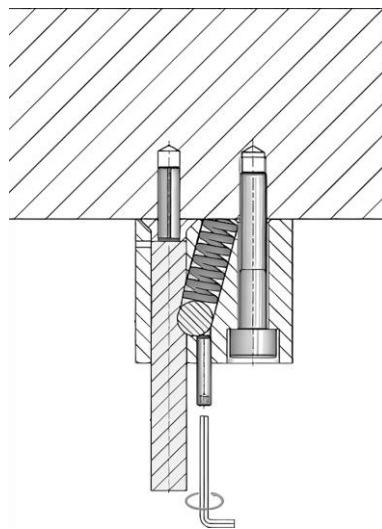
- Upevnění střížníku pod opěrnou desku pomocí osazovací hlavy na střížníku. Nejčastěji používanými formami hlavy jsou kuželové, válcové a pozounové. Výběr konkrétní formy hlavy závisí na různých faktorech, jako je síla lisování, síla zpětného pohybu, očekávaná životnost a dostupný prostor. Nevýhodou je fakt, že při výměně střížníku je nutná pracná demontáž střížného nástroje (obr. 13a). [18]
- Upevnění střížníku pomocí šroubu na čelní straně k základové desce. Závit se do střížníku vytváří nejčastěji elektrojiskrovou metodou. Díky malým nárokům na prostor je možné umístit střížníky těsně vedle sebe. Po přebroušení je také možné střížníky podložit a vyrovnat jejich výšku (obr. 13b). [18]

- Rychlovyměnitelné upínání známe jako Ball-Lock systém, je kulový segment umístěný v dřívku střížníku. Tento segment je uchycen pomocí kuličky s pružinou v držáku střížníku. Pro výměnu střížníku se kulička stlačí pomocí stavěcího šroubu, což umožňuje rychlou a jednoduchou demontáž střížníku. Poté se stavěcí šroub vrátí do výchozí polohy a umístí střížník nový. Tímto způsobem je eliminována potřeba demontáže celé základové desky nástroje (obr. 13c). [18]
- Tvarový spoj upevnění je vhodný především pro tvarové střížníky. Díky standardizovaným závěsům není nutné vyrábět upevňovací závity přímo do střížníku nebo vyrábět střížník s osazenou hlavou (obr. 13d). [18]

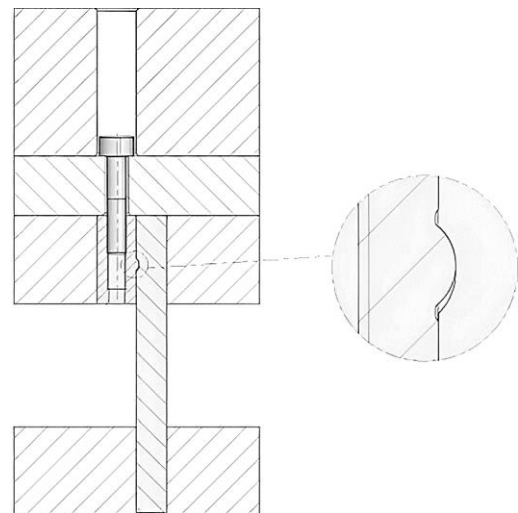


a) Pod opěrnou desku

b) Pomocí šroubu



c) Rychloupínání

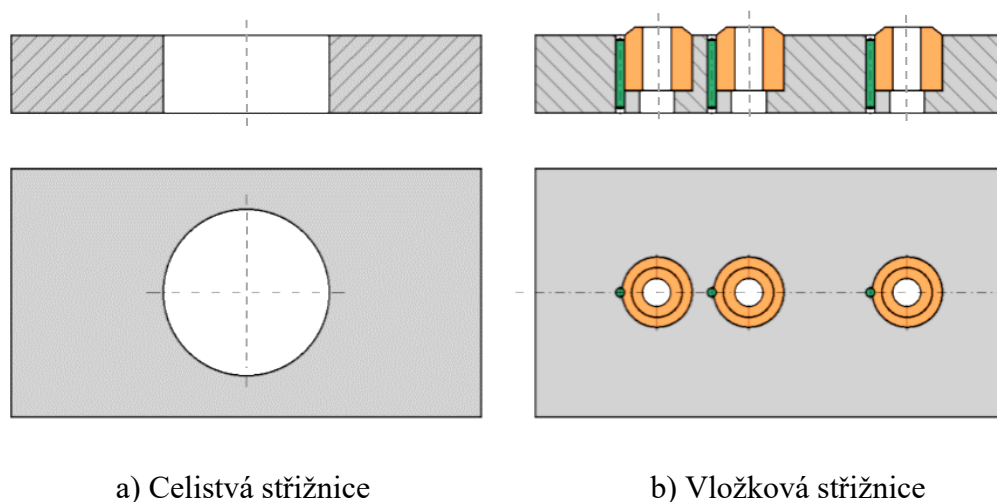


d) Tvarový spoj pomocí závěsu

Obr. 13 Upínání střížníků [18].

3.6 Střížnice

Střížnice jsou prvky střížných nástrojů a tvoří spodní nůž, jenž je pevně zafixován. Existuje několik typů střížnic zahrnující celistvé, skládané a vložkové varianty. Celistvé střížnice jsou vyrobeny z jednoho kusu materiálu, zatímco skládané střížnice jsou složeny z několika částí. Vložkové střížnice kombinují základní desku z konstrukční oceli s vložkou z nástrojové oceli (obr. 14). Upnutí střížnic se řeší nejčastěji mechanicky pomocí mechanických prvků, jako jsou šrouby, svorky a ustavují se pomocí kolíků. [4; 17]

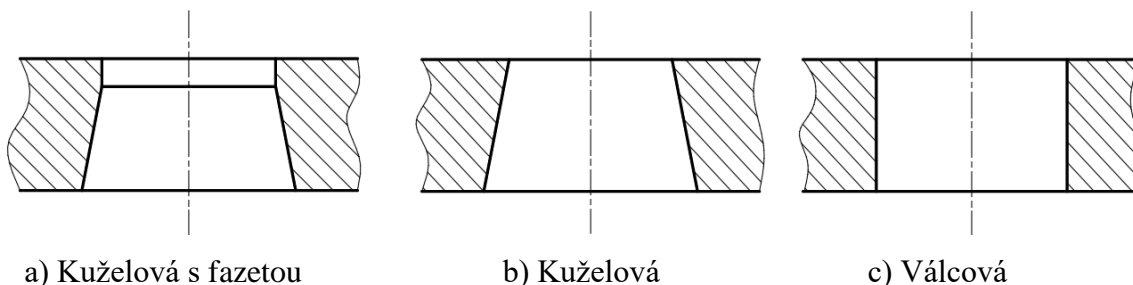


a) Celistvá střížnice

b) Vložková střížnice

Obr. 14 Typy střížnic dle konstrukce [17].

Vnitřní tvary střížnic se mohou konstrukčně lišit a mají vliv na náročnost výroby a přesnost stříhaného dílu. Střížnice s fazetou jsou nejnákladnější na výrobu, avšak umožňují dosažení nejvyšší přesnosti a možnost opakovaného přebroušení po opotřebení. Úhel zkosení otvoru střížnice je volen v rozmezí 2° až 5° , což umožňuje snadnější pronikání materiálu a minimalizuje riziko zaseknutí v nástroji. Kuželovitost střížnice dále usnadňuje průchod materiálu a přispívá k plynulému stříhu. [4; 13; 17]



a) Kuželová s fazetou

b) Kuželová

c) Válcová

Obr. 15 Typy střížnic dle tvarů střížných ploch [17].

3.7 Střížný nástroj

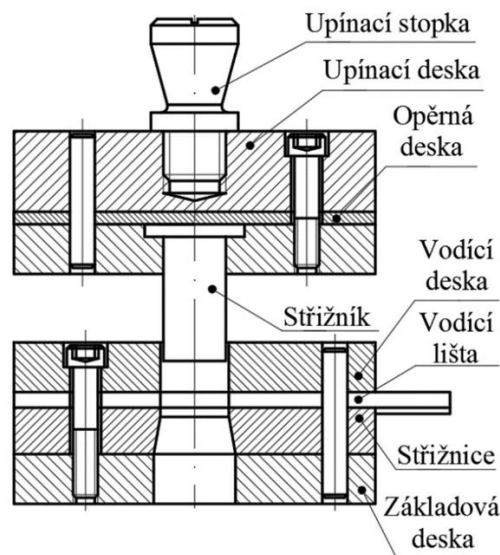
Střížné nástroje představují klíčový prvek v procesu tvarování kovových plechů, kde jsou zodpovědné za přesné a opakované stříhání materiálu na požadované rozměry. Konstrukce těchto nástrojů se skládá z několika dílčích částí, z nichž každá má svou specifickou funkci a přispívá k funkčnosti nástroje viz obr. 16. [4; 17]

Při konstrukci a návrhu stříhacích nástrojů je nutné brát v úvahu několik klíčových faktorů:

- Technické zásady, jenž zahrnují aspekty jako je vyrobiteľnosť nástroje, montáž jednotlivých dílů, životnost nástroje a cena. Tato kritéria zaručují funkčnost a efektivitu stříhacího procesu. [4; 17]
- Ekonomické zásady, ty jsou zaměřeny na maximální využití materiálu, energie a výkonu strojů s cílem minimalizovat náklady a maximalizovat výnosy. [4; 17]
- Ekologické a bezpečnostní zásady určují pracovní podmínky nástroje, zásady bezpečnosti při práci a také vliv provozu nástroje na okolí. Jejich dodržení je nezbytné pro ochranu pracovníků a životního prostředí. [4; 17; 23]

Stříhací nástroje mohou být dále klasifikovány podle počtu operací a požadované přesnosti výstřižku. Lze rozlišit stříhací nástroje bez vedení, které jsou obvykle určeny pro výrobu výstřižků s nižší přesností, a stříhací nástroje s vedením, které poskytují vyšší přesnost díky vodícím sloupcům. [4; 17]

Dále se dělí stříhací nástroje podle počtu střížných operací na jednoduché stříhací nástroje, postupové stříhací nástroje, sloučené stříhací nástroje a sdružené stříhací nástroje. Každý typ má své specifické využití a přednosti v různých průmyslových aplikacích. [4; 17]



Obr. 16 Schéma jednoduchého střížného nástroje [17].

4 OHÝBÁNÍ

Další technologií používanou ve strojírenství a průmyslu obecně je ohýbání. To představuje proces, který umožňuje tvarovat různé typy materiálů, včetně plechů, pásů, trubek a profilů. Cílem ohýbání je deformovat polotovar do požadovaného tvaru za využití pružně plastického chování materiálu. Deformace u ohýbání je ovlivněna řadou faktorů, včetně poloměru ohybu, kvalitou polotovaru, tloušťkou materiálu a velikosti ohybových momentů. [3; 13; 15]

Ohýbání se řadí do kategorie plošného tváření, přičemž nedochází k podstatné změně tloušťky materiálu. Tento proces může být prováděn jak za studena, tak za tepla. Ohýbání za studena se typicky používá pro materiály běžných jakostí, zatímco ohýbání za tepla je preferováno pro tvrdé, křehké a tlusté polotovary. [3; 13; 15]

Při ohýbání je klíčové dodržovat technologické zásady, které zajišťují správné provedení ohybu. Je důležité, aby ohybové napětí v materiálu přesáhlo mez kluzu materiálu, ale nepřesáhlo mezní pevnost. Překročení mezní pevnosti by mohlo vést k trvalému poškození materiálu a narušení jeho integrity. [3; 13; 15]

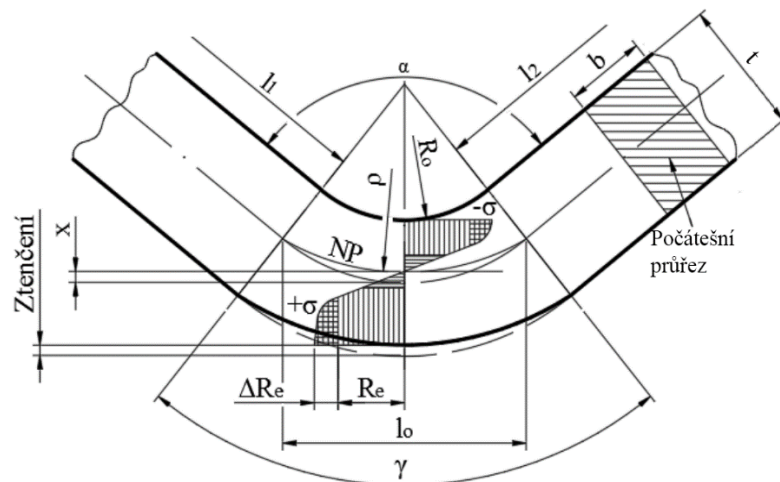
Pro výrobu ohýbaných komponent je důležité zjistit počáteční délku polotovaru, tu lze získat spočtením součtu délek přímých segmentů a délek neutrálních ploch. Délka neutrální plochy je možné vypočítat pomocí příslušného matematického vztahu (5). [3; 15]

$$l_n = \frac{\pi \cdot \alpha}{180} \cdot (R_o + x \cdot t) \quad [\text{mm}]. \quad (5)$$

Při ohýbání vzniká tzv. neutrální plocha. Kolem neutrální plochy je zaznamenáno minimální napětí, které se postupně zvyšuje směrem k okrajům tvarovaného polotovaru. Uvnitř ohybu dochází k tlakovému napětí, zatímco na vnější straně se vyskytuje tahové napětí. Neutrální plocha se během ohybu posouvá směrem k vnitřnímu okraji (obr. 17). Tento posun je reprezentován pomocí součinitele posunutí x , jehož hodnota závisí na poměru ohybu k tloušťce ohýbané součásti. Poloměr neutrální plochy ρ lze stanovit výpočtem, pro $R_o \geq 12 \cdot t$ podle vztahu (6) nebo pro $R_o \leq 12 \cdot t$ dle vztahu (7) (obr.17). [3; 15]

$$\rho = R_o + \frac{t}{2} \quad [\text{mm}]. \quad (6)$$

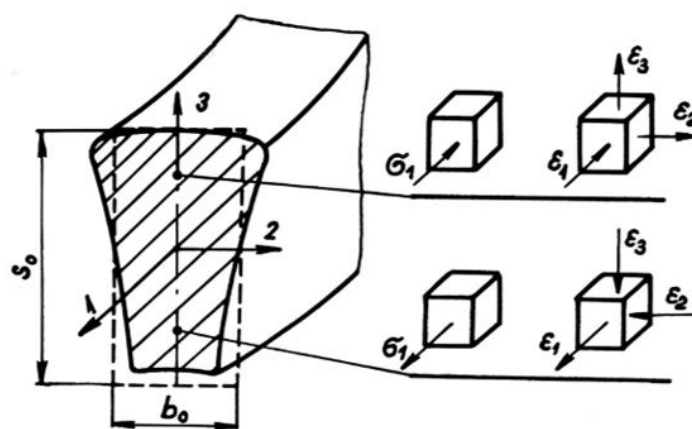
$$\rho = R_o + x \cdot t \quad [\text{mm}]. \quad (7)$$



- | | |
|---------------------------------------|--|
| α – úhel ohybu | γ – úhel ohnutého úseku deformace |
| ρ – poloměr neutrální vrstvy | b – šířka materiálu (plechu) |
| l_1, l_2 – rovinný úsek | $-\sigma$ – tlaková složka |
| l_o – délka ohnutého úseku | $+\sigma$ – tahová složka napětí |
| x – velikost posunutí neutrální osy | R_e – mez kluzu |
| R_o – poloměr ohybu | |

Obr. 17 Schéma ohybu [3].

Vzhledem k tomu, že se napětí na vnitřní a vnější straně ohybu liší, liší se v těchto místech i deformace. Vlivem vznikání tlakového napětí na vnitřní straně ohybu, dochází v tomto místě k zhutňování materiálu a možnému zvlnění. Na vnější straně ohybu je napětí tahové, to znamená, že deformace na této straně bude mít za důsledek ztenčení. Tento děj popisuje obr. 18, lze jej sledovat převážně u součástí, u nich se zásadně neliší výška a šířka průřezu. U ohýbání plechů je tento jev nepatrný. [16]

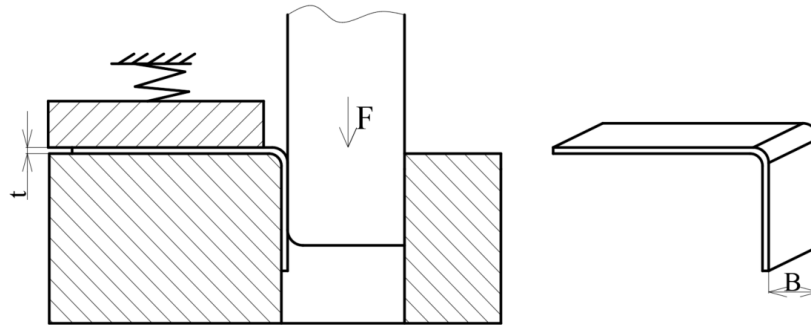


- S_o – počáteční šířka polotovaru
 B_o – počáteční výška polotovaru

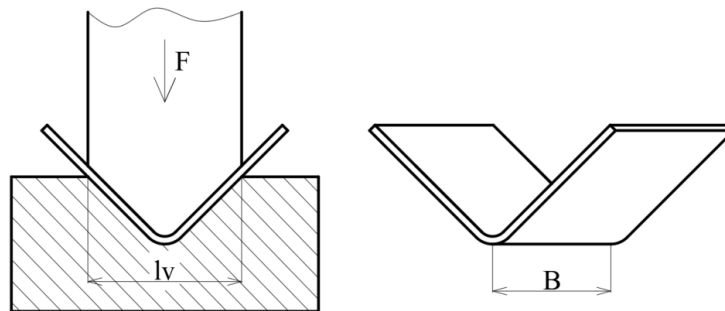
Obr. 18 Deformace v závislosti na druhu napětí při ohybu [16].

4.1 Ohýbací síla

Ohýbací síla u plechů je definována jako síla potřebná k deformaci plechového dílu do požadovaného tvaru a úhlu. Tato síla je důležitým parametrem při ohýbání plechů a má vliv na výběr vhodného stroje. Výpočet ohýbací síly zahrnuje řadu faktorů, včetně tloušťky plechu, typu materiálu, délky ohybu, poloměru ohybu a použitého zařízení na ohýbání. Podle tvaru ohybu rozlišujeme "L" (obr. 19) a "V" (obr. 20) ohyb. Síla pro "L" ohyb se stanoví pomocí vztahu (8), síla pro "V" ohyb se stanovuje podle vztahu (9). [14; 15]



Obr. 19 Schéma L ohybu [14].



Obr. 20 Schéma V ohybu [14].

Výpočet síly pro "V" ohyb:

$$F_{OV} = \frac{b \cdot t^2 \cdot c_2 \cdot R_m}{l_v} \quad [\text{N}], \quad (8)$$

kde:

R_m – mez pevnosti [MPa],

l_v – vzdálenost podpor ohybnice [mm],

c_2 – součinitel ohybu pro V ohyb (volí se dle diagramu v příloze č. 1) [-],

Výpočet síly pro "L" ohyb:

$$F_{OL} = b \cdot t \cdot \frac{c_3}{3} \cdot R_m \quad [\text{N}]. \quad (9)$$

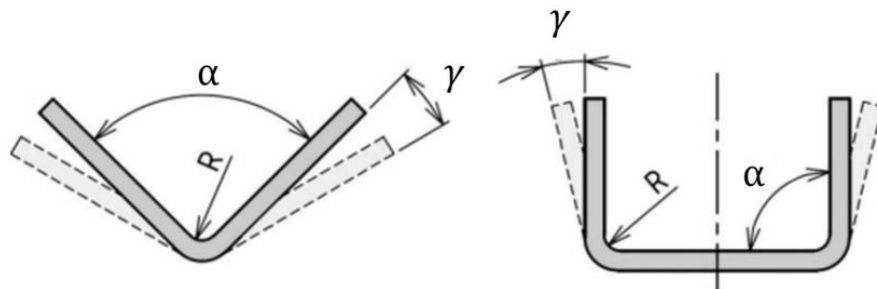
kde:

c_3 – součinitel ohybu pro L ohyb (volí od 1 do 2, čím menší rádius ohybníku/ohybnice, tím větší koeficient c se používá) [-].

4.2 Odpružení

Odpružení je jev, který vzniká při deformaci materiálu a následné relaxaci napětí po odstranění vnějšího zatížení. V technickém kontextu se vyskytuje při procesech tváření, ohýbání a dalších forem plastické deformace materiálu. Tento jev je způsoben především u pružně-plastického chování materiálu.

Odpružení je důležité znát z hlediska konstrukce a návrhu výrobků, protože může ovlivnit jejich konečné rozměry a tvar. Snížení odpružení může být regulováno volbou materiálu, kontrolou procesních parametrů (například teplota, rychlost deformace), optimalizací postupů zpracování či konstrukčním řešením ohybníků a ohybnic (např. podbroušením ohybnice). Podle vztahů (10) a (11) může být odpružení spočítáno pro konkrétní typ ohybu. [4; 15]



Obr. 21 Schéma odpružení [15].

Odpružení pro "V" ohyb:

$$\gamma = \arctg \cdot \left(0,375 \cdot \frac{l_v}{k_2 \cdot t} \cdot \frac{R_e}{E} \right) \quad [^\circ], \quad (10)$$

kde:

k_2 – součinitel polohy neutrální plochy dle poměru R_0/t [-],

E_T – modul pružnosti v tahu [MPa],

Odpružení pro "U/L" ohyb:

$$\gamma = \arctg \cdot \left(0,75 \cdot \frac{l_u}{k_2 \cdot t} \cdot \frac{R_e}{E_T} \right) \quad [^\circ], \quad (11)$$

kde:

l_u – rameno ohybu [mm].

4.3 Minimální a maximální poloměr ohybu

Minimální poloměr ohybu je bod, který určuje nejmenší poloměr, při kterém nedochází ke vzniku trhlin na vnější straně ohybu během ohýbání materiálu. To znamená, že při zachování minimálního poloměru ohybu nebude překročena mez pevnosti materiálu, což zajišťuje jeho integritu a bezpečnost. Tento parametr je ovlivněn faktory jako je tloušťka materiálu, kvalita povrchu, úhel ohybu a druh materiálu. Pro snížení rizika vzniku trhlin během ohýbání je žádoucí, aby byl materiál ohýbán kolmo na směr vláken. Materiály s vysokou mezí pevnosti a nízkou mezí kluzu jsou obvykle vhodné pro ohýbání. Určit minimální poloměr ohybu je možné dle vztahu (12). [3; 15]

Minimální poloměr ohybu:

$$R_{min} = \frac{t}{2} \cdot \left(\frac{1}{\varepsilon_{max}} - 1 \right) = c_4 \cdot t \quad [\text{mm}], \quad (12)$$

kde:

ε_{max} – mezní prodloužení [MPa],

c_4 – koeficient ohybu volený dle druhu materiálu [–].

Maximální poloměr ohybu představuje bod, kde dojde k počátku plastické deformace v krajních vláknech ohýbaného materiálu. To znamená, že překročením tohoto poloměru způsobí, že materiál trvale zůstane deformován, aniž by se vrátil do svého původního stavu podle Hookova zákona. Zajištění správného maximálního poloměru ohybu je žádoucí třeba pro minimalizaci rizika trvalé deformace nebo poškození materiálu. Vypočítat lze dle vztahu (13). [3; 15]

Maximální poloměr ohybu:

$$R_{max} = \frac{t}{2} \cdot \left(\frac{E_T}{R_e} - 1 \right) \quad [\text{mm}]. \quad (13)$$

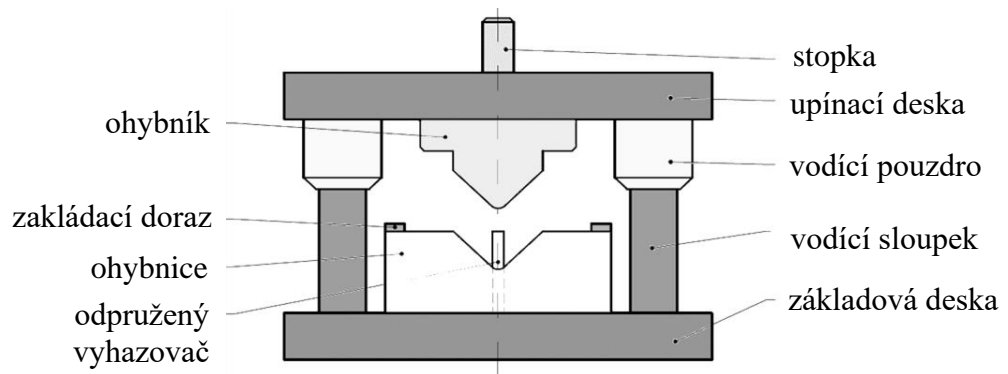
Tab. 2 Technologický koeficient c_4 pro minimální ohyb. [4]

Druh materiálu	Měkká ocel	Měkká mosaz	Hliník	Dural	Měkká měď
Součinitel c_4	0,5 až 0,6	0,3 až 0,4	0,35	0,3 až 0,6	0,25

4.4 Ohýbací nástroj

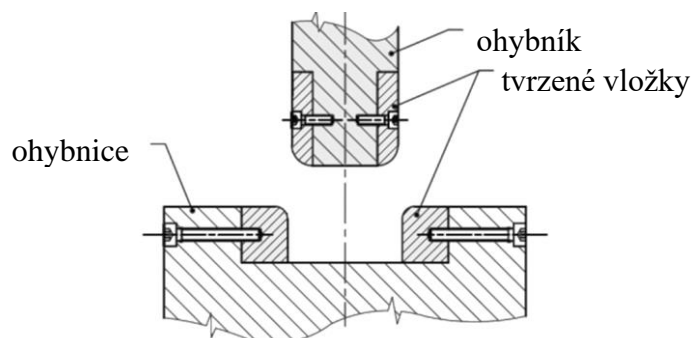
Ohýbací nástroj využívá podobný princip jako nástroj střížný, kde dochází k vertikálnímu pohybu ohybníku směrem k ohybnici. Konstrukce ohýbacích nástrojů lze rozdělit do dvou hlavních skupin, z nichž každá má specifické využití a charakteristiky. [4]

První skupina ohýbacích nástrojů je podobná nástrojům střížným, přičemž hlavní rozdíl spočívá ve tvaru tvářecích nástrojů, které jsou použity v hydraulických a excentrických lisech. Ohybník je fixován do upínací desky a provádí přímý pohyb, zatímco ohybnice je pevně usazena na základové desce a zůstává nepohyblivá. Poloměr ohybníku je totožný s poloměrem ohýbané součásti. Hrany tvářecích nástrojů jsou kaleny a leštěny, což zajišťuje jejich odolnost a dlouhou životnost. [4]



Obr. 22 Schéma ohýbacího nástroje [4].

Druhou skupinu ohýbacích nástrojů tvoří zařízení pro ohraňovací lisy, která jsou vhodná pro výrobu komplexních tvarů s více ohyby. Konstrukčně jsou tyto nástroje jednodušší a skládají se ze dvou částí: horní pohyblivé čelisti (raznice) a spodní nepohyblivé (matrice). Čelisti jsou přímo upnuty do ohraňovacího lisu. [4]



Obr. 23 Vložky ohýbacího nástroje [4].

Pro snížení nákladů a zvýšení odolnosti jsou pro funkční části ohýbacích nástrojů použity vložky vyrobené z tvrdých materiálů, jako jsou slinuté karbidy či nástrojová ocel, které jsou známé svou odolností proti opotřebení. Tyto vložky jsou upevněny k nosnému tělu pomocí šroubů a ustavují se pomocí kolíků. [4]

5 TECHNOLOGIČNOST

Správná technologičnost při výrobě součástí je nezbytná pro dosažení efektivního a ekonomicky výhodného procesu. Součást musí být navržena tak, aby její výroba byla proveditelná s minimálními náklady, jednoduchými nástroji a v co nejkratším čase, přičemž je nutné dodržet stanovené technické požadavky. Rozsah technologičnosti je ovlivněn mnoha faktory, včetně velikosti výrobní série, dostupnosti výrobního zařízení, zkušeností pracovníků a dalších aspektů. [4]

Vyhodnocení technologičnosti začíná již v návrhové fázi, kde je nezbytná spolupráce konstruktérů, technologů a dalších pracovníků. Cílem je minimalizovat náklady na materiál, nástroje, provoz a údržbu, což přispívá k celkové ekonomické efektivitě výroby. Správně zvolená technologie musí být schopna plnit požadované parametry vyrobitelnosti a zároveň minimalizovat ztráty a neefektivní práci. [4]

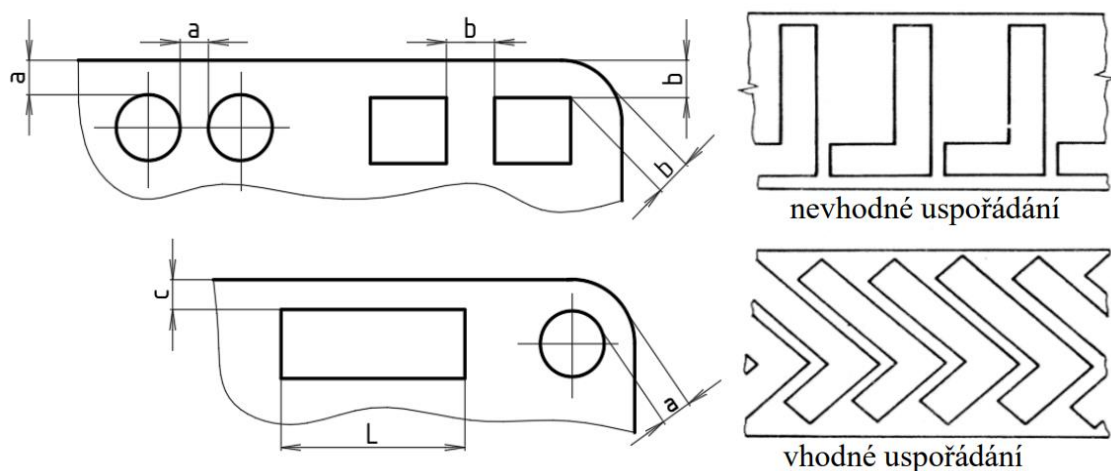
5.1 Technologičnost při stříhání

Vytvoření tvaru součásti by mělo být nejen funkční, ale také jednoduché a esteticky pohledné. Zvýšená přesnost je důležitá pouze u rozměrů ovlivňujících funkčnost nebo návaznost na další součásti. Při stříhání je třeba zohlednit dostupnost, cenu a zpracovatelnost materiálu, stejně jako kvalitu jeho povrchu. Důležitým aspektem je minimalizace výrobních tolerancí u vnějších rozměrů a otvorů, aby byla zajištěna cenově dostupná a snadná výroba. Z praxe je známo, že zvýšení přesnosti výstřižků představuje dodatečné náklady, a proto je třeba pečlivě zvážit, zda je to nutné. [4]

Výrobní proces je ovlivněn uspořádáním součástí na pásu plechu, které zpracovává technolog do nástřihového plánu. Například symetrické tvary usnadňují uspořádání a minimalizují ztráty materiálu. Při návrhu výstřižků do nástřihového plánu je nutné brát v úvahu různé technologické aspekty, jako je přesnost výstřižků, minimální vzdálenosti otvorů od sebe, vzdálenost otvorů od vnější hrany součásti, stanovení správného kroku a další. Správné technologické rozměry lze určit dle tabulky 3. a obr. 24. [4]

Dále je vhodné volit kruhové otvory při děrování a minimalizovat zbytečné geometrické tolerance. Při stříhání je také důležité dbát na správné zaoblení nebo sražení rohů výstřižku, a předejít tím nežádoucím jevům a deformacím. Přesnost výstřižků se pohybuje v tolerancích od IT14 až IT12 pro konvenční stříhání, až po IT6 pro přesné stříhání. Minimální velikost

otvoru je dána tloušťkou stříhaného materiálu a konstrukcí stříhacího nástroje, například kruhový otvor musí být větší než 1 mm u tvrdé oceli a 1,5 mm u měkké oceli. [4]



Obr. 24 Technologické parametry u stříhání [4].

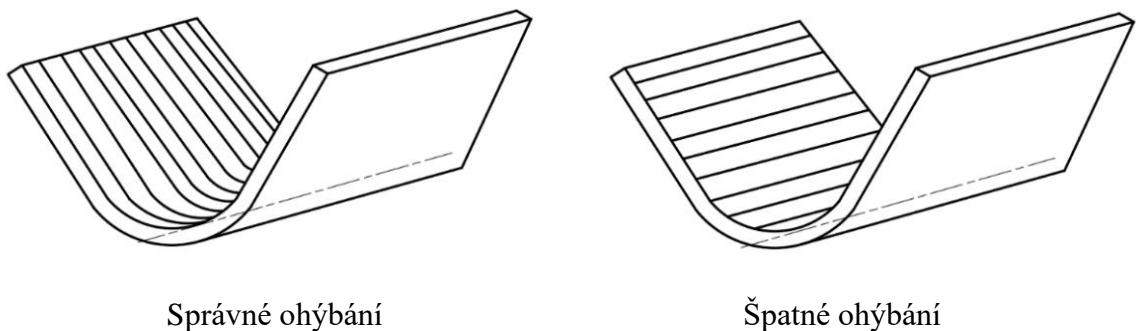
Tab. 3 Rozměry pro technologické parametry u stříhání. [4]

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

5.2 Technologičnost při ohýbání

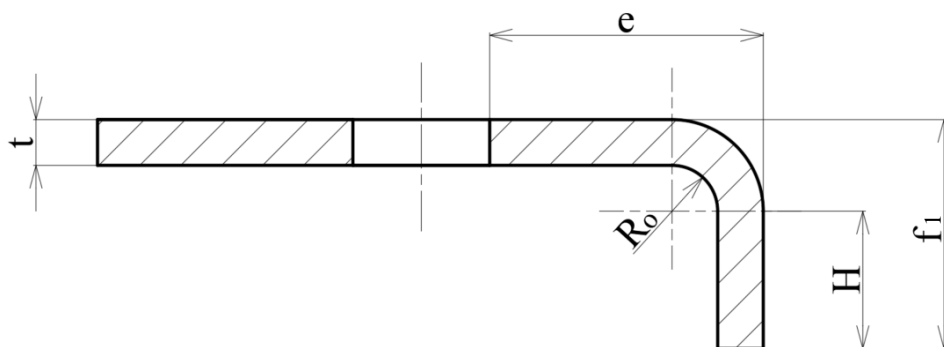
Technologičnost ohýbání zahrnuje mnoho důležitých faktorů, které ovlivňují průběh ohybu. Patří sem konstrukce a tvar ohýbané součásti, rovnoměrnost tloušťky plechu, přesnost použitých nástrojů a samozřejmě vlastnosti materiálu. Tyto faktory mají vzájemný dopad na úspěšnost a kvalitu ohybu. [4]

Při výrobě polotovarů (plechových tabulí a svitků) dochází v materiálu dle postupu tváření k usměrňování vláken určitým směrem. Při následném návrhu součástí pro ohýbání by se měly díly z polotovaru vytvářet tak, aby poloměr ohybu byl kolmo na směr toku vláken (obr. 25). Pokud je poloměr ohybu rovnoběžně s tokem vláken, snižuje se tažnost plechu a tím zvětšuje minimální poloměr ohybu. V případě, že se tok vláken shoduje s poloměrem ohybu, měl by se poloměr ohybu z důvodu bezpečnosti uvažovat dvojnásobný ($R_{\min} \cdot 2$). Pokud jsou vlákna k ohybu otočena o 45 stupňů, zvětší se bezpečnost jeden a půl krát ($R_{\min} \cdot 1,5$). [4]



Obr. 25 Ohýbání dle směru vláken [4].

Další z důležitých faktorů při ohýbání je vzdálenost děr, otvorů a výřezů od hrany ohybu. V místě ohybu totiž dochází k hromadění napětí a příliš blízké otvory mohou být znatelně zdeformovány natažením. Dle vztahu ($e \geq R_o + 2 \cdot t$) lze ověřit dostatečnou vzdálenost hrany ohybu s otvorem (obr. 26). Sleduje se také minimální velikost ramene f_1 , jenž závisí na druhu ohybníků a matric. [4]



Obr. 26 Technologické parametry při ohýbání [4].

6 MATERIÁLY NÁSTROJŮ

Nástroje se obecně vytvářejí z ocelí třídy 19. tzn. z nástrojové oceli. Jejich bližší určení specifikují další číslice v číselném označení, tj. určité chemické složení, tepelné zpracování a mechanické vlastnosti oceli. Podle těchto vlastností lze volit konkrétní typ pro určité použití, např. pro výrobu zápustek bucharů, střížníků a střížnic, vrtáků, obráběcích nožů, ruční nástroje atd. Podle třetí číslice v číselném označení mohou být oceli označeny podle druhu legur na uhlíkové (19 0xx až 19 2xx), legované (19 3xx až 19 7xx) a rychlořezné (19 8xx) (tab. 4), ty mají klíčový vliv na mechanické vlastnosti a použití. [20; 21]

Tab. 4 Rozdělení ocelí třídy 19. dle třetí číslice základní číselné značky. [20]

Třetí číslice	Druh oceli podle druhu legování
0, 1, 2	nelegované oceli
3	oceli legované Mn, Si, V, Mn-Si, Mn-V, Mn-Cr-V, Mn-Cr-W-V
4	oceli legované Cr, Cr-Mn, Cr-Al, Cr-V, Cr-Si, Cr-Mn-V, Cr-Si-V, Cr-WV, Cr-Mn-Si-V
5	oceli legované Cr-Mo, Cr-Mo-Mn, Cr-Mo-V, Cr-Mo-Si-V, Cr-Mo-W-V, Cr-Mo-Ni-V-Co, Cr-Mo-W-Si-V
6	oceli legované Ni-Cr, Ni-Cr-V, Ni-Cr-W, Ni-Mo-Cr, Ni-Cr-Mo-V, Ni-CrW-V, Ni-Cr-W-Mo, Ni-Cr-W-Si, Ni-Cr-W-Si-V
7	oceli legované W, W-Cr, W-V, W-Cr-Mn, W-Cr-Si, W-Cr-V, W-Cr-Si-V, W-Cr-Ni-V, W-Cr-V-Co
8	oceli legované W-Cr-V, W-Cr-Mo-V, W-Cr-V-Co, W-Cr-Mo-V-Co
9	speciální oceli, jako např. vytvrzované typu Ni-Co-Mo-Ti

Uhlíkové oceli, zastoupené především oceli 19 083, 19 132 a 19 192, charakterizuje vysoký obsah uhlíku nad 0,7 %. Jsou ideální pro aplikace, kde není vysoká tepelná zátěž. Tyto oceli se často využívají pro výrobu ručního a montážního nářadí, nástroje na obrábění dřeva, prvky forem typu dorazy, vodící pouzdra, sloupky dále pro výrobu měřidel a méně pevnostně a tepelně namáhané nástroje pro tváření jako jsou ohybníky, zakružovadla stříhadla. Díky svému složení poskytují dostatečnou tvrdost a odolnost v běžných pracovních podmínkách. [20; 21]

Slitiny ocelí, jako jsou oceli 19 312, 19 422, 19 423, 19 426, 19 436 a 19 452, obsahují legující prvky typu chrom či molybden, které zvyšují jejich pevnost a odolnost. Tyto oceli jsou vhodné pro nástroje, které jsou vystaveny větší tepelné zátěži, jako jsou nástroje na obrábění kovů a formování materiálů. Legované prvky umožňují dosažení požadovaných vlastností v nástrojích provozovaných v náročných podmínkách. Konkrétní použití naleznou

u střížníků, střížnic, forem pro tváření plastů, nástrojů pro obrábění kovů menších pevností, zápusky pro buchary, chirurgických nástrojů apod. [20; 21]

Rychlořezné oceli, mezi něž patří oceli 19 811 a 19 830, jsou charakterizovány vyšším obsahem legujících prvků, jako je wolfram a molybden. Tyto oceli jsou navrženy pro nástroje, které vyžadují vysokou tvrdost a odolnost při vysokých teplotách. Často se využívají v průmyslových odvětvích pro výrobu vrtáků a fréz, kde je klíčová kombinace tvrdosti, odolnosti a otěru vzdornosti. [20; 21]

Speciální oceli třídy 19, jako jsou oceli 19 911, 19 922 a 19 933, jsou vysoce výkonné materiály, které se vyznačují extrémně vysokou pevností, tvrdostí a odolností proti opotřebení. Obsahují speciální legující prvky, jako je kobalt, nikl nebo titan, které zlepšují mechanické vlastnosti oceli a umožňují dosažení požadovaných vlastností pro nadstandartní podmínky při vysokých teplotách, agresivním prostředí či kontaktu s jinými tvrdými materiály. [20; 21]

Kromě tradičních kovů se pro výrobu nástrojů často využívají i jiné materiály, které poskytují specifické vlastnosti pro různé aplikace. Mezi tyto materiály patří např. slinuté karbidy a keramika. [20; 21]

Slinuté karbidy, známé také jako tvrdokovy, jsou vysoce tvrdé a odolné materiály, které se skládají z karbidu kovu (nejčastěji wolframu) spojeného s pojivem (nejčastěji kobaltu). Tyto materiály jsou ideální pro výrobu řezných nástrojů, fréz, vrtáků a dalších nástrojů používaných v obrábění kovů, dřeva a kompozitních materiálů.

Keramika je známá pro svou vysokou tvrdost, odolnost proti opotřebení a chemickou inertnost. Tyto vlastnosti ji činí ideální volbou pro nástroje používané v prostředích s vysokými teplotami, jako jsou vysokorychlostní řezné nástroje a části forem pro tlakové lití kovů. [20; 21]

7 MATERIÁLY PRO TVÁŘENÍ

Při selekci kovů ke tváření je nejprve nutné zhodnotit jejich mechanické vlastnosti a chemické složení (tab. 5). Uhlíkové oceli, jsou obvykle primární volbou pro tváření, díky jejich vysoké tvářitelnosti a dostupnosti. Nižší obsah uhlíku obvykle znamená lepší tvářitelnost, zatímco vyšší obsah zvyšuje pevnost, ale tvářitelnost může výrazně zhoršit. [20]

Tab. 5 Vybrané materiály vhodné ke tváření. [20]

Materiál		R_e [MPa]	R_m [MPa]	Z_l [-]	A_a [%]	r [-]	n [-]	k_s [MPa]	Erichs [-]
Oceli	11 301	230	250	0,82	31	1,055	0,223	230	6,8
	11 305	220	300	0,73	36	1,613	0,257	240	8,9
	11 321	240	290	0,85	29	1,511	0,223	240	6,6
	11 325	240	290	0,85	30	1,511	0,223	240	8,3
	11 361	260	290	0,86	25	1,511	0,223	240	8,3
	17 041	245	450	0,60	25	1,151	0,223	120	7,8
	17 241	200	540	0,36	45	1,09	0,44	520	14,7
Slitiny mědi	CuSn6	120	300	0,4	45	0,75	0,45	300	14,6
	Cu99,5	50	190	0,5	30	0,70	0,35	180	10,5
	Ms63	120	300	0,40	45	0,75	0,45	260	14,6
Slitiny hliníku	Al99,5	45	110	0,4	25	0,9	0,25	80	10,5
	AlCuMg	45	250	0,4	10	0,9	0,25	80	10,5
	AlMg2	110	280	0,4	16	0,82	0,32	140	7,0
	AlMn1	55	150	0,36	20	0,85	0,18	80	10,0
	AlMgSi	55	140	0,36	20	0,85	0,18	80	10,0

Kde:

R_e – mez kluzu [MPa],

R_m – pevnost [MPa],

Z_l – kontrakce [-],

A_a – tažnost [%],

r – exponent normálové anizotropie [-],

n – exponent zpevnění [-],

k_s – sřižný odpor [MPa],

Erichs – hodnota Erichsenovy zkoušky [MPa].

Nízkolegované oceli, se vyznačují příměsí legujících prvků, jako je chrom a molybden. Tato legování poskytují vyšší pevnost a tváritelnost, což je ideální pro aplikace s vyššími nároky na mechanické vlastnosti. Vysokolegované oceli mají vyšší obsah legujících prvků, což zvyšuje jejich odolnost proti korozi a mechanické vlastnosti. Tyto oceli jsou často používány v agresivních prostředích nebo v aplikacích vyžadujících vysokou pevnost. [20]

V případě neželezných kovů je hliník často preferovanou volbou pro svou lehkost, vysokou tvarovatelnost a odolnost proti korozi. Slitiny hliníku jsou běžně používány v leteckém průmyslu a výrobě automobilů. Pro tváření mědi se často používá elektrotechnická měď s vysokou elektrickou vodivostí, což je ideální pro výrobu elektrických komponent. [20]

U vybraných materiálů je nutné posoudit jednotlivé mechanické vlastnosti. Ty jsou zásadní pro úspěšné provedení tvářecích operací a dosažení požadovaných vlastností výsledného výrobku. Mez pevnosti a mez kluzu jsou klíčové charakteristiky materiálu, které určují jeho odolnost vůči deformaci a začátek plastického chování. Mez pevnosti je maximální napětí, které materiál dokáže snést před trvalou deformací, zatímco mez kluzu je napětí, při kterém začíná materiál plasticky deformovat. Ideální materiál k tváření je takový, který má nízkou mez kluzu a vysokou mez pevnosti. V tomto rozmezí dochází ke tváření. [20]

- Kontrakce a tažnost jsou další důležité vlastnosti, které ovlivňují chování materiálu během tváření. Kontrakce udává míru smrštění materiálu při tváření, zatímco tažnost je schopnost materiálu deformovat se bez praskání či trhání. [20]
- Exponent normálové anizotropie popisuje míru, do jaké se materiál chová anizotropně v závislosti na směru deformace, to znamená, že materiál má různé mechanické vlastnosti v různých směrech tváření. Vyšší hodnota tohoto exponentu naznačuje větší anizotropii materiálu, z čehož vyplývá, že jeho mechanické vlastnosti jsou více závislé na směru deformace. [20]
- Exponent zpevnění charakterizuje změnu pevnosti materiálu s rostoucím plastickým namáháním, což má vliv na jeho odolnost a schopnost odolat deformaci během tváření. [20]
- Střížný odpor je důležitý při stříhání materiálu a ovlivňuje stabilitu a kvalitu. Jedná se o mechanickou sílu, kterou je nutné překonat při stříhání materiálu. [20]
- Hodnota Erichsenovy zkoušky měří deformaci materiálu při zatížení a poskytuje informace o jeho tváritelnosti a schopnosti tvarování. Vyšší hodnota Erichsenovy zkoušky naznačuje lepší tváritelnost materiálu. [20]

8 TEPELNÉ ZPRACOVÁNÍ TVÁŘECÍCH NÁSTROJŮ

Tepelné zpracování tvářecích nástrojů je důležitým prvkem v procesu jejich výroby, který ovlivňuje jejich mechanické vlastnosti a celkovou životnost. Cílem této úpravy je dosáhnout optimální kombinace tvrdosti, pevnosti, pružnosti a odolnosti vůči opotřebení, což je nezbytné pro spolehlivý průběh tvářecího procesu. Podle materiálu tvářecího nástroje a požadovaných mechanických vlastností lze použít různé druhy tepelného zpracování. [22]

8.1 Kalení

Kalení je tepelný děj, během kterého se kovový materiál, jako je například ocel, zahřívá na vysokou teplotu, následně drží na této teplotě po určitou dobu a poté rychle ochlazuje. Tím dochází k přeměně mikrostruktury materiálu a dosažení požadovaných mechanických vlastností. [22]

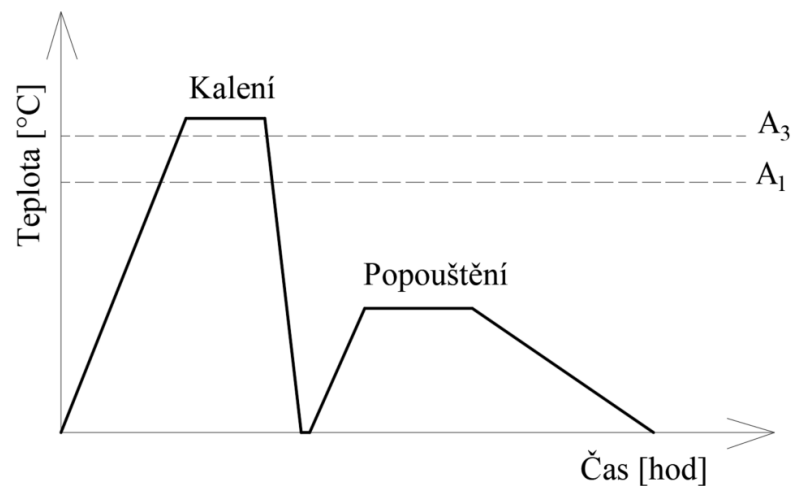
Teplota ohřevu pro kalení tvářecích nástrojů se obvykle pohybuje v rozmezí 750-950 °C pro oceli s nízkým a středním obsahem uhlíku, až po 1000-1200 °C pro vysoce legované oceli. Tato teplota je pečlivě kontrolována, aby se dosáhlo homogenního ohřevu. [22]

Po dosažení požadované teploty se nástroj udržuje na této teplotě po dobu, která závisí na tloušťce a složení materiálu, ale obvykle se pohybuje v řádu minut. Tento krok umožňuje dostatečně dlouhou dobu pro rovnoměrné prohřátí materiálu a difuzi uhlíku nebo dalších legujících prvků v kovu, což je klíčové pro dosažení požadované mikrostruktury. [22]

Po fázi udržení teploty následuje rychlé chlazení nástroje. Tento krok je kritický, protože rychlým ochlazením se zabrání rekrytalizaci materiálu a vytvoření měkkých zrn. Chlazení může probíhat ve vodě, oleji nebo vzduchu v závislosti na požadovaných vlastnostech a konstrukci nástroje. [22]

Výsledkem kalení má za následek zvýšení tvrdosti a pevnosti nástroje. Tvrdost dosažená kalením se obvykle měří pomocí různých metod, jako je například Rockwellova, Brinellova nebo Vickersova tvrdost. [22]

Po kalení může následovat popouštění. To má za cíl snížit vnitřní napětí v materiálu, které mohou vzniknout během kalení a zlepšit tak pevnost či pružnost nástroje. Popouštění spočívá v ohřevu materiálu na teplotu 150-600 °C. Výdrž na této teplotě což umožní relaxaci materiálu a snížení napětí. V poslední fázi přichází chladnutí, jehož rychlost je obvykle nižší než při kalení, což umožňuje postupné uvolňování napětí v materiálu (obr. 27). [22]



Obr. 27 Průběh kalení. [22]

8.2 Cementování

Cementování je tepelný proces, který se používá k povrchové úpravě ocelí s cílem zvýšit jejich tvrdost a odolnost vůči opotřebení. Tento proces zahrnuje difuzi uhlíku do povrchové vrstvy oceli za vysokých teplot, čímž se vytváří karbidy a zvyšuje tvrdost materiálu. Tvrdost povrchu po cementaci dosahuje až 800 HV. [22]

Průběh cementování začíná předehřátím kovového materiálu na teplotu kolem 850-950 °C, což je optimální teplota pro difuzi uhlíku do povrchové vrstvy. Poté je materiál vystaven proudícímu uhelnému plynu nebo prášku obsahujícímu uhlík, který proniká do povrchové vrstvy materiálu. [22]

Doba, po kterou je materiál vystaven cementačnímu prostředí, závisí na požadované tloušťce povrchové vrstvy a na požadovaných mechanických vlastnostech. Obvykle se pohybuje v rozmezí několika hodin až několika dnů. Běžně lze cementovat do tloušťky materiálu mezi 0,1 až 2 mm. [22]

Po ukončení procesu cementování následuje fáze chlazení materiálu. Tento krok umožňuje pevně spojit uhlík s povrchovou vrstvou oceli a vytvořit karbidovou strukturu. [22]

Výsledkem cementování je tvrdá a odolná povrchová vrstva, která zlepšuje odolnost nástroje vůči opotřebení a abrazi. Tento proces je často používán v případech, kdy je vyžadována kombinace tvrdosti povrchu a vysoké pevnosti základního materiálu. [22]

Po cementování se může následně součást také kalit. Důvodem je to, že cementace se zaměřuje na povrchovou vrstvu materiálu a přidává do ní uhlík, čímž zvyšuje tvrdost a

odolnost povrchu. Naopak kalení je proces, který ovlivňuje materiál do mnohem výraznější hloubky. [22]

8.3 Nitridování

Nitridování je povrchový tepelný proces, který se používá ke zlepšení mechanických vlastností kovových materiálů, zejména ocelí. V tomto procese dochází k difuzi dusíku do povrchové vrstvy materiálu za vysokých teplot, což vede k tvorbě pevných nitridů, které zvyšují tvrdost a odolnost vůči opotřebení. [22]

Průběh nitridování začíná přehřátím kovového materiálu na teplotu v rozmezí 500-600 °C pro konvenční nitridování nebo až 950-1200 °C pro plynné nitridování. Po dosažení požadované teploty je materiál vystaven dusíkovému prostředí, jako je například amoniak (NH₃), který obsahuje dusík. Dusík proniká do povrchové vrstvy a reaguje s kovovými atomy, čímž vytváří nitridy, jako je například želez nitrid (Fe₃N) u ocelí. [22]

Doba, po kterou je materiál vystaven dusíkovému prostředí, závisí na tloušťce a požadovaných mechanických vlastnostech. Může trvat až 60 hodin. Tloušťka nitridované vrstvy bývá 0,2-0,6 mm. [22]

Po ukončení nitridování následuje fáze chladnutí materiálu. Tento krok umožňuje pevně spojit dusík s povrchovou vrstvou materiálu a vytvořit nitridovou strukturu. Dosahuje se tvrdosti až 1200 HV (Vickersova stupnice tvrdosti). [22]

Nitridování se provádí především pro zvýšení odolnosti povrchu vůči opotřebení, abrazi a koroznímu působení, což je obzvláště užitečné pro součásti, které jsou vystaveny náročným podmínkám. Kalení je následně použito k úpravě celkových mechanických vlastností materiálu a zajištění jeho správné tvrdosti a pevnosti. [22]

9 TVÁŘECÍ STROJE – LISY

Lis je tvářecí stroj, který slouží k formování materiálu tlakem. Využívá se především v kovovýrobě, ale i v jiných odvětvích průmyslu. Jeho základním principem je aplikace síly na materiál, který je umístěn mezi dvěma lisovacími nástroji (maticí a razníkem), aby se dosáhlo požadovaného tvaru nebo rozměrů. Lisování může probíhat za studena, za tepla nebo za vyšších teplot. Lisy podle konstrukce rozdělujeme na dva základní typy, a to mechanické a hydraulické. [23; 24]

Základními faktory, které se zvažují při volbě lisu jsou maximální síla, zdvih, přesnost, rozměry výrobku a pracovního stolu lisu, rychlost zdvihu nebo typ upínání. Následuje ekonomické hledisko typu pořizovací cena stroje, cena náhradních dílů a příslušenství, či náklady na údržbu. Dále se musí brát v úvahu univerzálnost čili možnost přestavby lisu na jiný druh výrobní technologie a možnosti ji automatizovat. V neposlední řadě se může také posuzovat hluk, ovládání nebo estetický vzhled. [23; 24]

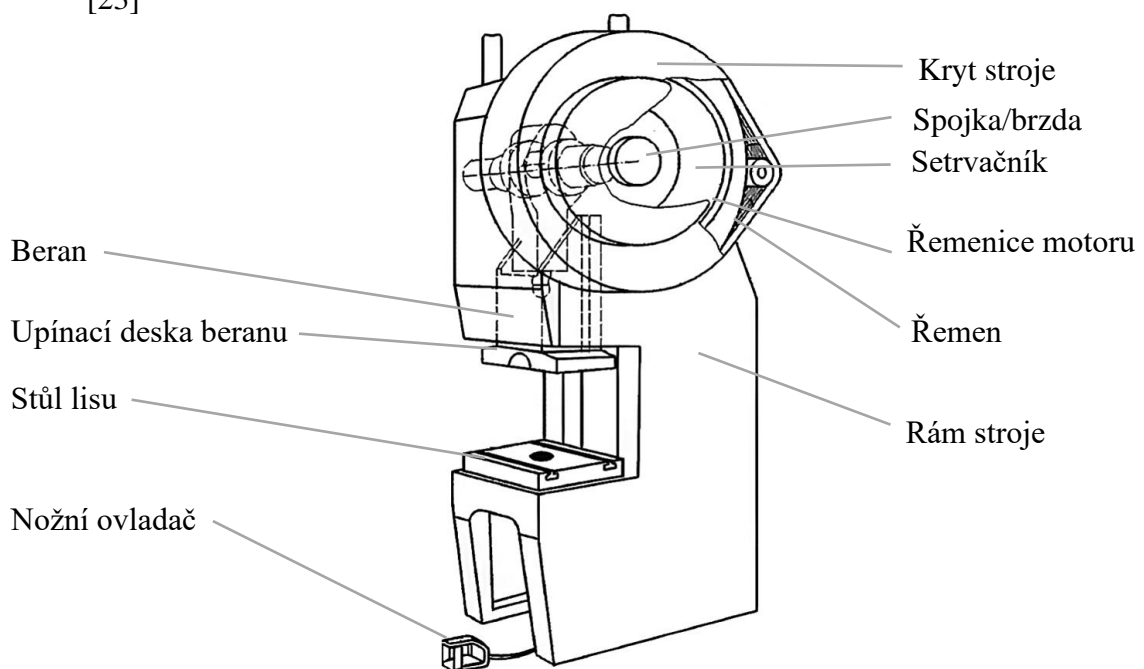
Hydraulické lisy využívají kapalinový systém ke generování síly, která je přenášena na lisovací nástroj. Tento systém umožňuje dosáhnout obrovských sil, proto jsou tyto lisovací stroje často schopny zpracovávat tlustší materiály. Tvářecí síly mohou být až 450 MN. Hydraulická konstrukce v podobě např. pístu také umožní vysoký zdvih nástroje. Nicméně hydraulické lisy vyžadují pravidelnou údržbu kvůli složitému hydraulickému systému a náchylnosti k únikům kapaliny. Také rychlost beranu zdvihu bývá poměrně nízká. [23; 24]

Mechanické lisy (obr. 28) využívají mechanický mechanismus, jako je například klikový nebo excentrický, k přenosu síly na lisovací nástroj. Tento mechanismus umožňuje dosažení vysoké rychlosti a přesnosti pohybu, což je výhodné pro rychlé a opakované operace jako je např. potřebné u stříhání. Mechanické lisy jsou obecně spolehlivější a vyžadují méně údržby než hydraulické lisy. Tyto stroje jsou obvykle schopny generovat sílu v rozsahu několika tisíc až desítek tisíc kilogramů, to je dostačující pro většinu tvářecích operací. Avšak, mechanické lisy jsou často specializovanější na určité tvářecí operace a materiály, čímž může být omezena jejich flexibilita v porovnání s hydraulickými lisovacími stroji. Výška zdvihu beranu bývá také omezená, proto jsou tyto lisy vhodné na tváření tenkých součástí a plechů. V úvahu se také musí brát fakt, že síla není konstantní v celém zdvihu ale závislá na poloze beranu. Nejvyšší síla se dosahuje v dolní úvratí (na konci zdvihu). [23; 24]

U lisů se mimo technické parametry musí posuzovat a dbát na bezpečnost při práci. Norma ČSN (Česká státní norma) stanovuje požadavky na bezpečnost lisů, aby byla

minimalizována rizika pracovních úrazů a ochráněno zdraví pracovníků. Tato norma obsahuje několik klíčových bodů týkajících se bezpečnosti lisů. [23; 24]

- Prvním bodem jsou konstrukční požadavky, které vyžadují, aby lis byl navržen tak, aby minimalizoval riziko zranění, jako je sražení, úrazy na rukou a prstech, nebo uvíznutí pracovníků. To zahrnuje vhodné zabezpečení všech pohyblivých částí stroje, včetně lisovacího mechanismu a nástrojů. Musí se použít prvky, jako jsou zábrany, závěsy a ochranné kryty. Tyto prvky musí být snadno dostupné a uživatelsky přívětivé. [23]
- Druhým bodem je zabezpečení proti samovolnému spuštění, což zahrnuje mechanismy, které zabrání samovolnému spuštění stroje, například nouzová zastavovací tlačítka, bezpečnostní pojistky nebo elektronické senzory. [23]
- Třetím bodem je vzdělávání a školení pracovníků, kteří obsluhují lis. Ti musí být řádně vyškoleni k bezpečnému používání stroje a v provádění preventivních opatření proti pracovním úrazům, včetně školení k manipulaci s lisovacími nástroji, provádění údržby a identifikaci rizikových situací. [23]
- Posledním bodem je pravidelná revize a údržba lisů, které zahrnují nezbytné kontroly mechanických součástí, hydraulických a elektrických systémů a prověrku ochranných prvků, aby se zajistila jejich bezpečná a spolehlivá provozuschopnost. [23]

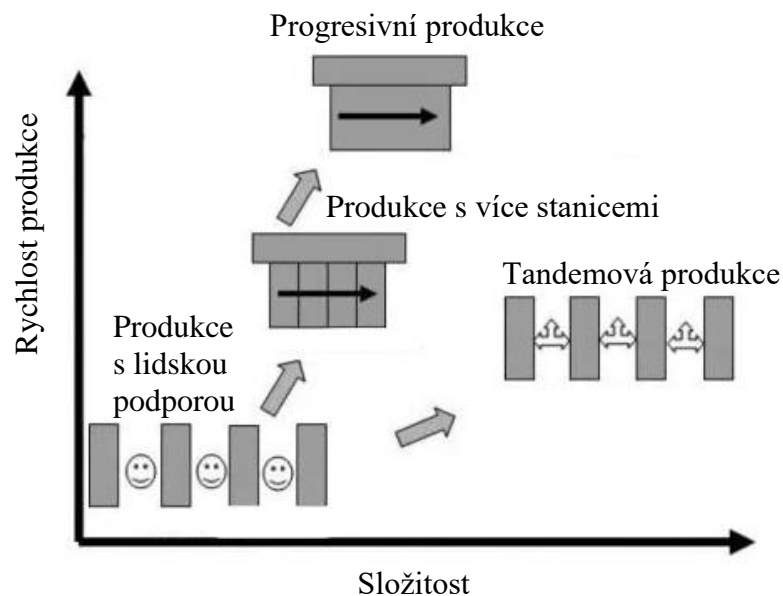


Obr. 28 Příklad mechanického lisu [23].

10 VÝROBNÍ LINKY PRO TVÁŘENÍ

V tradičních lisovacích výrobních linkách se manipulace s materiálem mezi předním a zadním zařízením provádí ručně. S rostoucím tempem výroby se ruční práce nejen nestíhá, ale představuje také potenciální bezpečnostní rizika. Z toho důvodu se začaly vyvíjet a používat výrobní linky tvořící řadu strojů, kroků a činností díky kterým jsme schopni nejen zmenšit bezpečnostní rizika, ale také násobně zvýšit rychlost nebo kvalitu výroby (obr. 29). [25]

Výrobní linky podle složitosti výrobku, velikosti výrobní série a dalších faktorů lze rozdělit do několika kategorií, kterými jsou linky s lidskou podporou, linky s více stanicemi, tandemové linky a progresivní linky. [25]



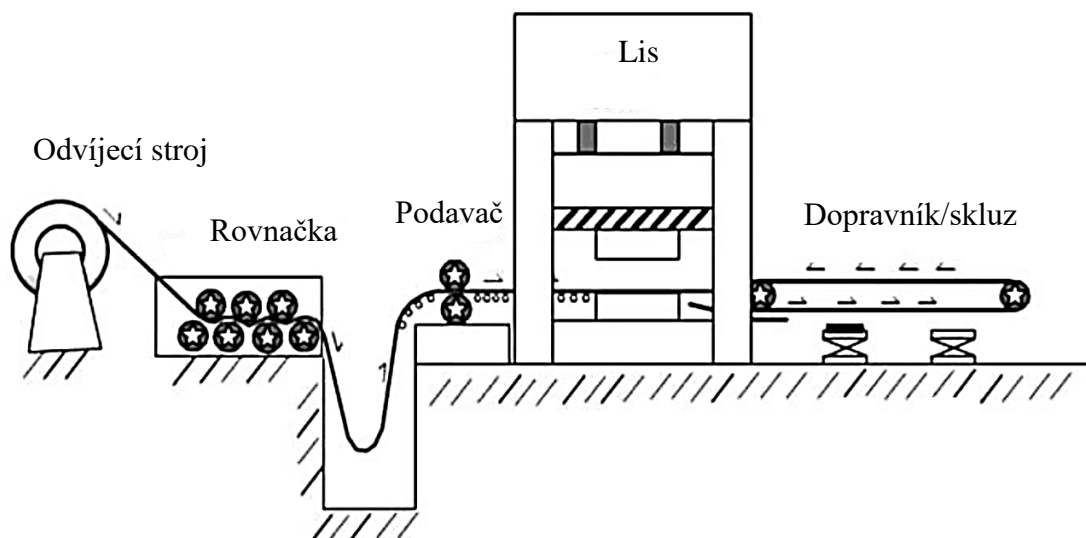
Obr. 29 Typy výrobních linek [25].

- Výrobní linky s více stanicemi – Obvykle se jedná o výrobní linku s více nástroji na jednom velkotonážním lisovacím stole. Přesun polotovaru mezi nástroji se realizuje pomocí automatizovaného podavače. Má nižší rychlost tváření v srovnání s progresivní výrobní linkou lisovacích nástrojů, ale vyšší rychlost než tradiční tandemová výrobní linka. Může obsahovat řadu senzorů pro detekci materiálu, senzory uchopení, senzory forem atd. což zajišťuje vysokou bezpečnost. Kladou se přísné požadavky na podávání materiálu mezi nástroji, jejichž tok musí být konzistentní (obr. 32). [25]

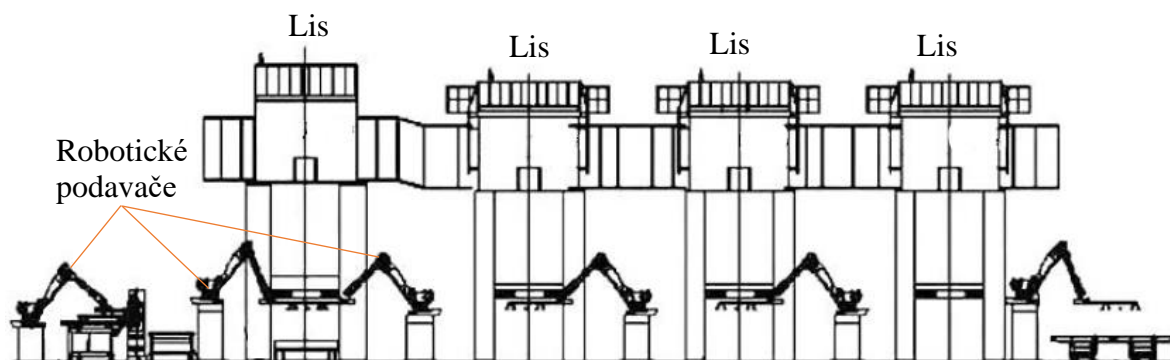
- Tandemová linka – Automatizovaná výrobní linka je tvořena uspořádáním více lisů v sérii. Každý lisovací stůl pojme až dvojici forem, což představuje jednu fázi výrobního procesu. Nakládku, přesun zpracovaných dílů, vykládku a balení provádí automatická mechanická ruka nebo robot (obr. 31). [25]
- Progresivní linka – linka, která využívá progresivní tváření a typicky se skládá z odvíjecího podavače, rovnače, postupového nástroje v lisu a odebíracího zařízení. Nejdůležitější součástí je progresivní nástroj, který tváří polotovary v mnoha krocích. Každý krok je vzájemně propojen za účelem provádění různých úloh zpracování, jako je děrování, ořezávání, tvarování, vysekávání, ohýbání atd. Po dokončení jednoho zdvihu podavač posune pás materiálu o pevný krok (obr. 30). [25]

Tab. 6 Typy výrobních linek. [25]

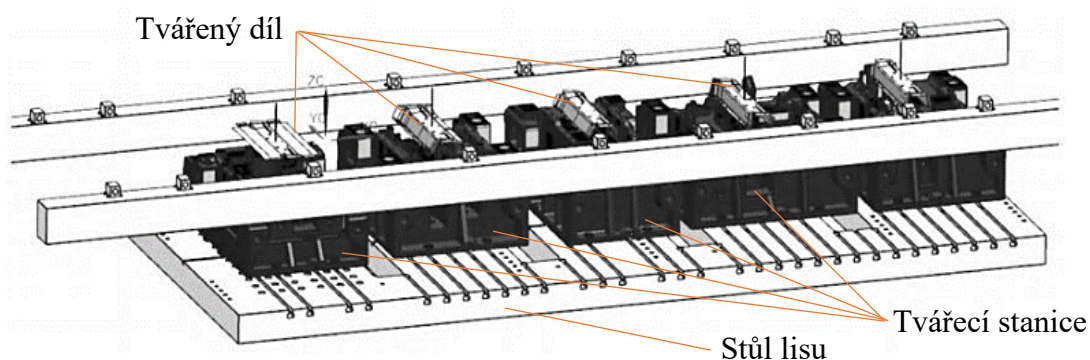
	Výhody	Nevýhody	Aplikace
Progresivní linka	Vysoká účinnost a rychlost výroby. Malé rozměry výrobní produkce.	Horší využití materiálu. Vhodné pouze pro malé a konkrétní díly. Nástroje jsou velké a náročné na ladění.	Malé konstrukční díly s vysokou poptávkou.
Linka s více stanicemi	Vysoká úroveň efektivity automatizace. Schopnost vyrábět širokou škálu produktů. Vysoké využití materiálů. Vybaveno mnoha automatickými bezpečnostními detekčními zařízeními.	Kombinovaná instalace forem a nástrojů s více stanovišti vede k nepohodlnému ladění a údržbě. Výrobní linky mají nízkou zaměnitelnost a vyžadují specifické formy pro výrobu na jedné lince.	Součásti, jenž mají pravidelný tvar a snadno se upínají mezi stanicemi. Díly s větší poptávkou.
Tandemová linka	Vysoká zaměnitelnost výrobní linky. Snadné ladění a údržba. Vysoké využití materiálu.	Obsáhlý půdorysný rozměr výrobní linky. Nízká efektivita výroby.	Velké a krycí díly. Díly s komplikovanou technologií a vysokými požadavky na kvalitu.



Obr. 30 Schéma progresivní výrobní linky [25].



Obr. 31 Schéma tandemové linky [25].



Obr. 32 Výrobní linka s více stanicemi na jednom stole lisu [25].

11 SDRUŽENÉ NÁSTROJE

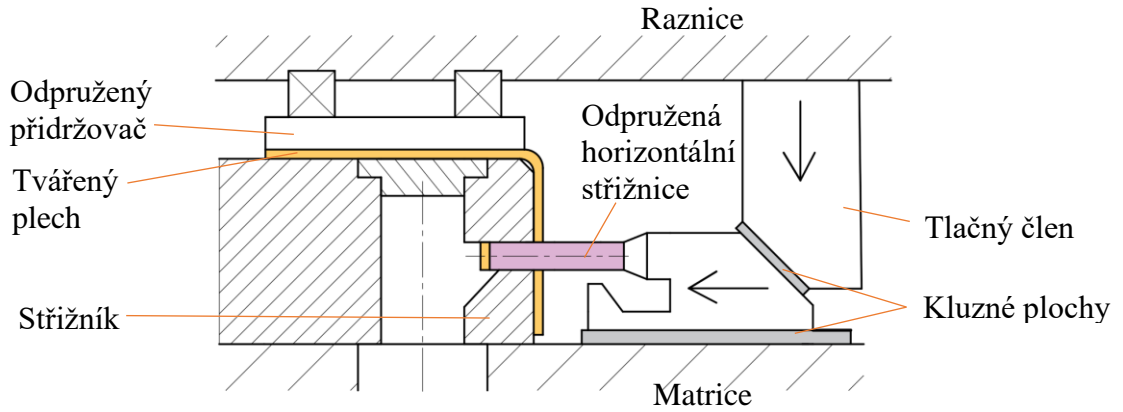
Sdružený střížný nástroj (obr. 35) představuje zařízení schopné integrovat a provádět více tvářecích operací při využití jednoho stroje (lisu). Tento nástroj umožňuje kombinaci různých procesů, jako je stříhání, ohýbání, tažení a ražení. Konstrukce těchto nástrojů je obvykle složitější a jejich pořizovací náklady jsou vyšší v porovnání s konvenčními nástroji. Nicméně použitím těchto sdružených nástrojů lze dosáhnout zvýšené výrobní produktivity, snížení nákladů na výrobu součástí a eliminaci potřeby mezioperačních přeprav. Tím dochází k optimalizaci výrobního procesu a zlepšení celkové efektivity výroby. [26; 28]

Sdružený nástroj lze rozdělit na dvě základní části a to pevnou (matrici) a pohyblivou (raznici). Raznice vykonává přímočarý pohyb, který je vytvářen lisem, ke kterému je raznice upevněna. Matrice je většinou pevně spojena se stolem lisu. Důležité je, aby při tváření raznice přesně udržovala svoji polohu vůči razníku, tomu dopomáhají vodící sloupky nejčastěji umístěné na stranách nástroje. Do středu nástroje je postupnými kroky zaváděn polotovar (plechový svitek) a tvářen dílčími nástroji. Pro přesné zavádění polotovaru se na nástroj umisťují vodící elementy, lišty nebo hledáčky, jejich funkcí je zabránit stranovému posunutí polotovaru. Dále součástí nástroje bývají odpružené přidržovače, ty zabraňují vlnění polotovaru během tváření a také pevně ustavují jeho polohu (obr. 35). [26; 28]

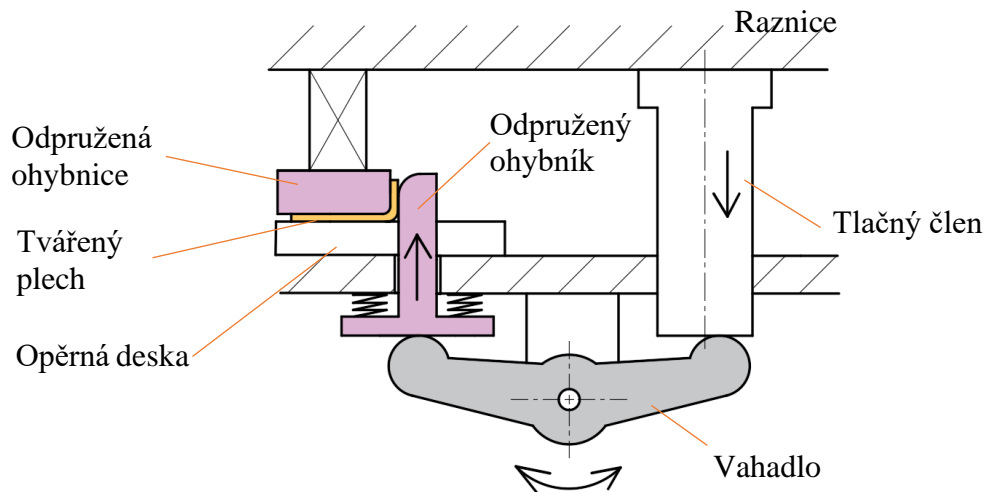
Přestože raznice připevněná k beranu lisu je schopná vytvářet pouze přímočarý pohyb směrem dolů, pomocí jednoduchých mechanismů lze tento pohyb konvertovat na různé jiné pohyby, pokud to složitost a návrh výrobního postupu vyžaduje. [4; 26]

- Horizontální pohyb – tohoto pohybu se dosáhne pomocí tlačného prvku, jenž je pevně spojen s raznicí. Tlačný prvek má na svém konci kluznou plochu zkosenou o 45 stupňů, touto plochou při svislém pohybu dolů začne působit na zkosenou plochu těla střížnice. Střížnice je uložena na kluzném vedení a pomocí tlačného členu vykonává horizontální pohyb. V dolní úvratí pohybu lisu tímto způsobem dochází k zatlačení střížnice do střížníku. Pokud se raznice začne vracet do horní úvratě, posouvá se horizontální střížnice směrem od střížníku, toho je dosaženo pomocí pružiny. Tímto způsobem lze také dosáhnout horizontálního ohýbání (obr. 33). [26]
- Zpětný pohyb – tohoto pohybu se docílí pomocí tlačného prvku, který při vertikálním pohybu beranu lisu začne působit na vahadlo. Vahadlo kyvným pohybem přenáší sílu z tlačného členu na odpružený ohybník, čímž dosáhneme zpětná pohyb směrem vzhůru. Při vratném pohybu beranu přestává tlačný element působit na vahadlo a

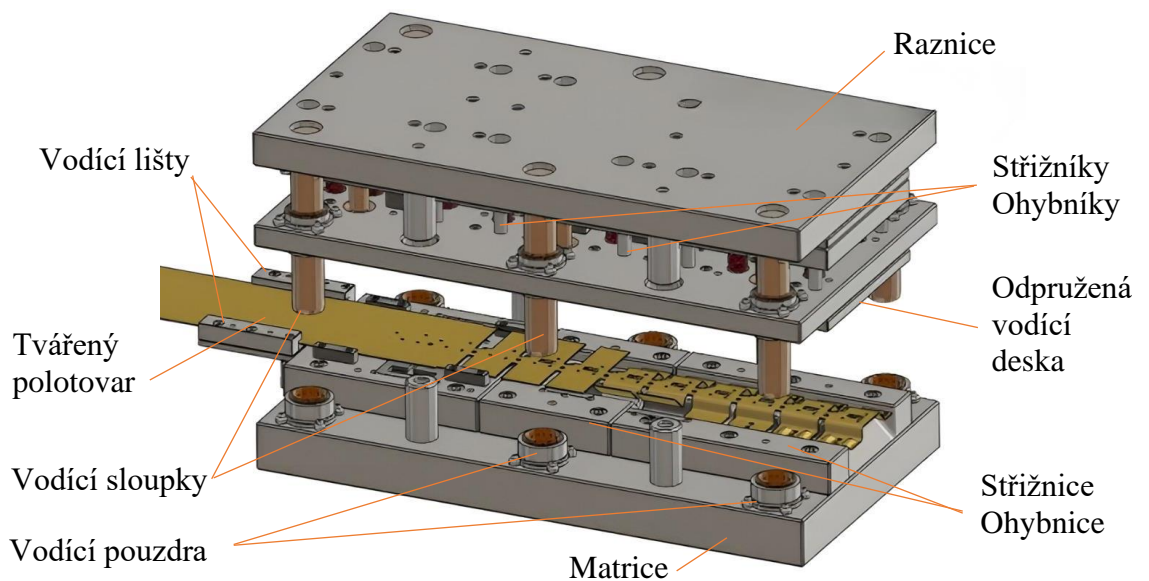
tlačné pruženy vrací ohybník do výchozí polohy. Při tomto typu mechanismu je také důležité, aby na plech nejprve dosedla odpružená ohybnice a pevně ustavila pozici tvářeného plechu (obr. 34). [26]



Obr. 33 Horizontální tváření [26].



Obr. 34 Zpětné tváření pomocí kyvadla [26].

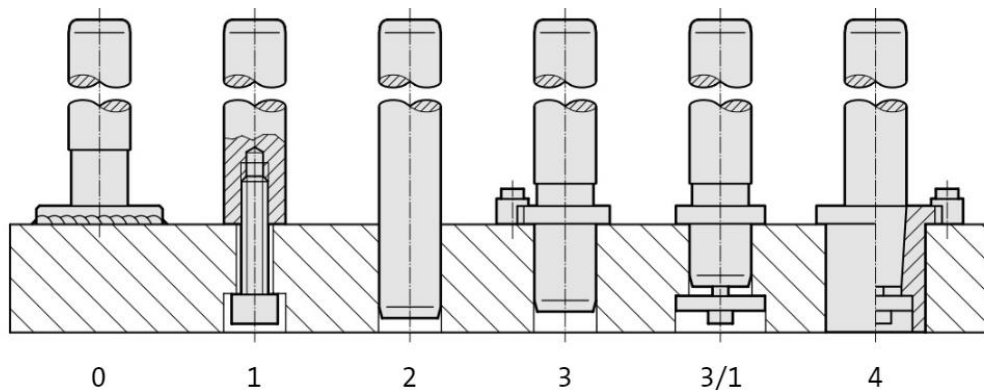


Obr. 35 Příklad sduženého nástroje [27].

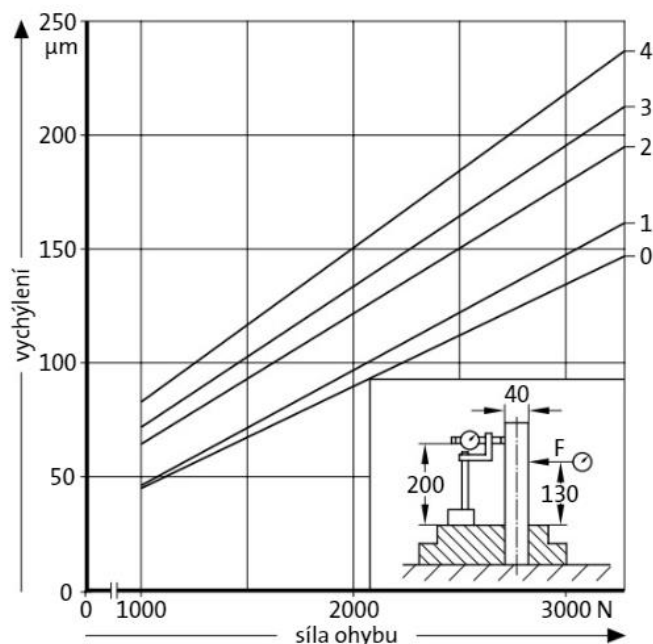
11.1 Vodící prvky sdružených nástrojů

Vedení u postupových nástrojů je klíčové pro dosažení přesného a opakovaného pohybu nástroje v rámci výrobního procesu. Rychlejší lisy, nákladnější nástroje a zvyšující se nároky na přesnost vyrobených dílů kladou otázku použití vhodného vedení nástrojů. Výběr vedení by měl konstruktér brát jako základní úvahu při návrhu nástroje, aby docílil zajištění správné funkčnosti nástroje. Vodící prvky a vedení jakožto funkční prvky mohou zásadně ovlivnit kvalitu výroby a s tím spojené nároky na údržbu či provoz. [29]

Vodící prvky se zásadně skládají ze dvou základních elementů, a to z vodícího sloupku a vodícího pouzdra. Vodící sloupky se liší především způsobem upínání, to je zobrazeno na obr. 36. Mezi základní ustavení vodících sloupků patří přivaření, zalisování a spojení pomocí šroubového spoje. Konstrukční typ upevnění vodících sloupků má také vliv na velikost vychýlení při bočním zatížení (obr. 37). [29]

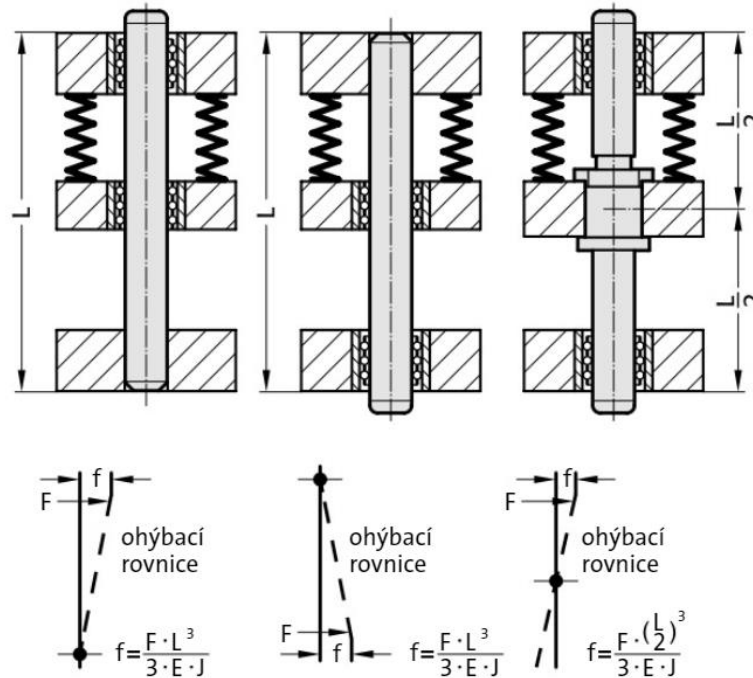


Obr. 36 Typy upevnění vodících sloupků [29].



Obr. 37 Velikost vychýlení zatíženého sloupku podle typu upevnění [29].

Podle typu konstrukce sruženého nástroje a nutnosti použití vodící desky lze rozlišit volbu uložení vodícího sloupku. Vodící sloupek může být uložen do raznice, matrice nebo také do vodící desky. Volba uložení má vliv na velikost vychýlení f , pokud na sloupky působí ohybová síla. Velikost tohoto vychýlení popisuje obr. 38. [29]

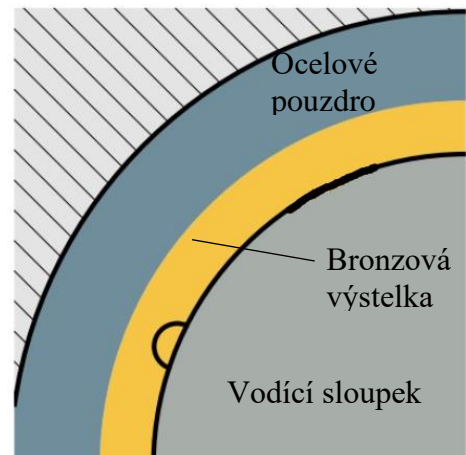
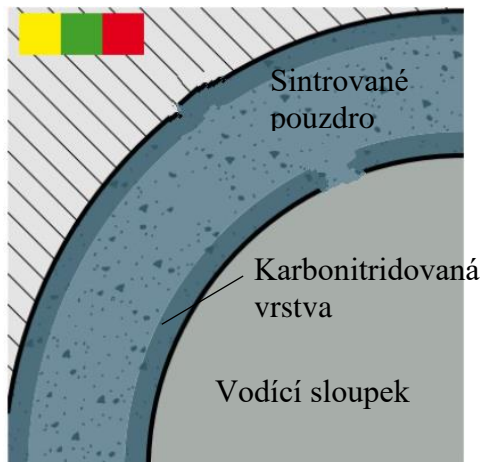


Obr. 38 Velikost vychýlení sloupku dle typu uložení při použití vodící desky [29].

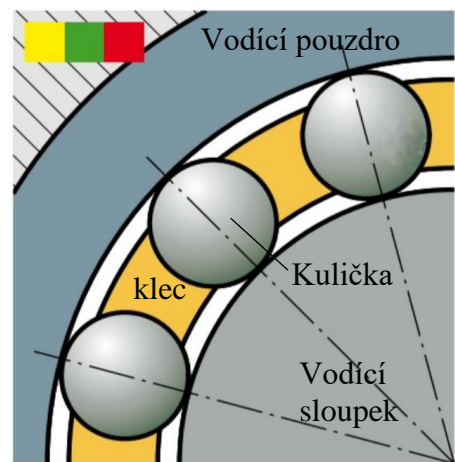
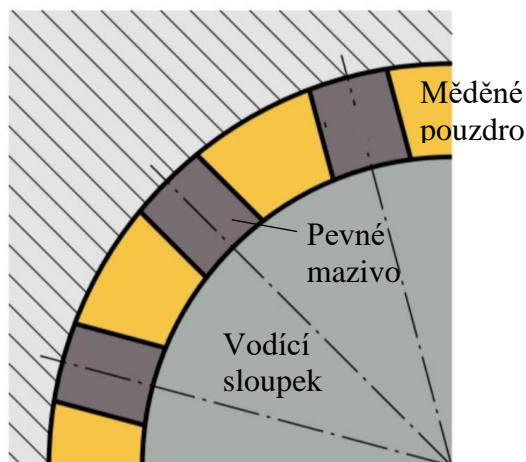
Druhým důležitým prvkem vedení je vodící pouzdro. Vodící pouzdra se konstrukčně liší podle typu vedení. Lze rozlišit základní dvě možnosti vedení, a to valivé vedení nebo kluzné vedení, do těchto základních variant spadají různé konstrukční řešení popsané níže. [29]

- Kluzné vedení ze sintrovaného železa – vedení se skládá ze samomazného sintrovaného železa s povrchem s karbonitridovanou vrstvou. Podíl pórovitosti sintrovaného materiálu činí zhruba 20 % a plní se impregnačním olejem ve vakuu, během provozu se olej dostává do třecích ploch (obr. 39). [29]
- Kluzné vedení s bronzovou výstelkou – skládá se z ocelového tělesa s bronzovou výstelkou se spirálovou mazací drážkou. Spirálová drážka zásobuje mazací tuk pro snížení tření ve styčných plochách (obr. 40). [29]
- Kluzné vedení s pevným mazivem – nenáročný druh na údržbu. Skládá se ze slitiny mědi se zapracovanými ložisky pevného grafitového maziva. Ložiska pevného maziva většinou zabírají cca 30 % plochy vedení (obr. 41). [29]

- Valivé kuličkové vedení – tento druh vedení je díky předpjatým valivým kuličkám bez vůle s vysokou stabilitou a vhodností pro nejvyšší rychlosti (obr. 42). [29]
- Valivé válečkové vedení – tento druh vedení je díky předpjatým válečkům bez vůle a je důležitý pro svou vysokou dynamickou nosnost (výrazný faktor pro dlouhodobou životnost) (obr. 43). [29]

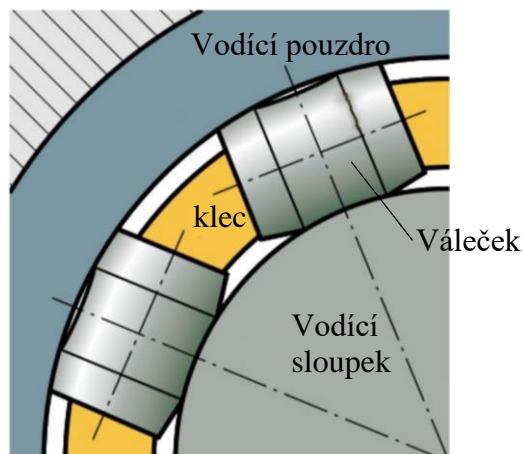


Obr. 39 Vedení ze sintrovaného železa [29]. Obr. 40 Vedení s bronzovou výstelkou [29].



Obr. 41 Vedení s pevným mazivem [29].

Obr. 42 Kuličkové vedení [29].



Obr. 43 Válečkové vedení [29].

II. PRAKTICKÁ ČÁST

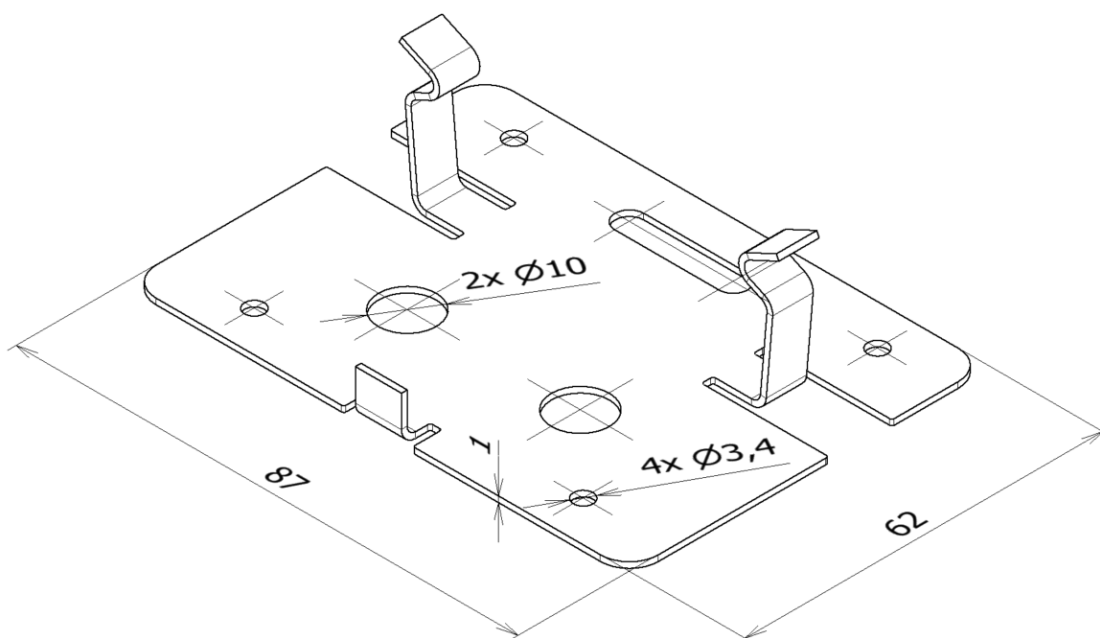
12 CÍLE DIPLOMOVÉ PRÁCE

Cílem diplomové práce je navrhnout vhodnou konstrukci sdruženého nástroje pro produkci zadaného dílu. Cíl diplomové práce vychází především z jednotlivých bodů zadání.

- Vypracovat literární studii na dané téma.
- Provést 3D konstrukci plechového dílu.
- Navrhnout výrobní postup s výpočty jednotlivých parametrů.
- Vypracovat 3D konstrukci sdruženého nástroje s ohledem na vyrobiteľnosť.
- Nakreslit 2D řez nástroje s kusovníkem.

13 3D KONSTRUKCE A NÁVRH VÝROBY PLECHOVÉHO DÍLU

Řešeným dílcem je plechová součástka vyobrazená na obrázku č. 44 s rozměry 62 mm na šířku a 87 mm na délku, tloušťka byla stanovena na 1 mm. Jedná se o díl z elektrotechniky, konkrétně o prvek z reproduktoru. Použití nachází k ustavení a uchycení s jinými díly v sestavě, k tomu slouží 4x montážní díry o průměru 3,4 mm, dva pružné zobáčky a jeden zobáček k odsazení. Součást také obsahuje dva otvory o průměru 10 mm a drážku 23x5 mm, jež slouží k vedení kabeláže. Při výrobě musí být kladen důraz na rozteč montážních děr průměru 3,4 aby bylo díl možné bez problému smontovat, dalších podstatným prvek jsou dva pružné zobáčky, u kterých je potřebné kvůli funkčnosti docílit požadovaných ohybů s přesnou geometrií a zabránit nežádoucímu odpružení během výroby.



Obr. 44 Náčrt řešeného dílce.

S řešením také souvisí zvolení vhodného materiálu. Jelikož se jedná o díl, který může být vystavený prostředí s určitou vlhkostí, musí se uvažovat korozivzdorný materiál. V úvahu připadá korozivzdorná ocel a slitina hliníku, ale kvůli požadavkům na vyšší pružnost a pevnost se volí ocel korozivzdorná 17 041.

Detailní vyobrazení řešeného dílce lze najít v příloženém výkrese s názvem: Řešený díl.

13.1 Kontrola vyrobiteľnosti

Aby bylo součást možné vyrobit, musí být zkontrolována technologičnost výroby pro zvolené technologie stříhání a ohýbání. U stříhání se musí zhodnotit požadované přesnosti na výrobek a posoudit, zda je při stříhání ve sdruženém nástroji možné tyto přesnosti dosáhnout, nemělo by se jednat o tolerance nižší skupiny než IT9. Jelikož díl neklade žádné speciální požadavky na přesnost, lze stanovit, že je technologií stříhání vyrobiteľný dle požadavků. Mimo tolerancí se musí zohlednit i tvarová náročnost a vhodnost dílu dle tabulky 3.

Jednotlivé podmínky podléhající kontrole:

- Nejmenší kruhový otvor musí splňovat:

$$\frac{d}{t} \geq t \Rightarrow \frac{3,4}{1} \geq 1, \quad (14)$$

- Stříhané obrysy musí splňovat:

$$a \geq 0,8 \cdot t = 5,3 \geq 0,8 \cdot 1 \Rightarrow 5,3 \geq 0,8, \quad (15)$$

$$c \geq 1,5 \cdot t = 2,5 \geq 1,5 \cdot 1 \Rightarrow 2,5 \geq 1,5. \quad (16)$$

Řešená součást splňuje všechny podmínky pro stříhání. U stříhaného parametru **c** dle tabulky 2. je ovšem doporučený rozměr 4,5 mm s tím, že skutečný rozměr je menší a to 2,5 mm, nicméně dle kontrolního výpočtu pro minimální možný rozměr je podmínka vyhovující a bere se za splněnou.

Dále mimo stříhání je nutná kontrola technologičnosti pro ohýbání. Pokud díl obsahuje otvory a zároveň ohyby, musí se kontrolovat dostatečná vzdálenost otvoru od ohybu. Řešená součást obsahuje ohyby i otvory ale nejsou v bezprostředním blízkosti čili tuto podmínku není nutné ověřovat výpočtem a považovat ji za splněnou.

Další parametr spadající kontrole je minimální poloměr ohybu **R_{min}**. Ten se spočítá pomocí vzorce (17). V případě, že by skutečný poloměr byl menší než minimální, s pravděpodobností by mohlo dojít k tvorbě trhlin na vnější straně ohybu.

Minimální poloměr ohybu:

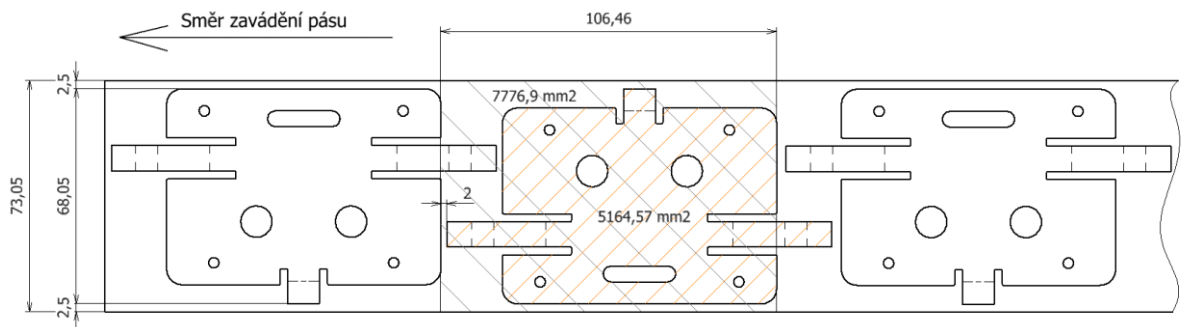
$$R_{min} = \frac{t}{2} \cdot \left(\frac{1}{\varepsilon_{max}} - 1 \right) = c_4 \cdot t = 0,6 \cdot 1 = 0,6 \text{ mm}. \quad (17)$$

Dle kontrolního výpočtu minimálního poloměru lze říct, že tato podmínka je vyhovující. Ovšem musí přijít v úvahu i anizotropie materiálu, která závisí na směru vedení vláken

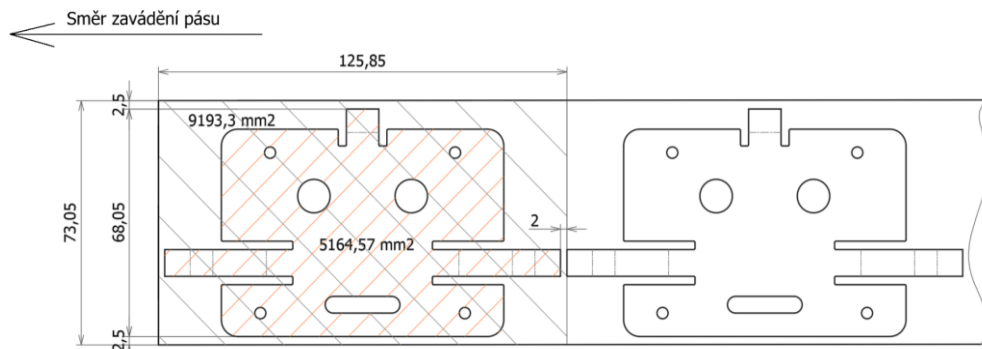
v materiálu formující se během zhotovování polotovaru. Pokud by se ohyb zhotovoval rovnoběžně s vedením vláken, je vhodné poloměr zvětšit na dvojnásobek (1,2 mm). I v tomto případě by podmínka minimálního poloměru byla splněna. Rovněž také norma ČSN 22 7340 stanovuje minimální poloměr ohybu pro oceli do pevnosti 490 MPa a tloušťky plechu 1 mm na $R_{min} = 1,2$ mm.

13.2 Nástřihový plán

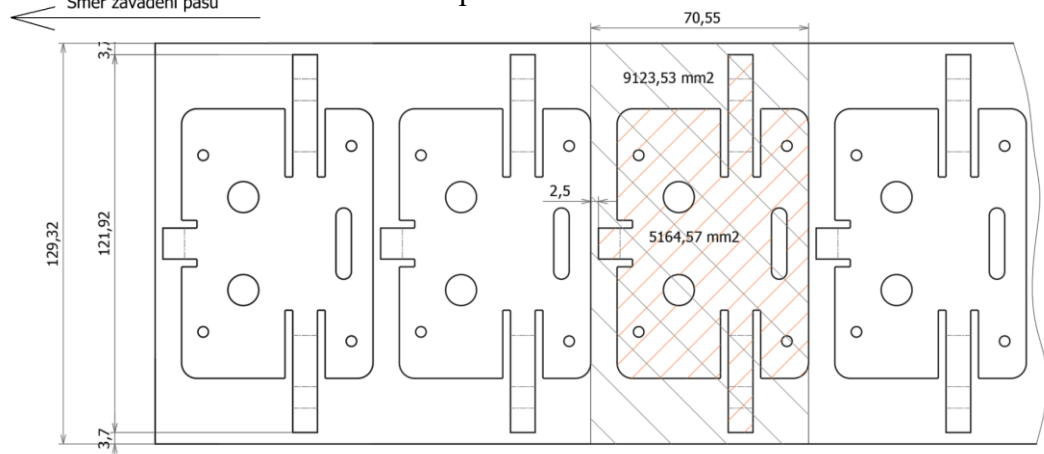
Při řešení nástřihového plánu se hledá nejvhodnější uspořádání plechového dílu na plechový polotovar (svitek). Uspořádání má vliv především na využití materiálu, ale také na složitost konstrukce tvářecího nástroje. Konstrukci nástroje ovlivňují především ohýbací operace, jež se musí posuzovat společně se směrem zavádění pásu.



Obr. 45 Uspořádání dílce č.1.



Obr. 46 Uspořádání dílce č.2.



Obr. 47 Uspořádání dílce č.3.

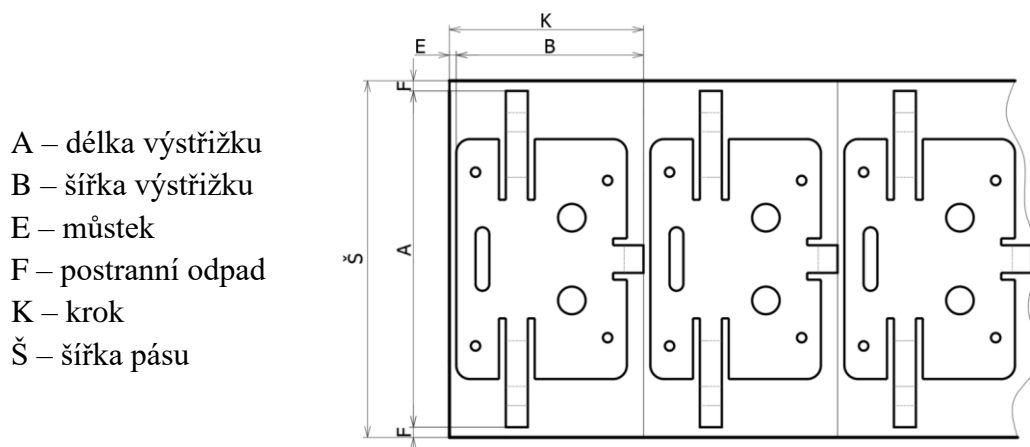
Pro řešenou součást se stanovily tři návrhy uspořádání na pásu. První návrh uvažuje uspořádání horizontálně s otočením dílců o 180° v každém kroku. Toto řešení má příznivý dopad na využití materiálu, které je vypočteno zhruba na 66,4 %. Komplikací jsou ovšem dva zobáčky na součásti, ty by se musely ohýbat kolmo na směr zavádění pásu, to by zásadně zkomplikovalo konstrukci nástroje. Nástroj by byl nadále zkomplikován střídavým uspořádáním dílu (obr. 45).

Druhý návrh uvažuje vodorovné uspořádání dílců jako u varianty č.1, v tomto případě ale bez střídavého otočení. To má za následek mnohem horší využití materiálu, jenž vychází 56,2 %. Konstrukce nástroje by byla usnadněna z důvodu, že se dílce po kroku neotáčí ale problém s ohýbáním je stejný jako u varianty č.1 (obr. 46).

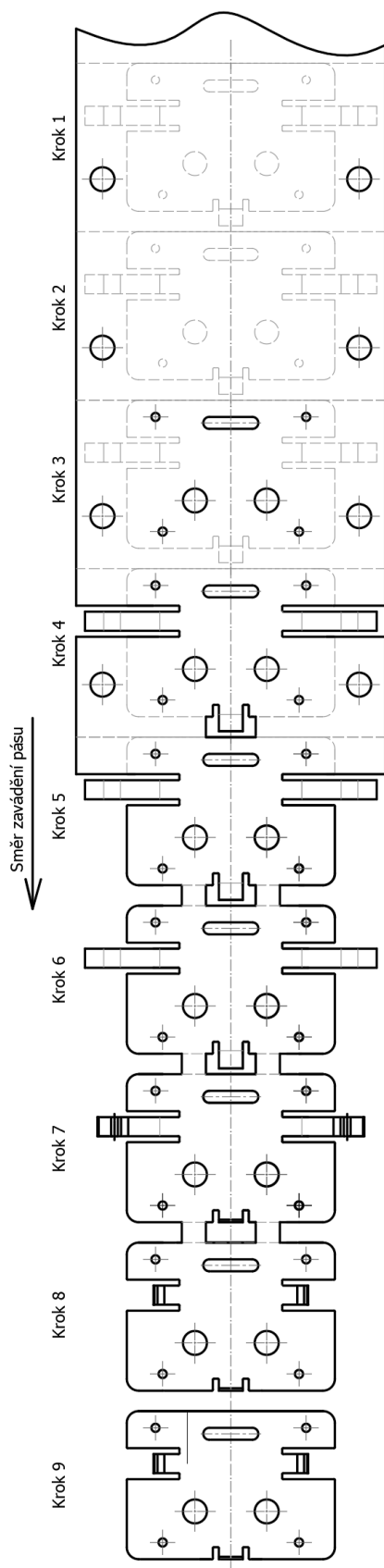
Třetí návrh uvažuje uspořádání dílců vertikálně za sebe. Vzhledem k tomu že díl v rozvinutém stavu má zobáčky, které zásadně přecházejí přes tělo součásti, dochází z tohoto důvodu k zhoršení využití materiálu. Využití materiálu této varianty bylo vypočteno na 56,6 %, což je o 9,8 % více než u varianty první. To znamená, že náklady na polotovár by byly zhruba o 9,8 % vyšší. Výhodou třetí varianty ovšem je vytváření ohybů zobáčků rovnoběžně na směr zavádění pásu, to zásadně zjednoduší konstrukci nástroje a návrh výrobního plánu (obr. 47).

Jako nejvhodnější varianta byla zvolena varianta č. 3. Ta sice vykazuje mnohem horší využití materiálu než např. varianta č.1, oproti tomu konstrukce nástroje bude jednodušší. Na tuto variantu se následně zpracoval nástřihový plán (obr. 49), z kterého vychází konstrukce sruženého nástroje.

S nástřihovým plánem také souvisí stanovení můstku a postranního odpadu, tyto hodnoty byly voleny dle tabulky v příloze č.2, tzn. šířka výstřižku a postranní odpad tvoří krok a délka výstřižku a postranní odpad tvoří potřebnou šířku polotovaru (obr. 48).



Obr. 48 Rozměrové parametry výstřižku.



Obr. 49 Finální plán výroby.

Krok 1. – Dochází k vstřížení postranních děr pro hledáčky, jejichž funkcí je přesné navedení a udržení polotovaru v žádané poloze.

Krok 2. – V tomto kroku se pomocí hledáček nastavuje přesná poloha polotovaru.

Krok 3. – Dochází k vystřížení drážky, děr pro šrouby a průchodů pro kabeláž.

Krok 4. – Vystřihují se oblasti kolem zobáčkům čímž také vznikají výchozí obrysy zobáčků.

Krok 5. – Dochází k obstřížení vnějšího obrysu dílce.

Dochází k vytváření prvního kroku ohybu na postranních zobáčcích a zároveň k ohybu zobáčku na čele.

Krok 6. – Do tohoto kroku nejsou z prostorových důvodů zařazeny žádné tvářecí operace. Plech se pomocí hledáček pomocí děr nastavuje do přesné polohy.

Krok 7. – Dochází k vytváření prvního kroku ohybu na postranních zobáčcích a zároveň k ohybu zobáčku na čele.

Krok 8. – Dochází k vytváření druhého kroku ohybu na postranních zobáčcích.

Krok 9. – Finální krok, kdy se součást odstřihuje od pásu a dochází k jejímu skluzu do bedny.

Na většinu horní plochy polotovaru také dosedá přítlačná deska, která má několik zásadních funkcí. Tím, že přítlačná deska přitlačí tvářený plech k protilehlé desce, dochází k pevnému ustavení plechu. Důležité je, aby přítlačná deska dosedla na polotovar před tím, než dojde ke stříhání/ohýbání. Tím, že deska polotovar pevně ustaví, nedochází k žádnému postrannímu úhybu ani k zvlnění vlivem tváření.

13.3 Délka rozvinu a odpružení

Délka rozvinuté součásti je určena geometrií a tloušťkou materiálu plechu, stejně jako úhlem ohýbání. Proces ohýbání plechu spočívá v deformaci materiálu za pomoci tlakových sil, která působí na několika místech plechu. Správně vypočtená délka rozvinuté součásti zohledňuje tyto faktory a umožňuje přesné umístění ohýbaného místa vzhledem k ostatním bodům součásti.

Pro výpočet rozvinu se používají vzorce (5) a (7). Nejprve je nutné vyčíslit poloměr neutrální plochy ohybu a poté dopočítat délku v rozvinutém stavu. Tento postup se musí provést pro každý ohyb.

$$\rho_1 = R_1 + x \cdot t = 1,5 + 0,44 \cdot 1 = 1,94 \text{ mm} \quad (18)$$

$$l_1 = \frac{\pi \cdot \rho_1 \cdot \alpha}{180} = \frac{\pi \cdot 1,94 \cdot 90}{180} = 3,047 \text{ mm} \quad (19)$$

$$\rho_2 = R_2 + x \cdot t = 1,5 + 0,44 \cdot 1 = 1,94 \text{ mm} \quad (20)$$

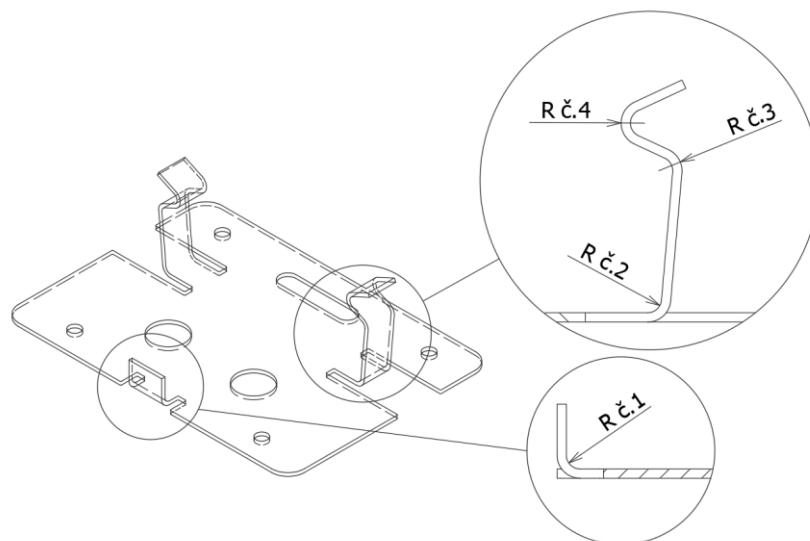
$$l_2 = \frac{\pi \cdot \rho_2 \cdot \alpha}{180} = \frac{\pi \cdot 1,94 \cdot 85}{180} = 2,878 \text{ mm} \quad (21)$$

$$\rho_3 = R_3 + x \cdot t = 1,5 + 0,44 \cdot 1 = 1,94 \text{ mm} \quad (22)$$

$$l_3 = \frac{\pi \cdot \rho_3 \cdot \alpha}{180} = \frac{\pi \cdot 1,94 \cdot 70}{180} = 2,370 \text{ mm} \quad (23)$$

$$\rho_4 = R_4 + x \cdot t = 1,5 + 0,44 \cdot 1 = 1,94 \text{ mm} \quad (24)$$

$$l_4 = \frac{\pi \cdot \rho_3 \cdot \alpha}{180} = \frac{\pi \cdot 12,5 \cdot 130}{180} = 4,4 \text{ mm} \quad (25)$$

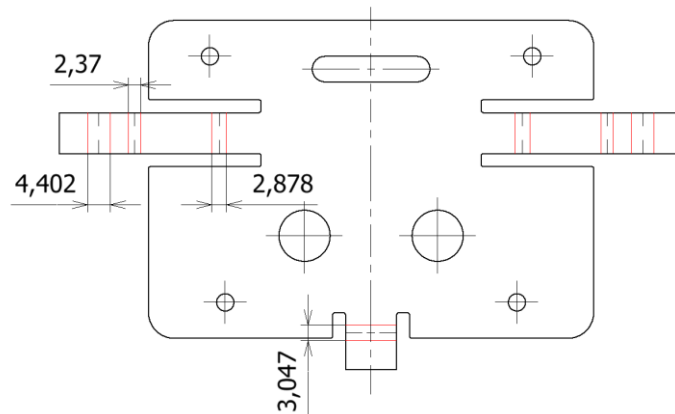


Obr. 50 Zobrazení ohybů součásti.

Tab. 7 Hodnoty součinitele x. [4]

R/t	0,5	0,7	0,8	1	1,5	2	3	4	Nad 5
x	0,37	0,39	0,4	0,41	0,44	0,45	0,46	0,47	0,5

Mimo konvenčního způsobu zjištění délky ohybů v rozvinutém stavu, byl pro kontrolu a porovnání udělán rozvin i v programu Inventor. Hodnoty se z výpočetního programu se shodují s vypočtenými hodnotami.



Obr. 51 Výpočet délky rozvinutých ploch v programu Inventor.

Dále je nezbytné zkontrolovat velikost odpružení každého ohybu:

$$\gamma_1 = \arctg \cdot \left(0,75 \cdot \frac{l_{v1}}{k_2 \cdot t} \cdot \frac{R_e}{E_T} \right) = \arctg \cdot \left(0,75 \cdot \frac{8}{0,56 \cdot 1} \cdot \frac{245}{200 \cdot 10^3} \right) = 0^\circ 45' 7'' \quad (26)$$

$$\gamma_2 = \arctg \cdot \left(0,75 \cdot \frac{l_{v2}}{k_2 \cdot t} \cdot \frac{R_e}{E_T} \right) = \arctg \cdot \left(0,75 \cdot \frac{16,9}{0,56 \cdot 1} \cdot \frac{245}{200 \cdot 10^3} \right) = 1^\circ 35' 17'' \quad (27)$$

$$\gamma_3 = \arctg \cdot \left(0,75 \cdot \frac{l_{v3}}{k_2 \cdot t} \cdot \frac{R_e}{E_T} \right) = \arctg \cdot \left(0,75 \cdot \frac{5,9}{0,56 \cdot 1} \cdot \frac{245}{200 \cdot 10^3} \right) = 0^\circ 33' 16'' \quad (28)$$

$$\gamma_4 = \arctg \cdot \left(0,375 \cdot \frac{l_{v4}}{k_2 \cdot t} \cdot \frac{R_e}{E_T} \right) = \arctg \cdot \left(0,375 \cdot \frac{7,65}{0,56 \cdot 1} \cdot \frac{245}{200 \cdot 10^3} \right) = 0^\circ 21' 34'' \quad (29)$$

Velikost odpružení na dílčích ohybech vychází v řádech desítkách minut stupně. Tyto hodnoty jsou pro řešenou součást zanedbatelné, ale lze je eliminovat například konstrukční úpravou sklonu nástrojů o spočtený úhel.

Tab. 8 Hodnoty součinitele k₂. [4]

R/t	0,5	1	2	3	4	6	8	10	Nad 15
k ₂	0,62	0,58	0,54	0,53	0,52	0,52	0,51	0,51	0,5

13.4 Výpočet tvářecích sil

Výpočet střížného odporu:

$$\tau_s = 0,8 \cdot R_m = 0,8 \cdot 450 = 360 \text{ MPa} \quad (30)$$

Výpočet jednotlivých střížných sil:

Výpočet střížné síly pro otvor $\varnothing 10$:

$$F_{S1} = k_1 \cdot o \cdot t \cdot \tau_s = 1,2 \cdot 31,4 \cdot 1 \cdot 360 = 13\,565 \text{ N} \quad (31)$$

Výpočet střížné síly pro otvor $\varnothing 3,4$:

$$F_{S2} = k_1 \cdot o \cdot t \cdot \tau_s = 1,2 \cdot 10,68 \cdot 1 \cdot 360 = 4613 \text{ N} \quad (32)$$

Výpočet střížné síly pro zaobalenou drážku:

$$F_{S3} = k_1 \cdot o \cdot t \cdot \tau_s = 1,2 \cdot 51,71 \cdot 1 \cdot 360 = 22\,339 \text{ N} \quad (33)$$

Výpočet střížné síly pro obrys vnitřního zobáčku:

$$F_{S4} = k_1 \cdot o \cdot t \cdot \tau_s = 1,2 \cdot 100,8 \cdot 1 \cdot 360 = 43\,546 \text{ N} \quad (34)$$

Výpočet střížné síly pro obrys vnějšího zobáčku:

$$F_{S5} = k_1 \cdot o \cdot t \cdot \tau_s = 1,2 \cdot 178,4 \cdot 1 \cdot 360 = 77\,069 \text{ N} \quad (35)$$

Výpočet střížné síly pro vystřížení obrysu součásti:

$$F_{S6} = k_1 \cdot o \cdot t \cdot \tau_s = 1,2 \cdot 154,5 \cdot 1 \cdot 360 = 66\,744 \text{ N} \quad (36)$$

Výpočet střížné síly pro odstřížení hotové součásti:

$$F_{S7} = k_1 \cdot o \cdot t \cdot \tau_s = 1,2 \cdot 31,2 \cdot 1 \cdot 360 = 13\,479 \text{ N} \quad (37)$$

Celková střížná síla:

$$F_S = F_1 \cdot 4 + F_2 \cdot 4 + F_3 \cdot 1 + F_4 \cdot 1 + F_5 \cdot 2 + F_6 \cdot 2 + F_7 = 13\,565 \cdot 4 + 4\,613 \cdot 4 + 22\,339 \cdot 1 + 43\,546 \cdot 1 + 77\,069 \cdot 2 + 66\,744 \cdot 2 + 13\,479 \cdot 2 = 453\,181 \text{ N} \quad (38)$$

Výpočet ohybových sil:

Výpočet ohybové síly F_{O1} malého zobáčku:

$$F_{OL1} = b \cdot t \cdot \frac{c_3}{3} \cdot R_m = 10 \cdot 1 \cdot \frac{2}{3} \cdot 450 = 3\,000 \text{ N} \quad (39)$$

Výpočet ohybové síly F_{O2} ohybu u těla součásti:

$$F_{OL2} = b \cdot t \cdot \frac{c_3}{3} \cdot R_m = 8 \cdot 1 \cdot \frac{2}{3} \cdot 450 = 2\,400 \text{ N} \quad (40)$$

Výpočet ohybové síly F_{O3} ohybu u V ohybu:

$$F_{OL3} = b \cdot t \cdot \frac{c_3}{3} \cdot R_m = 8 \cdot 1 \cdot \frac{2}{3} \cdot 450 = 2\,400 \text{ N} \quad (41)$$

Výpočet ohybové síly F_{O4} V ohybu:

$$F_{OV} = \frac{b \cdot t^2 \cdot c_2 \cdot R_m}{l_v} = \frac{8 \cdot 1^2 \cdot 1,4 \cdot 450}{7,65} = 659 \text{ N} \quad (42)$$

Celková ohybová síla:

$$\begin{aligned} F_O &= F_{OL1} + F_{OL2} \cdot 2 + F_{OL3} \cdot 2 + F_{OV} \cdot 2 = \\ &3\,000 + 2\,400 \cdot 2 + 2\,400 \cdot 2 + 659 \cdot 2 = 13\,918 \text{ N} \end{aligned} \quad (43)$$

Velikost kalibračních sil jednotlivých ohybů:

Výpočet kalibrační síly F_{k2} ohybu u těla součásti:

$$F_{k2} = p \cdot S_2 = 100 \cdot 90 = 9\,000 \text{ N} \quad (44)$$

Výpočet kalibrační síly F_{k3} ohybu u V ohybu:

$$F_{k3} = p \cdot S_3 = 100 \cdot 55 = 5\,500 \text{ N} \quad (45)$$

Výpočet kalibrační síly F_{k4} V ohybu:

$$F_{k4} = p \cdot S_4 = 100 \cdot 100 = 10\,000 \text{ N} \quad (46)$$

kde:

p – měrný tlak volený dle tab. v příloze č.3 [MPa],

S_o – plocha ohybů [mm^2] (plochou ohybů se uvažuje plocha, na kterou dosedá ohybník).

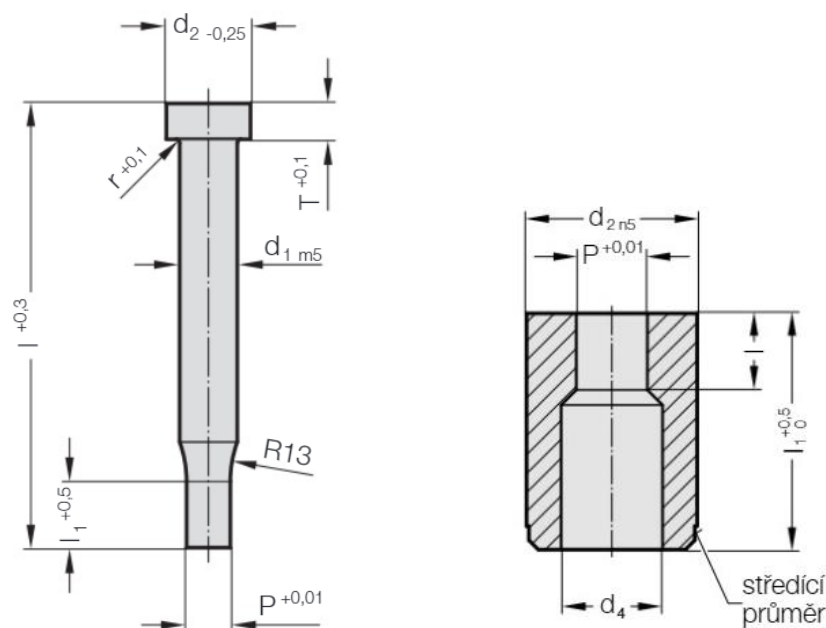
14 STANOVENÍ DILČÍCH ČÁSTÍ NÁSTROJE

V následující kapitole je popsán a rozebrán návrh konstrukčního řešení sdruženého nástroje. Popis zahrnuje výpočty k zajištění správné funkčnosti nástroje, příklad stanovení vhodných tolerancí, pevnostní zhodnocení na základě spočtených sil a návrh jednotlivých dílů. Konstrukce je navrhována tak, aby nástroj byl, co možno nejjednodušší, snadný na montáž a údržbu a tím i finančně nejvýhodnější. Základní stanovisko je docílení požadovaných přesností a kvality tvářeného dílce.

14.1 Volba typu střížníků a střížnic

Při výběru typu střížníků se uvažovalo několik konstrukčních variant od rychlovýměnných po více konvenční osazenou hlavou. Z důvodu nižší ceny a jednoduchosti se volí střížník s osazenou hlavou. Tento typ střížníků se upíná mezi upínací desku a přítlačnou desku. Příklad tohoto střížníku lze vidět na obrázku č. 52, a).

Typ střížnice se volí lisovaný, to znamená že funkční část střížnice je z nástrojové oceli a tvoří pouzdro, které se zalisuje do desky tvořící tělo střížnice, to je vyrobeno z konstrukční oceli. Toto konstrukční řešení umožňuje v případě poškození či otupení vyměnit střížná pouzdra bez nutnosti výměny celé střížnice. Dále je střížné pouzdro zevnitř osazeno ze dvou průměrů. První průměr u čelní plochy je funkční, druhý průměr je rozšířený z důvodu, aby prostřížený plech snadno propadl a nezaseknul ve střížnici (obr 52, b)).



a) Zvolený typ střížnice

b) Zvolený typ střížníku

Obr. 52 Příklad zvolených typů nástroje [29].

14.2 Stanovení funkčních rozměrů střížníků a střížnic

Při návrhu pracovních částí stříhadla se jedna pracovní část uvažuje jako základní. Při vystřihování to obvykle bývá střížnice, při děrování střížník. Rozměry základní pracovní části jsou voleny podle tvaru, rozměrů a tolerancí výstřižků. Druhá část se upravuje dle základní částí s ohledem na střížnou vůli.

Při provozu střížného nástroje dochází vlivem opotřebení ke změně rozměrů jeho pracovních částí a tím i ke změně vnějších a vnitřních rozměrů výstřižků. Některé rozměry se tak zvětšují jiné zmenšují či některé nemění. Změnu rozměru součástí vlivem opotřebení popisuje norma ČSN 22 6015 a navrhuje se podle ní rozměry střížníků a střížnic.

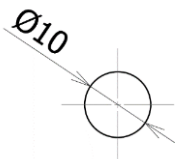
Pro řešenou součást je předepsaná výrobní třída přesnosti m, ta určuje toleranci každého předepsaného rozměru na výkrese, pokud není na výkrese předepsán jinak (příloha č.4). Z předepsané třídy přesnosti vychází přípustná míra opotřebení funkčních částí nástroje a stanovují se dle ní výrobní tolerance pro jednotlivé rozměry střížníků a střížnic.

Pro vybrané tvarové prvky je příklad stanovování rozměrů střížníků a střížnic vyřešen níže:

Stanovení střížné mezery:

$$z = \frac{v}{2} = c_1 \cdot t \cdot \sqrt{\frac{\tau_s}{10}} = 0,01 \cdot 1 \cdot \sqrt{\frac{360}{10}} = 0,06 \text{ mm} \quad (47)$$

Stanovení rozměru střížníku a střížnice pro díru v součásti o průměru 10 mm:



Obr. 53 Předepsaný rozměr na výkrese součásti

Tab. 9 Stanovení rozměrů střížníku a střížnice pro otvor $\varnothing 10$ [mm].

Jmenovitý rozměr s tolerancí A_j	Přípustná míra opotřebení P	Výrobní tolerance střížnice δ_e	Výrobní tolerance střížníku δ_k	Rozměr střížnice A_e	Rozměr střížníku A_k
$10 \pm 0,2$	0,16	0,054	0,035	$\varnothing 10,14_{-0}^{+0,054}$	$\varnothing 10,08_{-0,035}^{+0}$

$$A_e = (A_j + \frac{P}{2} + v)^{+\delta_e} = (10 + \frac{0,16}{2} + 0,06)^{+0,054} = 10,14_{-0}^{+0,054} \text{ mm} \quad (48)$$

$$A_k = (A_j + \frac{P}{2})_{-\delta_k} = (10 + \frac{0,16}{2})_{-0,035} = 10,08_{-0,035}^{+0} \text{ mm} \quad (49)$$

Stanovení rozměru střížníku a střížnice pro díru v součásti o průměru 3,4 mm:

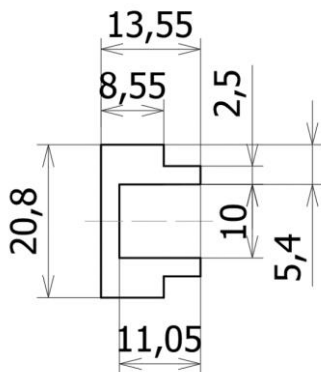
Tab. 10 Stanovení rozměrů střížníku a střížnice pro otvor $\varnothing 3,4$ [mm].

Rozměr s tolerancí A_j	Přípustná míra opotřebení P	Výrobní tolerance střížnice δ_e	Výrobní tolerance střížníku δ_k	Rozměr střížnice A_e	Rozměr střížníku A_k
$3,4 \pm 0,1$	0,09	0,032	0,023	$\varnothing 3,51_{-0}^{+0,032}$	$\varnothing 3,45_{-0,023}^{+0}$

$$A_e = (A_j + \frac{P}{2} + v)^{+\delta_e} = (3,4 + \frac{0,09}{2} + 0,06)^{+0,032} = 3,51_{-0}^{+0,032} \text{ mm} \quad (50)$$

$$A_k = (A_j + \frac{P}{2})_{-\delta_k} = (3,4 + \frac{0,09}{2})_{-0,023} = 3,45_{-0,023}^{+0} \text{ mm} \quad (51)$$

Stanovení rozměrů střížníku a střížnice pro stříhání tvarové díry:



Obr. 54 Stříhaná tvarová díra

Tab. 11 Stanovení rozměrů střížníku a střížnice pro tvarovou díru [mm].

Rozměr s tolerancí A_j	Přípustná míra opotřebení P	Výrobní tolerance střížnice δ_e	Výrobní tolerance střížníku δ_k	Rozměr střížnice A_e	Rozměr střížníku A_k
$2,5 \pm 0,1$	0,09	0,032	0,023	$2,43_{-0,032}^{+0}$	$2,46_{-0}^{+0,023}$
$7,9 \pm 0,2$	0,16	0,054	0,035	$8,04_{-0}^{+0,054}$	$7,98_{-0,035}^{+0}$
$8,55 \pm 0,2$	0,16	0,054	0,035	$8,69_{-0}^{+0,054}$	$8,63_{-0,035}^{+0}$
$10 \pm 0,2$	0,16	0,054	0,035	$10,14_{-0}^{+0,054}$	$10,08_{-0,035}^{+0}$
$11,05 \pm 0,2$	0,16	0,054	0,035	$11,05_{-0,054}^{+0,054}$	$11,05_{-0,035}^{+0,035}$
$13,55 \pm 0,2$	0,16	0,054	0,035	$13,69_{-0}^{+0,054}$	$13,63_{-0,035}^{+0}$
$20,8 \pm 0,2$	0,16	0,054	0,035	$20,94_{-0}^{+0,054}$	$20,88_{-0,035}^{+0}$

Stanovení rozměru střížníku a střížnice pro rozměr 2,5 (rozměry se opotřebením zvětšují):

$$A_e = (A_j - \frac{P}{2} - v + \delta_e)_{-\delta_e} = (2,5 - \frac{0,09}{2} - 0,06 + 0,032)_{-\delta_e} = 2,43_{-0,032}^{+0} \text{ mm} \quad (52)$$

$$A_k = (A_j - \frac{P}{2})^{+\delta_k} = (2,5 - \frac{0,09}{2})^{+0,023} = 2,46_{-0}^{+0,023} \text{ mm} \quad (53)$$

Stanovení rozměru střížníku a střížnice pro rozměr 7,9 (rozměry se opotřebením zmenšují):

$$A_e = (A_j + \frac{P}{2} + v)^{+\delta_e} = (7,9 + \frac{0,16}{2} + 0,06)^{+0,054} = 8,04_{-0}^{+0,054} \text{ mm} \quad (54)$$

$$A_k = (A_j + \frac{P}{2})_{-\delta_k} = (7,9 + \frac{0,16}{2})_{-0,035} = 7,98_{-0,035}^{+0} \text{ mm} \quad (55)$$

Stanovení rozměru střížníku a střížnice pro rozměr 8,55 (rozměry se opotřebením zmenšují):

$$A_e = (A_j + \frac{P}{2} + v)^{+\delta_e} = (8,55 + \frac{0,16}{2} + 0,06)^{+0,054} = 8,69_{-0}^{+0,054} \text{ mm} \quad (56)$$

$$A_k = (A_j + \frac{P}{2})_{-\delta_k} = (8,55 + \frac{0,16}{2})_{-0,035} = 8,63_{-0,035}^{+0} \text{ mm} \quad (57)$$

Stanovení rozměru střížníku a střížnice pro rozměr 10 (rozměry se opotřebením zmenšují):

$$A_e = (A_j + \frac{P}{2} + v)^{+\delta_e} = (10 + \frac{0,16}{2} + 0,06)^{+0,054} = 10,14_{-0}^{+0,054} \text{ mm} \quad (58)$$

$$A_k = (A_j + \frac{P}{2})_{-\delta_k} = (10 + \frac{0,16}{2})_{-0,035} = 10,08_{-0,035}^{+0} \text{ mm} \quad (59)$$

Stanovení rozměru střížníku a střížnice pro rozměr 11,05 (rozměry se opotřebením nemění):

$$A_e = (A_j)^{\pm\delta_e} = (11,05)_{-0,054}^{+0,054} = 11,05_{-0,054}^{+0,054} \text{ mm} \quad (60)$$

$$A_k = (A_j)_{\pm\delta_k} = (11,05)_{-0,035}^{+0,035} = 11,05_{-0,035}^{+0,035} \text{ mm} \quad (61)$$

Stanovení rozměru střížníku a střížnice pro rozměr 13,55 (rozměry se opotřebením zmenšují):

$$A_e = (A_j + \frac{P}{2} + v)^{+\delta_e} = (13,55 + \frac{0,16}{2} + 0,06)^{+0,054} = 13,69_{-0}^{+0,054} \text{ mm} \quad (62)$$

$$A_k = (A_j + \frac{P}{2})_{-\delta_k} = (13,55 + \frac{0,16}{2})_{-0,035} = 13,63_{-0,035}^{+0} \text{ mm} \quad (63)$$

Stanovení rozměru střížníku a střížnice pro rozměr 25,8 (rozměry se opotřebením zmenšují):

$$A_e = (A_j + \frac{P}{2} + v)^{+\delta_e} = (20,8 + \frac{0,16}{2} + 0,06)^{+0,054} = 20,94_{-0}^{+0,054} \text{ mm} \quad (64)$$

$$A_k = (A_j + \frac{P}{2})_{-\delta_k} = (20,8 + \frac{0,16}{2})_{-0,035} = 20,88_{-0,035}^{+0} \text{ mm} \quad (65)$$

14.3 Kontrola střížníků

Kontrole podléhají především střížníky s nejmenší střížnou plochou, a to z důvodu, že mají nejmenší průřez, tudíž jsou nejnáchylnější na zlomení. U střížníků se kontroluje především pevnost funkční části, náchylnost na vzepření nebo kontrola na otláčení upínací hlavy.

Kontrola pevnosti funkční části střížníku s nejmenším průřezem o průměru 3,4 mm:

$$\sigma = \frac{F_{s2}}{S_1} = \frac{4613}{9,07} = 509 \text{ MPa} \leq \sigma_{\text{dov},s} \text{ (2000 MPa)} \quad (66)$$

Kde:

F_{s2} – síla působící na střížník s nejmenším průřezem funkční části [N],

S_1 – plocha s nejmenším průřezem střížníku [mm²],

$\sigma_{\text{dov},s}$ – maximální dovolená pevnost v tahu pro střížník [MPa].

Kontrola části střížníku s nejmenším průřezem na vzpěr:

$$l_{\text{krit}} = \sqrt{\frac{4 \cdot \pi^2 \cdot E_T \cdot I}{n \cdot F_{s2}}} = \sqrt{\frac{4 \cdot \pi^2 \cdot 210\,000 \cdot \frac{\pi \cdot 3,4^4}{64}}{2 \cdot 4613}} = 76,7 \text{ mm} \quad (67)$$

Kde:

l_{krit} – maximální přípustná délka namáhané části, kdy nedojde k vzepření [mm],

I – kvadratický moment pro kruhový průřez [mm⁴],

n – koeficient bezpečnosti [–].

Kontrola nejmenší hlavy střížníku na otláčení opěrné desky:

$$\sigma = \frac{F_{s2}}{S_2} = \frac{4613}{94,9} = 49 \text{ MPa} \leq \sigma_{\text{dov},\text{od}} \text{ (1200 MPa)} \quad (68)$$

Kde:

S_2 – plocha s nejmenším průřezem upínací hlavy [mm²],

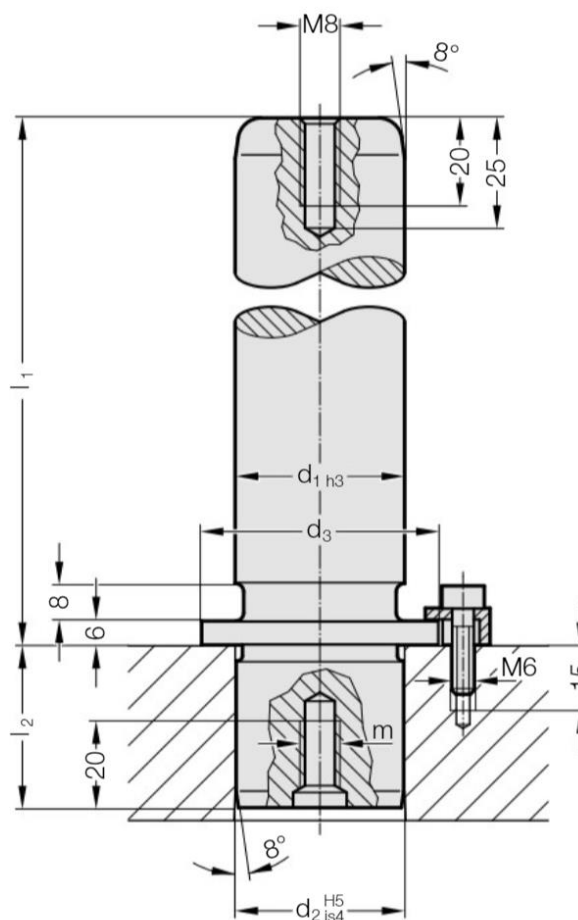
$\sigma_{\text{dov},\text{od}}$ – maximální dovolená pevnost opěrné desky [MPa].

Po výpočtu a kontrole všech potřebných parametrů lze stanovit, že střížník pevnostně vyhovuje ve všech směrech a lze ho použít.

14.4 Popis a volba vodících prvků nástroje

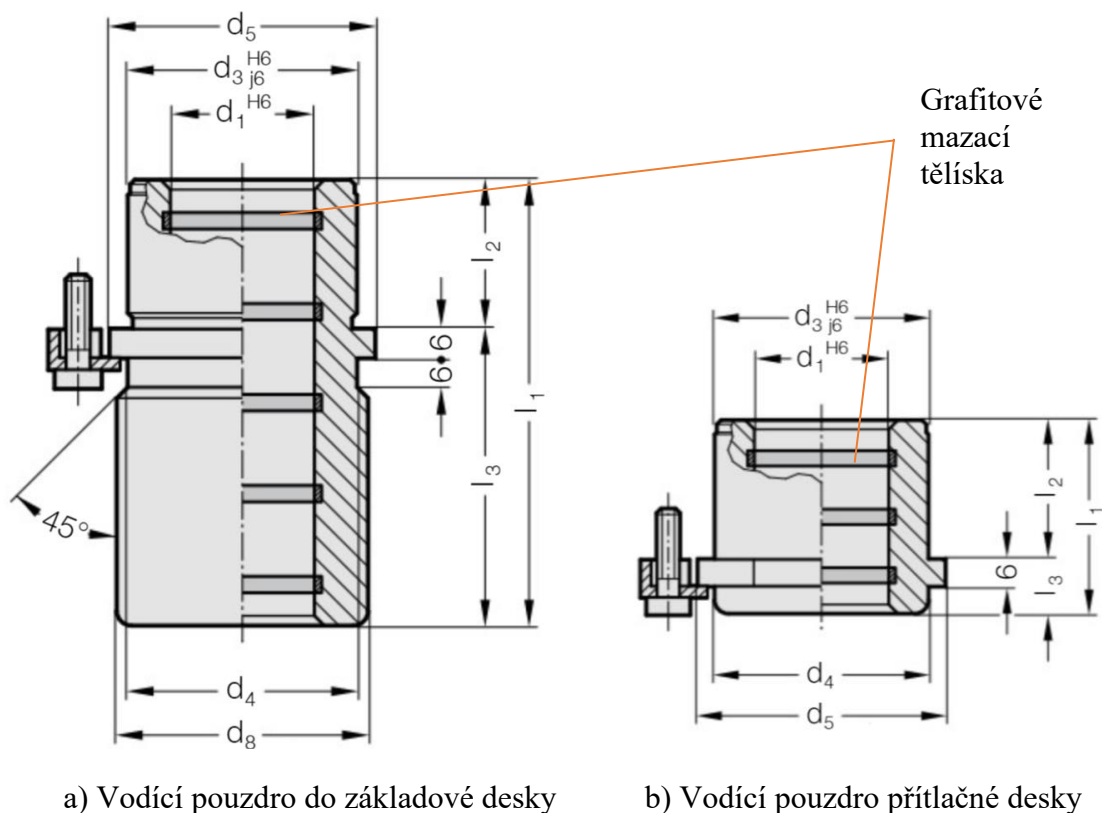
Vodící prvky jsou klíčovým prvkem pro funkci nástroje a zajišťují přesné navádění pohyblivé raznice vůči pevné matici. Pro řešenou aplikaci bylo zvoleno kluzné vedení. Kluzné vedení bez ohledu na druh, lze vyrábět s minimálními tolerancemi válcovitosti a kruhovitosti. Ve správném párování s vybranou tolerancí zaručují také větší tuhost než například kuličkové vedení. Vzhledem k uvažované konstrukci nástroje se přepokládají tři základní elementy tvořící vedení nástroje, a to je vodící sloupek, pouzdro vodícího sloupku a pouzdro vodící desky. [29]

Pro vedení nástroje se volí vodící sloupek s označením ISO 9182-5 (obr. 55). Upínání k základové desce probíhá přes lem pomocí třech držáčků se šrouby s válcovou hlavou. Lze volit také upevnění se středovým šroubem, jelikož vodící sloupek disponuje středícími důlky se závitem na čele. Předepsané uložení výrobcem je H5/js4, to znamená že se jedná o přechodné uložení a vodící sloupek by měl být snadno demontovatelný a vyměnitelný bez potřeby velkých sil. Povrch sloupku je broušen nejmenso s předepsanou drsností Ra 0,2 a kalen na tvrdost 60 + 3 HRC. [29]



Obr. 55 Zvolený typ vodícího sloupku [29].

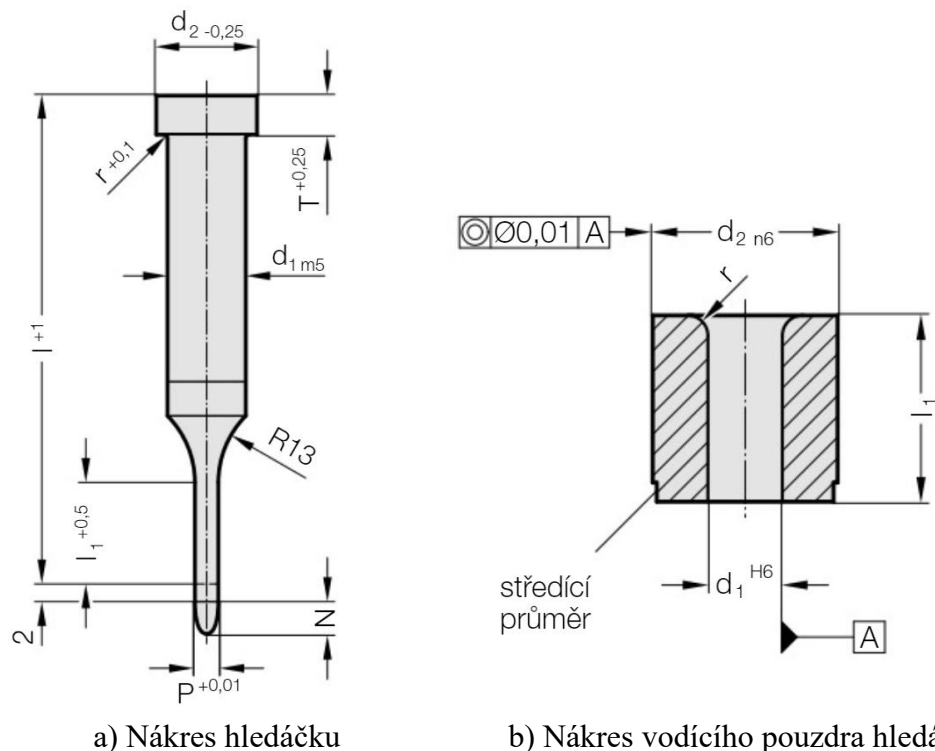
Jako další vodící prvky se volí vodící pouzdra. Vodící pouzdro jak základové desky, tak přitlačné desky se volí stejného typu, a to bronzové s grafitovými tělisky s označením ISO 9448-6. Základní kov je vhodný pro vysoce zátěžové aplikace a tuhé mazivo umožňuje dodatečné mazání. Jednotlivé pouzdra se liší především ve své stavební výšce. U vodícího pouzdra připevněného napevno k základové desce je nutná delší stavební délka z důvodu zdvihu vodícího sloupku, kdy se vyžaduje, aby nedošlo k vysunutí vodícího sloupku mimo vodící pouzdro. Naopak vodící pouzdro přitlačné desky bude nasunuto na vodící sloupek a nemůže dojít k jeho vysunutí mimo vodící sloupek. Přednostní výhodou bronzových pouzder s grafitovým mazivem je, že nevyžadují žádnou další údržbu a dodatečné mazání. Součinitel tření mezi pouzdrem a vodícím sloupkem dosahuje hodnoty až 0,03. Maximální kluzná rychlost bez dodatečného mazání je stanovena na 0,5 m/s, při dodatečném mazání olejem se může maximální kluzná rychlost zvýšit až na 5 m/s. Upevnění vodících pouzder je v tomto případě obdobné jako u vodících sloupků, pouzdra se přes lem zajišťují se držáčky pomocí šroubů s válcovou hlavou. Tolerance uložení je stanovena H6/j6, tzn. že se jedná o uložení přechodné a stejně jako u vodících sloupků zajišťuje jednoduchou montáž bez velkých dodatečných sil (obr. 56). [29]



Obr. 56 Vodící pouzdra [29].

14.5 Popis a volba středících prvků plechu

Pro správnou funkčnost a zajištění správné produkce je nezbytné přesně zavádět plechový svitek do nástroje. Ke správnému zavádění a ustálení polohy svitku lze docílit pomocí pomocných prvků, kterými jsou například hledáčky. Hledáčky jsou konstruovány s cílem minimalizovat nežádoucí odchylky během tvářecího procesu a zajišťují konzistentní výsledky při opakovaném použití, mají podobnou konstrukci jako střižníky a jsou doplněny o vodící pouzdra. Rozdíly mezi hledáčkem a střižníkem spočívá v tom, že čelo na rozdíl od střižníku je kulovité. V praxi se nejprve vystřihne v plechovém svitku otvor, v dalších krocích následně hledáčky pomocí těchto děr udržují přesnou polohu plechového svitku. Důležité je, aby hledáček byl delší než střižníky a ustavoval plech do přesné polohy dříve, než dojde k tváření (obr. 57). [29]



Obr. 57 Zvolený typ hledáčku [29].

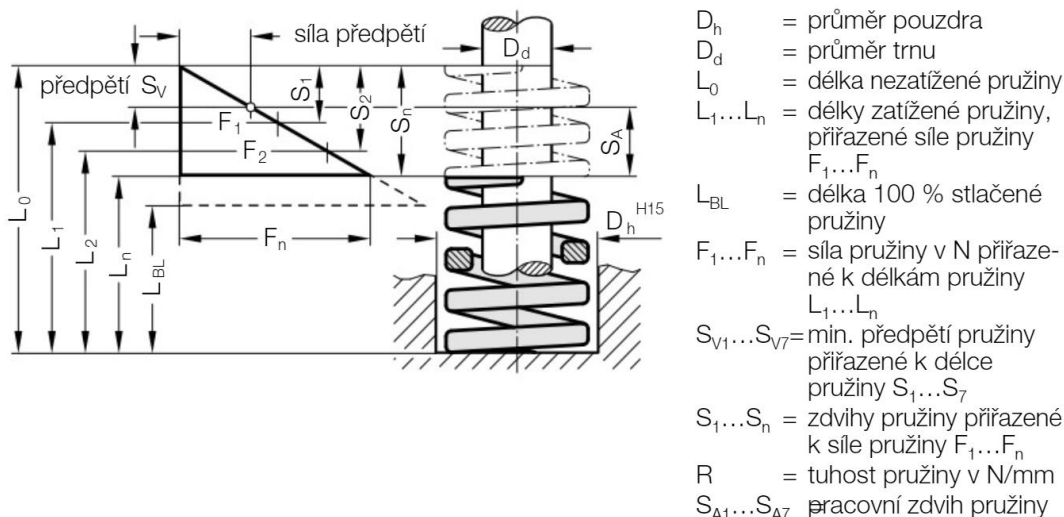
K dalšímu pomocnému prvku vedení plechu patří vodící lišty. Důležitým aspektem vodících lišt je jejich schopnost poskytnout konzistentní referenční body pro správnou polohu materiálu během tváření. Tato konzistence je klíčová pro opakovatelnost procesu, což je zásadní zejména při sériové výrobě nebo při výrobě dílů s přesnými rozměry. [29]

Kromě toho vodící lišty přispívají k celkové bezpečnosti práce se střížnými nástroji tím, že minimalizují riziko úrazů způsobených nekontrolovaným pohybem materiálu. Tímto způsobem chrání pracovníka a zabraňují jinému poškození.

Střížné lišty se používají z obou stran po krajích střížnic. Mezera mezi lištami pro vedení plechu se volí dle šířky zaváděného plechu, jenž je 129,32 mm. Zaváděný plechu o požadované šířce se řeže z dodávaného plechu větší šířky a rozměrová tolerance stříhu je udávána $\pm 0,2$ mm. To znamená že výsledná mezera mezi lištami je součet rozměrů šířky plechového svitku (129,32 mm), tolerance stříhu svitku (+0,2 mm) a oboustranné vůle volené 0,3 mm, tzn. celková šířka mezery mezi lištami musí být 130,12 mm.

14.6 Stanovení pružin pro ohybníky a přidržovací desku

Stanovení pružin pro ohybníky vychází z výpočtu potřebné ohýbací a kalibrovací síly. Počítá se s tím, že ohybníky jsou upnuty na jedné odpružené desce, proto se návrh pružin odvíjí od celkového součtu potřebných ohýbacích a kalibrovacích sil jejichž velikost je 38 418 N. Od této hodnoty se odvíjí volba pružiny. Volí se speciální šroubová tlačná pružina XLF identifikační žluté barvy DIN ISO 10243 o průměru 63 mm a délce 76 mm. Tato pružina při 45% stlačení ($S_1 = 10,7$ mm) vyvíjí tlačnou sílu 10 196 N. Pro dosažení minimální potřebné síly budou použity čtyři pružiny tohoto typu.



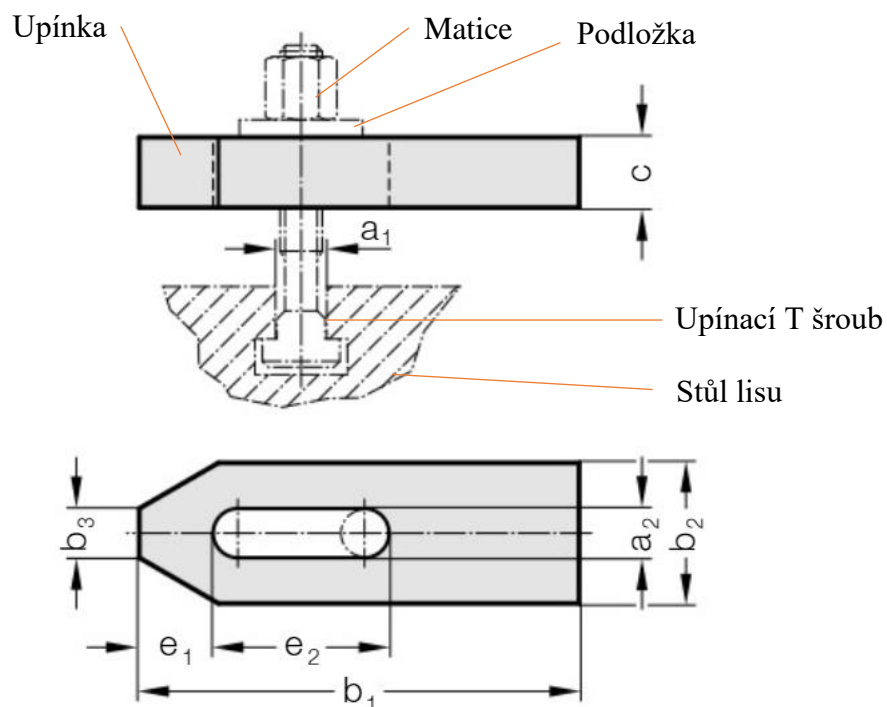
Obr. 58 Schéma pružiny [29].

Dále se stanovují pružiny vyvíjející tlak na plechový pás přes přítlačnou desku. Přibližná plocha, na kterou dosedá přítlačná deska je 350 000 mm². Stanovený přítlačný tlak na celou plochu plechu se volí 0,35 MPa. Pokud se vynásobí přítlačná plocha se zvoleným tlakem 0,35 MPa, výsledkem je přítlačná síla o velikosti 120 000 N. Z toho plyne, že je potřeba 12 pružin, jež budou stejné jako u ohybníků ale s větší délkou 152 mm.

14.7 Upínání nástroje

Upínání nástrojů do lisů lze volit z celé škály typů dle nejvhodnější, nejrychlejšího nebo podle typu co umožňuje samotný lis. Nejčastěji používaný a nejjednodušší typ upínání je upínání pomocí upínek do T drážek, který se uvažuje i u řešené konstrukce nástroje a je kompatibilní s uvažovanou volbou lisu.

Upínání se provádí pomocí šroubu, jenž má hlavu ve tvaru T a kopíruje drážku ve stole/beranu lisu (obr. 59). Na šroub se následně usazuje upínka jejímž cílem je přenos síly mezi základovou deskou nástroje a stolem lisu a tím zabezpečit pevné a stabilní upnutí. Síla se vyvozuje maticí, která působí přes podložku na upínku.



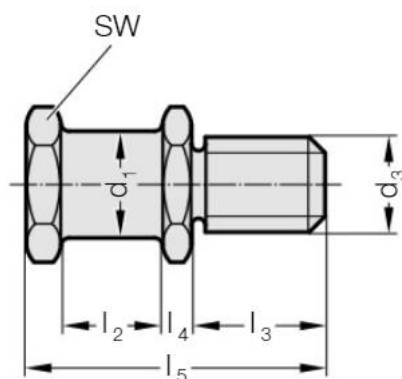
Obr. 59 Zvolený typ upínání nástroje.

Samotné upnutí nástroje do lisu je stěžejní pro správnou funkci nástroje. Před upnutím musí být nástroj zkontrolován a vyčištěn. Následuje přesné umístění nástroje do lisovacího prostoru. Tento proces vyžaduje precizní manipulaci s nástrojem a jeho umístění v souladu s požadovanou geometrií a specifikacemi výrobku. Správné umístění všech částí nástroje, včetně matic, raznic a dalších součástí, je klíčové pro dosažení požadovaných výsledků.

V neposlední řadě je vhodné provést testování a případné ladění nastavení lisu a upínacích mechanismů před spuštěním plné výroby. Tím lze zabezpečit optimální výrobní efektivitu a dosažení požadované kvality výrobků.

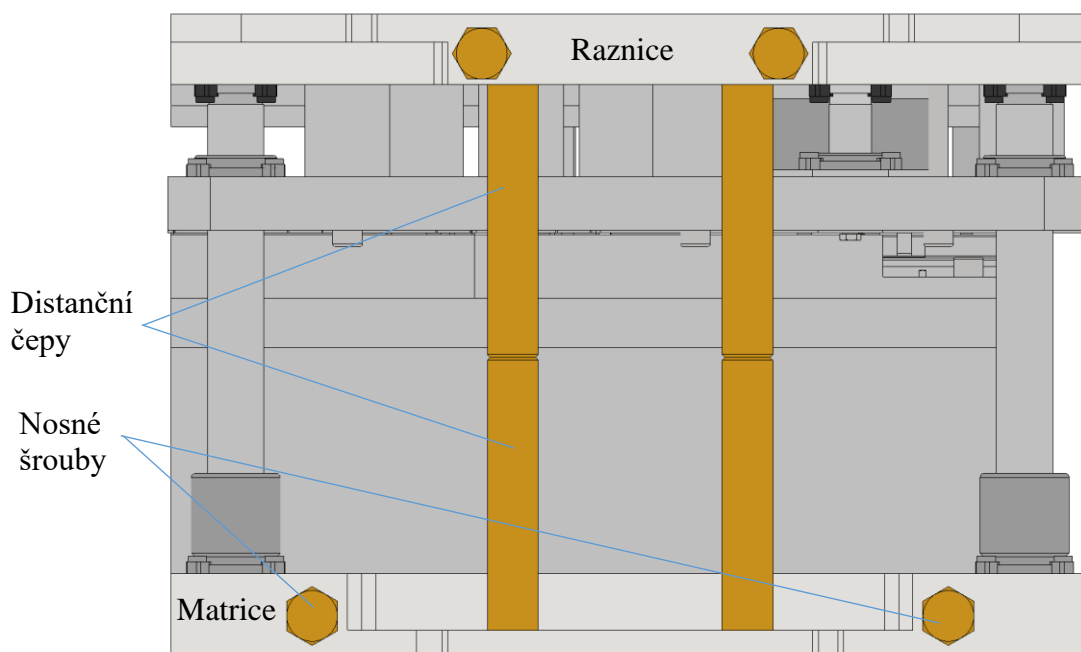
14.8 Přeprava a manipulace s nástrojem

Vzhledem k rozměrům a hmotnosti nástroje je nezbytné, aby nástroj disponoval prvky, usnadňující upínání a manipulaci. Z tohoto důvodu jsou na nástroj umístěny nosné šrouby. Tyto šrouby jsou jak na pevné části nástroje, tak na pohyblivé. Každá část nástroje je osazena po stranách čtyřmi nosnými šrouby. Zvolený průměr d_3 šroubu je 24 mm. Výrobce udává nosnost 1000 kg na jeden šroub tohoto průměru (obr. 60).



Obr. 60 Zvolený nosný šroub [29].

Při manipulaci, přepravě a uskladnění je nezbytné zajistit pohyblivou část nástroje vůči pevné. Pokud by nástroj při demontáži z losi nebyl zajištěn, dojde k dosednutí pohyblivé části nástroje na pevnou část, to by mohlo způsobit poškození nástroje včetně střižníků a střižnic. Z toho důvodu je při demontáži nástroje a manipulaci na nejprve nutné přišroubovat distanční čepy, které zajistí bezpečnou rozteč pevné a pohyblivé části nástroje. Distanční čepy se šroubují do matrice a raznice (obr. 61).

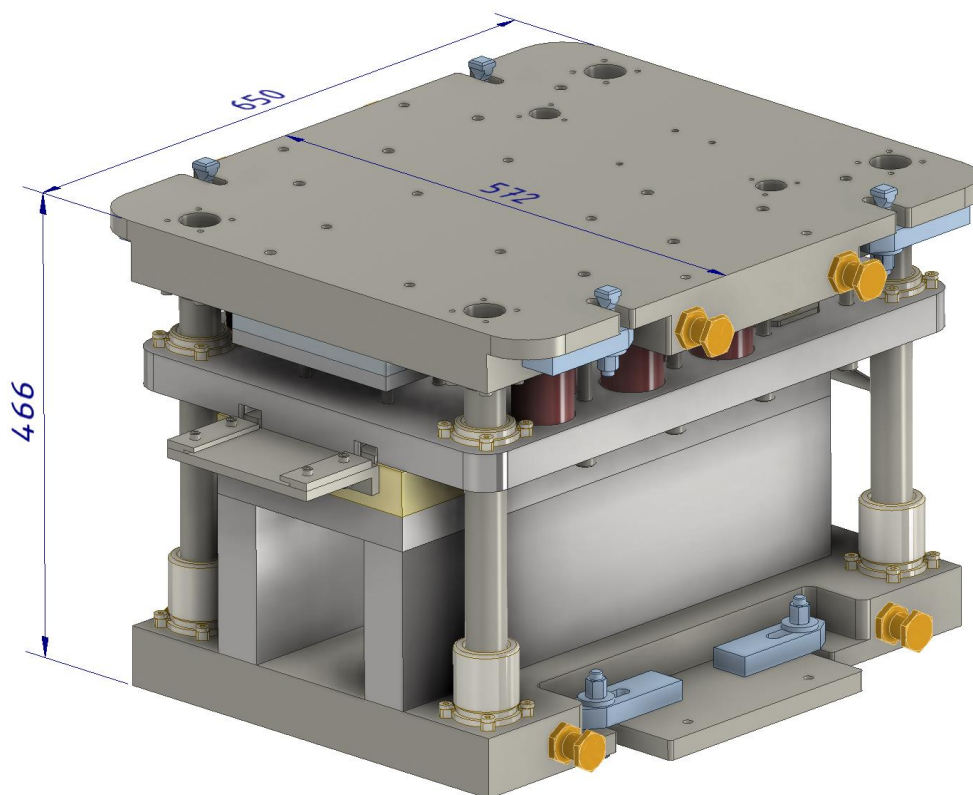


Obr. 61 Zobrazení přepravních prvků nástroje.

15 KONSTRUKCE NÁSTROJE

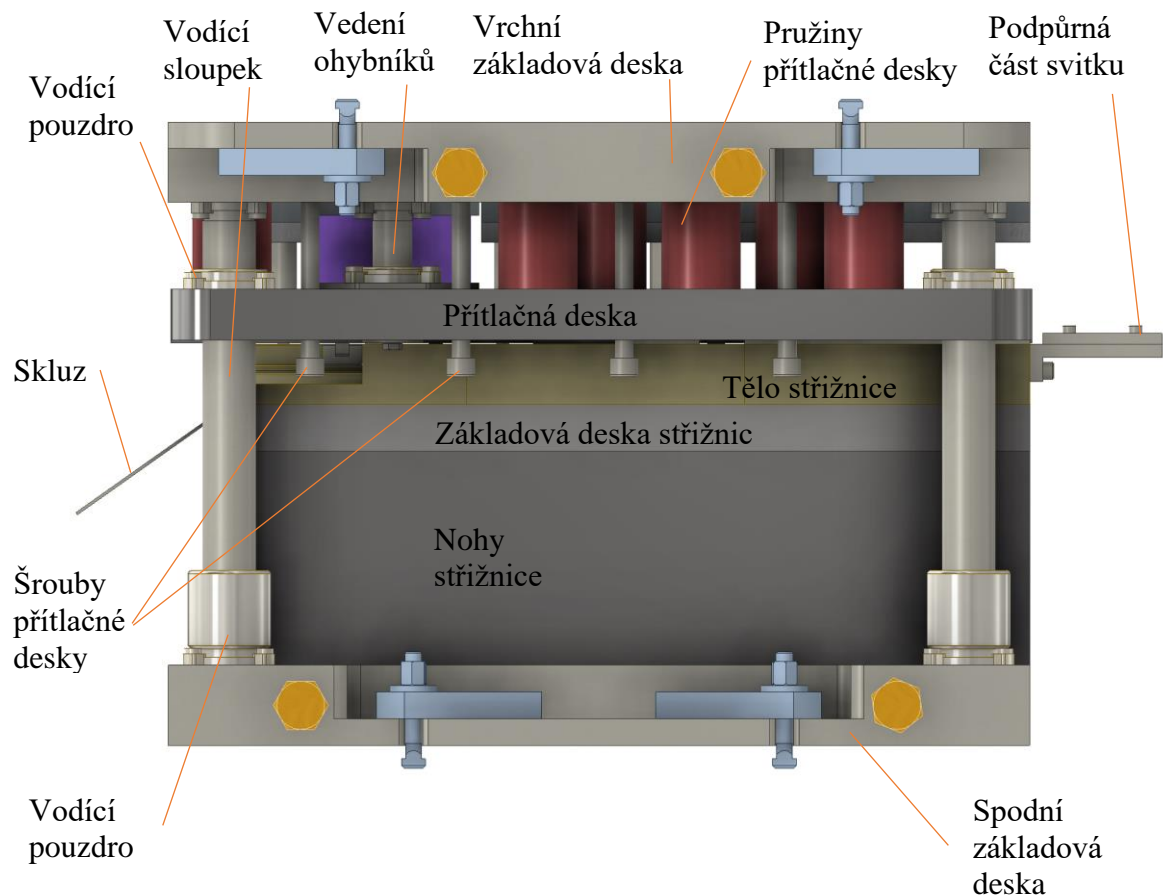
Konstrukce nástroje vychází z konvenčního návrhu sdružených nástrojů. Nástroj je rozdělen na základní dvě části, a to na pevnou (matrice) a pohyblivou (raznice). Obě tyto části se upínají pomocí upínek k lisu. Raznice se upíná na pohyblivou část lisu zvané beran, matrice se upíná na pevnou část lisu nazývanou stůl lisu.

Matrice se skládá z masivní základové desky, na které jsou umístěny nohy, mezi které propadá stříhaný odpad a lze mezi ně umístit například pásový dopravník pro odvod výstřižků. Na nohou je umístěna základová deska střížnice. Na základovou desku střížnice se upíná tělo střížnice, jež je rozděleno do třech částí pro zjednodušení montáže a výroby. Do samotného těla střížnice jsou v neposlední řadě zalisovaná střížná pouzdra a ohybníky z nástrojové oceli. Po stranách těla střížnice jsou dále umístěny naváděcí lišty nástroje k přesnému ustavení plechu. Čelo nástroje je doplněno o podpůrnou část, jež předchází k zvlnění zaváděného svitku do nástroje. Opačná strana nástroje disponuje skluzem, po kterém se hotové výrobny volným pádem dopravuje do přistavené bedny nebo krabice. Rohy matrice jsou také osazeny vodícími sloupky pro přesné navádění pohyblivé části nástroje.



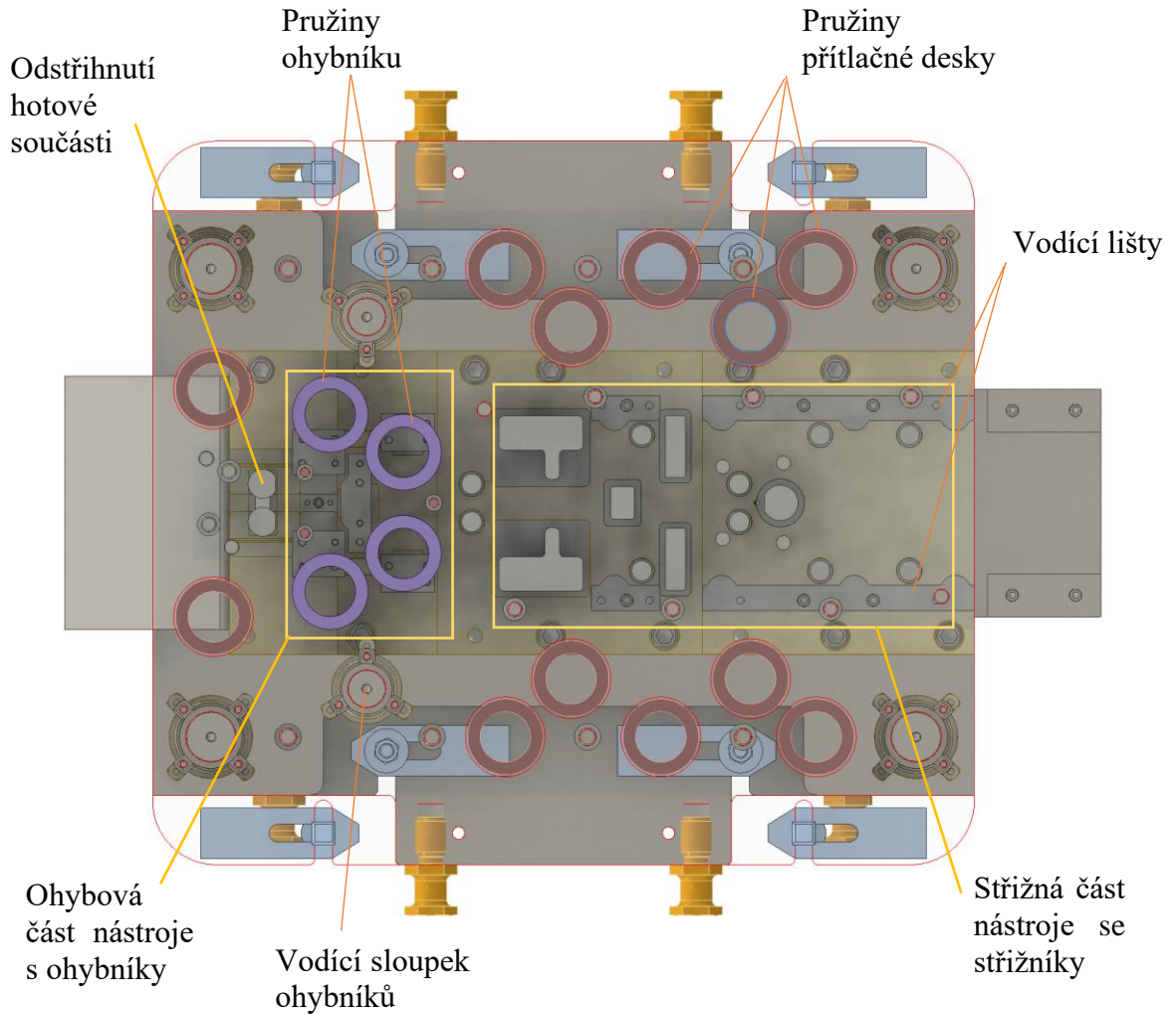
Obr. 62 Pohled na nástroj se základními rozměry v sevřeném stavu.

Pohyblivá část zvaná raznice disponuje vrchní základovou deskou. Pod základovou deskou lze najít opěrnou desku a upínací desku střižníků. Po obvodu vrchní základové desky jsou umístěny pružiny přítlačné desky. V rozích vrchní základové desky jsou umístěny také vodící sloupky pro přesné navádění matrice vůči raznici. Dále raznici tvoří oblast s ohybníky, jež jsou umístěny na odpruženém pouzdru. Nad odpruženým pouzdrzem jsou navrženy tlačné pružiny, které se opírají o opěrnou desku přišroubovanou k základové desce.

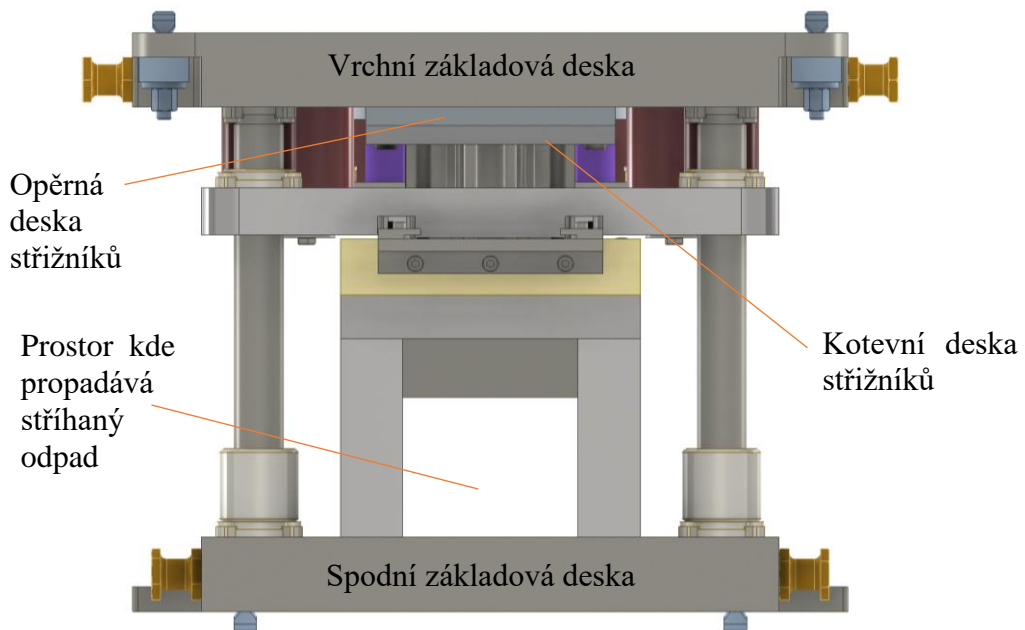


Obr. 63 Boční pohled na nástroj.

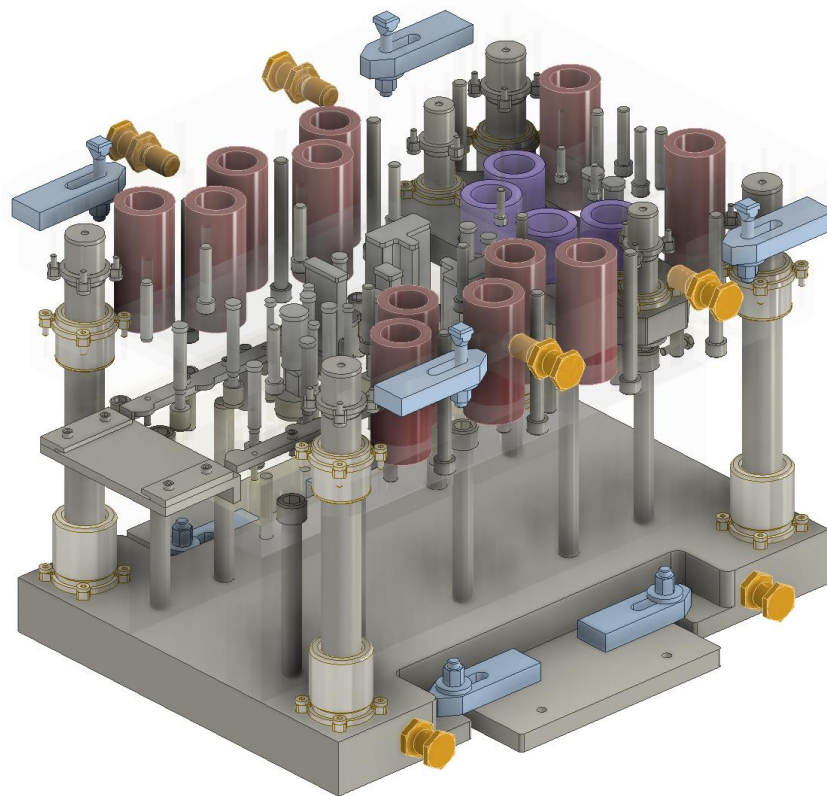
Aby se dosáhlo maximální přesnosti produkce jsou téměř všechny prvky a díly tvořící nástroj vůči sobě zalisovány. Vodící sloupky a pouzdra jsou zalisovány do základových desek či vodící desky a zajištěny pomocí upínek přes šrouby. Spodní základová deska, nohy střižnic, základová deska střižnice i samotné střižnice jsou vůči sobě přesně ustavovány pomocí kolíků a silově zajištěny šrouby. To platí i pro pohyblivou část nástroje tvořící vrchní základová deska, opěrné desky nebo kotevní desky střižníků. Detailnější pohled na nástroj je zachycen v dílčích obrázcích (obr. 62 až 68).



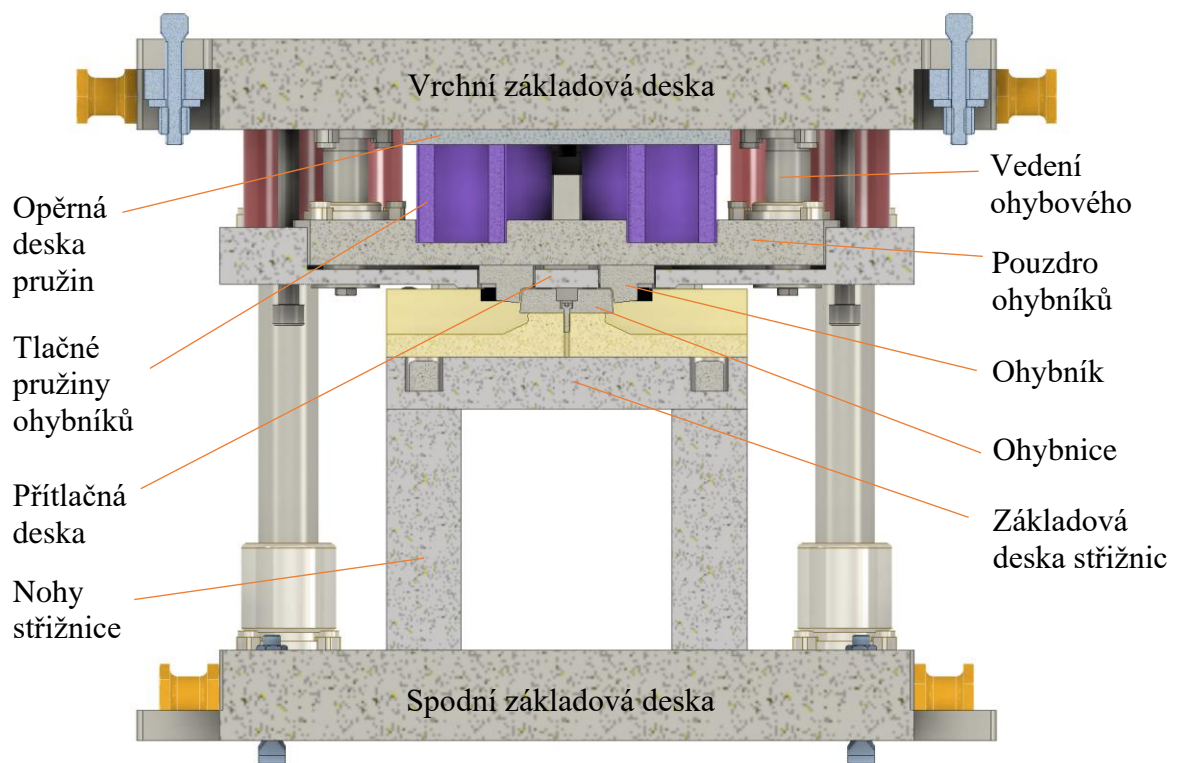
Obr. 64 Půdorysný pohled na nástroj s průhlednou vrchní základovou deskou.



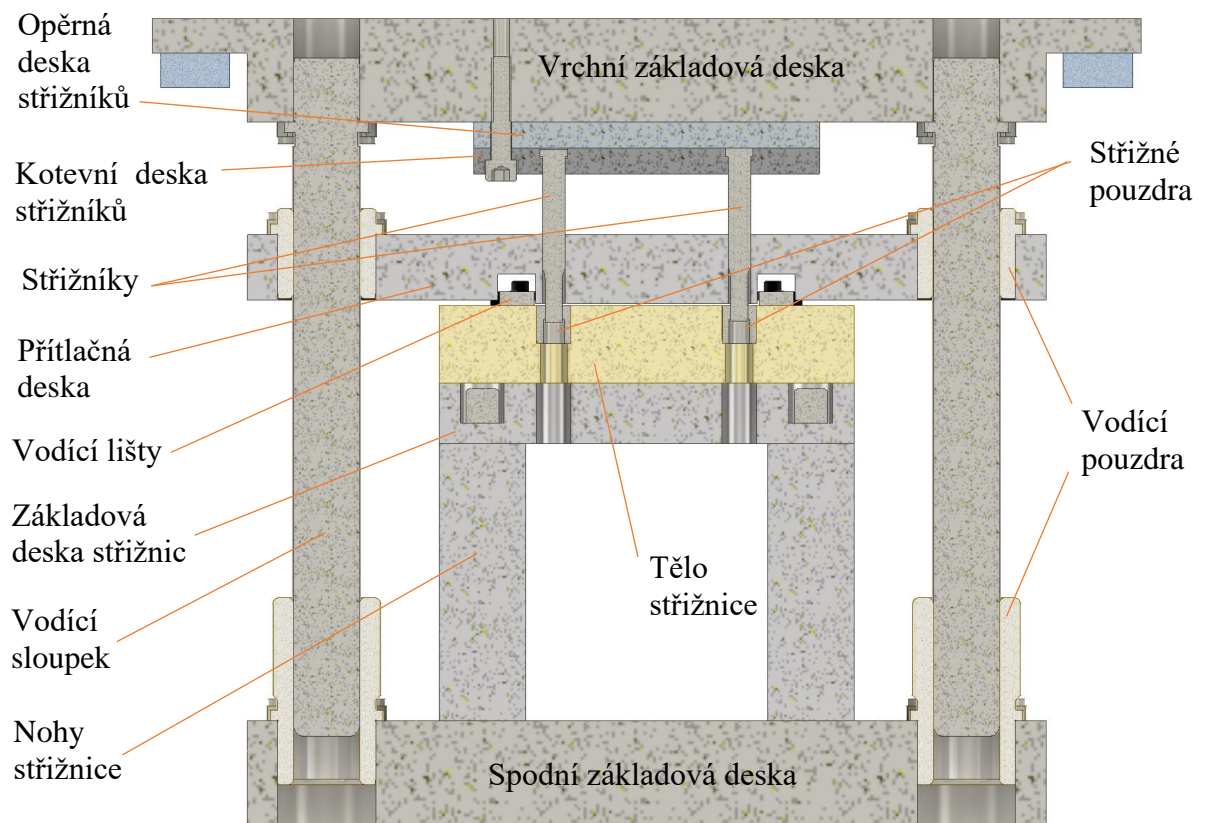
Obr. 65 Pohled na čelo nástroje



Obr. 66 Pohled na průhledný nástroj.



Obr. 67 Řez nástrojem v oblasti ohybníků.

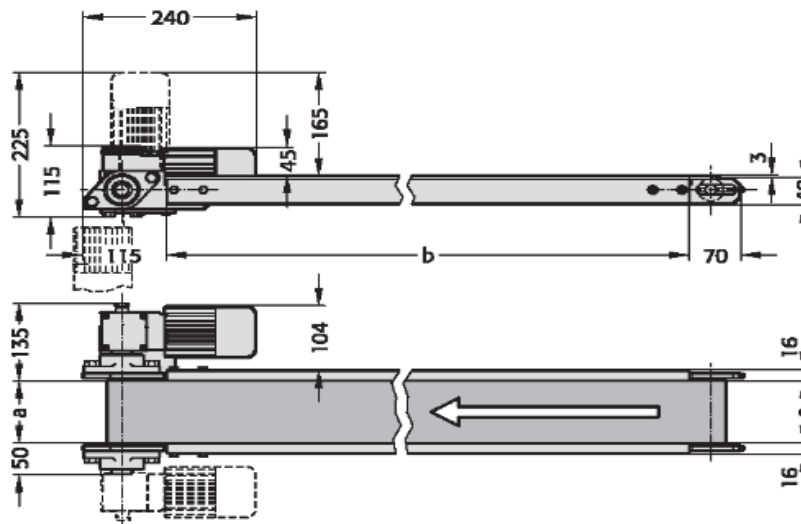


Obr. 68 Řez nástrojem v oblasti střížníků.

15.1 Volba odvodu odpadních výstřížků z nástroje

Při provozu nástroje dochází k vytváření odpadních výstřížků. Tyto výstřížky je nezbytné odvádět z prostoru nástroje kde se hromadí. Odvádění může být prováděno několika způsoby. Nejjednodušší a nejlevnější variantou odvodu výstřížků je umístění do prostoru pod střížnice „šuplíček“, kde se budou hromadit výstřížky. Nezbytné ovšem je, aby obsluha lisu kontrolovala zaplnění šuplíčku a vyprazdňovala jej.

Další možností odvádění výstřížků je pomocí pásového dopravníku (obr 69). Tento dopravník by se umístil mezi nohy, na kterých jsou umístěny střížnice. Díky tomu by docházelo ke kontinuálnímu odvodu odpadu a k shozu do přiřazené bedny pod koncem dopravníku. To by zapříčinilo vyšší automatizaci výrobní linky bez nutné neustálé kontroly obsluhy.



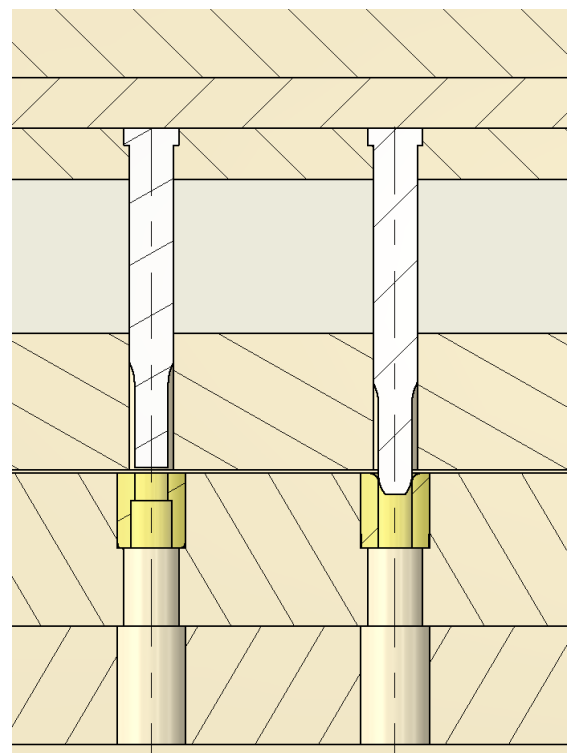
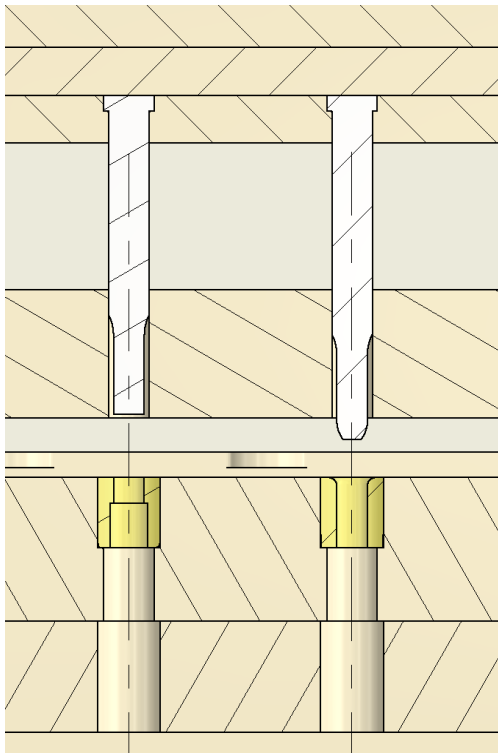
Obr. 69 Schéma navrhovaného dopravního pásu [29].

Hotové součásti oproti odpadním výstřížkům jsou pásem plesu vystrčeny na skluz a volným pádem spadávají do připravené krabice/bedny. Odvod odpadních výstřížků pomocí pásového dopravníku je vhodné realizovat na stranu nástroje, kde dochází k zavádění plechového svitku. Na opačnou stranu se umísťuje skluz s hotovými díly.

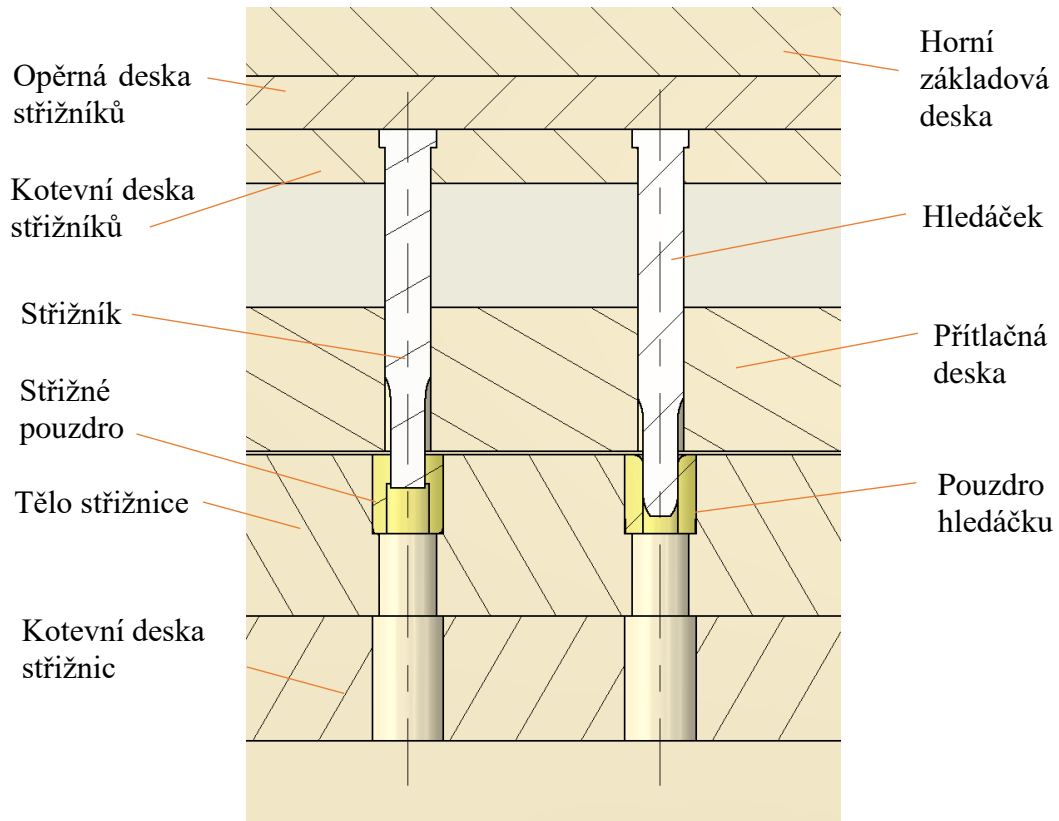
16 PRINCIP FUNKČNOSTI NÁSTROJE

Princip nástroje se skládá z několika základních fází. V první fázi je pohyblivá část nástroje v horní úvrati lisu (obr. 63), v této fázi dochází k zasouvání plechového svitku či jeho posuvu o přesně stanovený krok. Jakmile je svitek přibližně posunut o stanovený krok, dochází k posuvu pohyblivé části nástroje. Nástroje je navržen tak, že hledáčky ve výchozí poloze lehce přesahují přes přitlačnou desku. To při posuvu pohyblivé části nástroje zapříčiní, že nejprve dochází k ustavení půdorysné polohy plechového polotovaru do přesné polohy (obr. 71). Poté následuje přitlačení přitlačné desky k polotovaru. Jakmile je plechový svitek ustaven v přesné poloze a přitlačen přitlačnou deskou, dochází k samotnému tváření (děrování/ohýbání) (obr. 72).

Na většinu horní plochy polotovaru dosedá zmíněná přitlačná deska, která má několik zásadních funkcí. Tím, že přitlačná deska přitlačí tvářený plech k protilehlé desce, dochází k pevnému ustavení plechu. Důležité je, aby přitlačná deska dosedla na polotovar před tím, než dojde ke stříhání/ohýbání. Tím, že deska polotovar pevně ustaví, nedochází k žádnému postrannímu úhybu ani k zvlnění vlivem tváření. Po potřebných tvářecích operacích se nejprve vrací do výchozí polohy střížníky a ohybníky, až poté se zvedá přitlačná deska. Tím se zaručí to, že se plech při zpětném pohybu střížníku vlivem tření nezachytí o stěnu střížníku, a nedojde k nechtěnému nadzvednutí a vyosení polotovaru v tvářecím nástroji.



Obr. 70 Výchozí poloha nástroje (fáze 1). Obr. 71 Dosednutí přitlačné desky (fáze 2).



Obr. 72 Proces tváření (fáze 3).

17 VOLBA LISU

Jako vhodný lis pro řešenou výrobu a konstrukci nástroje se volí excentrický lis DM160 firmy Formetal (obr. 73). Tento lis je schopný vyvinout jmenovitou sílu 1600 kN, což je přibližně 3x více než minimální potřebná síla pro tváření. Výrobce lisu je schopný také upravit upínání dle požadavků zákazníka, včetně požadovaných upínacích T drážek, jejich velikosti a rozteč. Mimo upínací síly se bral v úvahu také počet zdvihů za minutu, které u excentrických lisů dosahuje vysokých hodnot a minimální počet zdvihů vzhledem k tváření ohybů nesmí být příliš vysoký, přičemž zvolený lis disponuje širokým rozsahem zdvihů od 30 do 75 za minutu.



Obr. 73 Zvolený typ lisu [32].

Tab. 12 Technické parametry excentrického lisu DM160. [32]

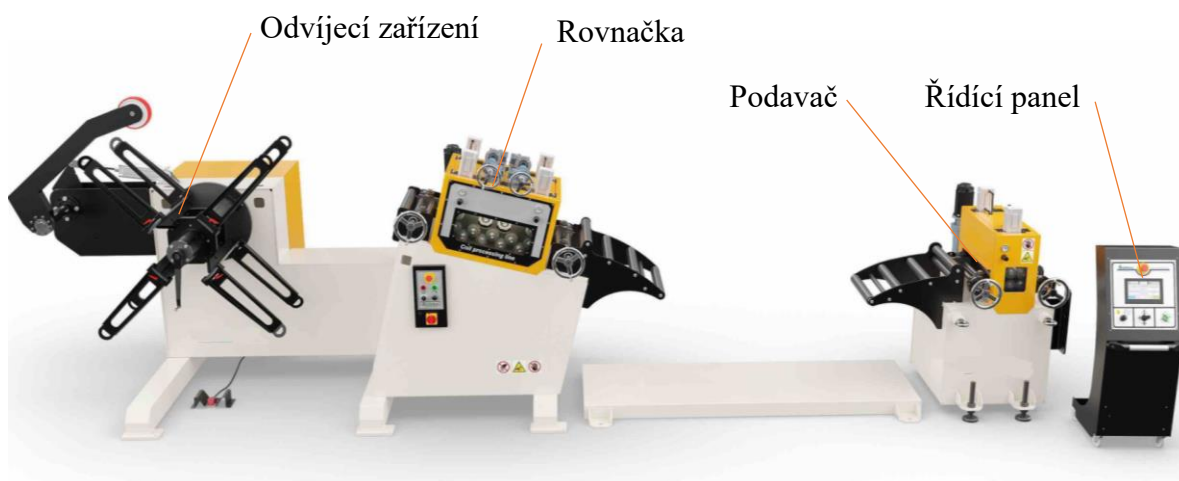
PARAMETR	Jednotka	CC100
Jmenovitá síla	kN	1 600
Nominální rychlost	zdvihů/min	50
Variabilní rychlost	zdvihů/min	30 ÷ 75
Nastavení zdvihu	mm	25 ÷ 160
Rozměry stolu	mm	1 600 x 1 000
Rozměry beranu	mm	1 600 x 1 000
Uzavřená výška	mm	450
Pracovní výška	mm	965
Výkon motoru	kW	18,5
Rozměry lisu	m	1,65 x 1,86 x 4,25
Hmotnost lisu	kg	24 000

17.1 Dávkovací linka

Výrobní lis je také nezbytné doplnit o dávkovací linku, ta byla zvolena od firmy TechnicMachines (obr. 74). Dávkovací linka je flexibilní a lze ji snadno použít na jiných lisech či řešeních výroby jiných dílů. Také se zaměřuje na minimalizaci potřebného prostoru ve výrobní dílně a optimalizaci celkového prostoru. [31]

Dávkovací linka tvoří odvíjecí zařízení plechového svitku s motorem, jenž disponuje přítlačným ramenem a utahovákem cívky do stálé polohy, rovnačku plechu s převodovkou a samotný podavač zavádějící plechový svitek do sdruženého nástroje upnutého v lisu. Podavač je řešen výškově stavitelnými nohami pro různé výšky stolů lisu a jej možné nastavit pro posun plechového svitku o přesně požadovaný krok. Celá dávkovací linka je řízena přes dotykový panel. [31]

Tuto linku je možné použít pro plechové svitky do hmotnosti 4 tun s rozsahem tloušťky plechu od 0,2 mm do 2 mm. Maximální možná šířka cívky je 800 mm. [31]



Obr. 74 Dávkovací linka [31].

18 DISKUZE VÝSLEDKŮ

Záměrem diplomové práce bylo navrhnout konstrukci sdruženého nástroje pro zadanou plechovou součást. Nejprve bylo nutné se seznámit a nabýt základní povědomí o tom, jaká by byla nejlepší a nejekonomičtější možnost produkce. Tato studie probíhala v rámci literární rešerše a teoretické části diplomové práce.

Po seznámení se zadanou problematikou bylo nutné začít navrhovat výrobu plechového dílce. Jedním z klíčových prvků bylo navrhnout plán výroby. V plánu výroby se řešily různé typy umístění vyráběného dílce na plechový svitek, tak aby výroba byla co nejefektivnější a vedla k nejjednodušší konstrukci sdruženého nástroje. Po úspěšném stanovení výrobního plánu následovalo vyřešení nezbytných výpočtů nutných k ověření správné konstrukce nástroje.

Během návrhu výroby a výpočtu nezbytných parametrů začal návrh sdruženého nástroje v programu Inventor. Pro vytváření celkového modelu se využily pomocné katalogy a modely firmy Fibro, která se specializuje na výrobu různých nástrojů včetně těch střížných. Celý návrhový proces řešil řadu úvah a změn, jež jsou ve vývoji standardem a vedou k návrhu co nejlepších výsledků.

S vytvořením 3D modelu nástroje následovalo zkreslení 2D dokumentace pro zobrazení přehledné funkčnosti. 2D dokumentace v podobě výkresů sestavení je rovněž doplněna o kusovník popisující přehled jednotlivých částí nástroje. V neposlední řadě se volil optimální lis s potřebnými parametry, kterými jsou například lisovací tlak, typ upínání, velikost stolu nebo uzavřená výška lisu.

Závěrem lze konstatovat, že byla navržena optimální možnost produkce zadaného dílu a vyřešena vhodná konstrukční varianta sdruženého nástroje.

ZÁVĚR

Cílem diplomové práce byl návrh konstrukce sdruženého nástroje pro zadaný plechový díl. Od zadaného dílu se následně odvíjela teoretická část, v níž byly popsány různé možné způsoby produkce zadaného dílu a vybrány ty nejlepší jenž je stříhání v kombinaci s ohýbáním ve sdruženém nástroji. Stříhání a ohýbání je následně popsáno v úvodní části teoretické práce a k závěru doplněno o popis funkce sdruženého nástroje, vhodné materiály a základ výrobní linky.

Praktická část se zaměřuje na konstrukci sdruženého nástroje. Nejprve bylo nutné navrhnout nejvhodnější výrobní plán, který byl klíčový pro vypracování dalších bodů. Po návrhu výrobního plánu bylo nezbytné ověřit technologickou vyrobiteľnosť, spočítat všechny nutné síly pro tváření a následně stanovit vhodné rozměry střížníků a střížnic. V dalších krocích se navrhovaly a popisovaly jednotlivé části sdruženého nástroje. Nástroj byl také vytvořen jako 3D model v programu Inventor. K práci je následně přiložena sestava nástroje s kusovníkem. V neposlední řadě byl vybrán vhodný lis pro výrobu doplněný o další stroje tvořící výrobní linku.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

1. GAJDOŠ, František et al. *Teorie tváření*. Vyd. 1. Brno: Rektorát Vysokého učení technického v Brně, 1988. 141 s.
2. TENRAL. *Metal stamping parts* [online]. 2023 [cit. 2024-02-21]. Dostupné z: <https://www.tenral.com/metal-stamping-services/>
3. DVOŘÁK, Milan, František GAJDOŠ a Karel NOVOTNÝ. *Technologie tváření: plošné a objemové tváření*. Brno: CERM, 2007. 169 s. ISBN 978-80-214-3425-7.
4. FOREJT, Milan a Miroslav PÍŠKA. *Teorie obrábění, tváření a nástroje*. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2006, 225 s. ISBN 80-214-2374-9.
5. HU, Ping, Ning MA a Yi-guo ZHU. *Theories, methods and numerical technology of sheet metal cold and hot forming: analysis, simulation and engineering applications*. London: Springer, [2013], xiv, 210 s. Springer series in advanced manufacturing. ISBN 978-1-4471-4098-6.
6. WANG, Darren, ed. *Handbook of metal forming process*. New York: NY research press, [2015], vi, 212 s. ISBN 978-1-63238-253-5.
7. WAYKEN. *Metal Stamping Processes* [online]. 2023 [cit. 2024-02-22]. Dostupné z: <https://waykenrm.com/blogs/sheet-metal-stamping/>
8. AUTODESK. *Waterjet Cutting* [online]. 2023 [cit. 2024-02-22]. Dostupné z: <https://www.autodesk.com/solutions/water-jet-cutting-software>
9. DAVIM, J. Paulo. *Sustainable Machining*. 1. Cham: Springer International Publishing, 2017. ISBN 9783319519593. ISSN 2195-0911. Dostupné z: <https://doi.org/10.1007/978-3-319-51961-6>.
10. SADÍLEK, Marek. *Nekonvenční metody obrábění. II, obrábění laserem, plazmou, ultrazvukem, elektronovým, iontovým a vodním paprskem*. Ostrava: VŠB – Technická univerzita Ostrava, 2016. ISBN 978-80-248-3944-8.
11. PROTOTECHLASER. *Top Reasons to Use Laser Cutting for Sheet Metal* [online]. 2023 [cit. 2024-02-22]. Dostupné z: <https://ptlaser.com/top-reasons-to-use-laser-cutting-for-sheet-metal/>
12. *Progressive Stamping Processes* [online]. Berlin: ResearchGate, 2015 [cit. 2024-01-26]. Dostupné z: https://www.researchgate.net/figure/A-schematic-procedure-of-a-progressive-stamping-process_fig1_2823888 19
13. ALTAN, Taylan a TEKKAYA, A. Erman. *Sheet metal forming*. Materials Park, Ohio: ASM International, 2012. ISBN 9781615038442.
14. MISUMI. *Bending Force* [online]. 2012 [cit. 2024-02-22]. Dostupné z: <https://www.misumi-techcentral.com/tt/en/press/2012/06/126-press-forming-force-3-bending-force.html>
15. ČSN 22 7340. *Ohýbadla: Všeobecné požadavky na konstrukci a výpočet*. Praha: Federální úřad pro normalizaci, 1990.
16. MARCINIAK, Z. *Teorie tváření plechů*. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1964.

17. NOVOTNÝ, Karel. *Tvářecí nástroje*. Brno: VUT Brno, 1992, 186 s. ISBN 80-214-0401-9
18. MEUSBURGER. *Srovnání různých upevnění střížníků* [online]. 2019 [cit. 2024-02-22]. Dostupné z: <https://www.meusburger.com/CS/CZ/presse/comparison-of-different-punch-attachment-options>
19. *Technologie plošného tváření – stříhání* [online]. Liberec: Technická univerzita Liberec [cit. 2024-03-01]. Dostupné z: http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta_tkp/sekce/06.htm
20. LEINVEBER, Jiří a VÁVRA, Pavel. *Strojnické tabulky: pomocná učebnice pro školy technického zaměření*. Paté upravené vydání. Úvaly: Albra, 2011. ISBN 978-80-7361-081-4.
21. ELUC. *Nástrojové materiály* [online]. 2018 [cit. 2024-02-22]. Dostupné z: <https://eluc.ikap.cz/verejne/lekce/1206>
22. MACHEK, Václav, Jaromír SODOMKA a České vysoké učení technické v Praze. [Nauka o materiálu], 1. část: *Struktury kovových materiálů*. V Praze: Nakladatelství ČVUT, 2006, s. 8. ISBN 80-01-03379-1. Dostupné také z: <https://www.digitalniknihovna.cz/mzk/uuid/uuid:a7ceccd0-ac3c-11e3-9d7d-005056827e51>
23. *Bezpečnost obráběcích a tvářecích strojů – Lisy – Část 1: Obecné bezpečnostní požadavky*. ČSN EN ISO 16092-1 (210705). 2019.
24. KOTOUČ, Jiří, et al. *Tvářecí nástroje*. ČVUT Praha. 1. vyd. Praha: Vydavatelství ČVUT, 1993. 349 s. ISBN 80-01-01003-1.
25. MACHINEMFG. *Automatic Stamping Production Line Basics*. [online]. 2023 [cit. 2024-03-30]. Dostupné z: <https://www.machinemfg.com/automatic-stamping-production-line/>
26. THE FABRICATOR. *Die Science: Unique forming short cuts*. THE [online]. 2006 [cit. 2024-03-30]. Dostupné z: <https://www.thefabricator.com/thefabricator/article/bending/unique-forming-short-cuts>
27. BINH DUONG MOLD. *Progressive Die design* [online]. 2023 [cit. 2024-03-30]. Dostupné z: <https://cz.pinterest.com/binhduongmold/>
28. VORTOOL MANUFACTURING. *Progressive metal stamping die*. [online]. 2023 [cit. 2024-03-30]. Dostupné z: <https://www.vortool.com/re-design-progressive-stamping-die>
29. FIBRO GMBH. *FIBRO NORMALIEN* [online]. 2024 [cit. 2024-04-06]. Dostupné z: <https://www.fibro.de/>
30. ČSN 22 6015. *Stříhadla a střížné vřely: Směrnice pro výpočet a konstrukci*. Praha: Federální úřad pro normalizaci, 1977.
31. TECHNIC MACHINES. *Dávkovací linka* [online]. 2023 [cit. 2024-04-28]. Dostupné z: <https://www.technicmachines.com/coil-feeder-machine-system/>
32. FORMETAL. *Excentrické lisy* [online]. 2023 [cit. 2024-04-28]. Dostupné z: <https://www.formetal.cz/stroje/vystrednikove-lisy-model-cc/>

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

Symboly

a	rozměrová vzdálenost otvoru od kraje pásu	[mm]
A	délka výstřižku	[mm]
A _a	tažnost	[mm]
A _e	výrobní rozměr střižnice	[mm]
A _j	jmenovitý rozměr	[mm]
A _k	výrobní rozměr střižníku	[mm]
A _s	vykonaná práce	[J]
B	šířka výstřižku	[mm]
b	rozměrová vzdálenost otvoru od kraje pásu	[mm]
c ₁	součinitel pro volbu střižné mezery	[-]
c ₂	součinitel ohybu pro V ohyb	[-]
c ₃	součinitel ohybu pro L ohyb	[-]
c ₄	technologický součinitel pro minimální ohyb	[-]
E	můstek	[mm]
E _T	modul pružnosti v tahu	[MPa]
f	velikost vychýlení při ohybu	[μm]
F	postranní odpad	[mm]
f _l	minimální vzdálenost ramene	[mm]
F _k	velikost kalibrační síly	[N]
F _{max}	střižná síla s maximálním účinkem	[N]
F _o	celková ohybová síla	[N]
F _{OL}	síla pro "L" ohyb	[N]
F _{OV}	síla pro "V" ohyb	[N]
F _s	střižná síla	[N]
h _{el}	hloubka vniknutí střižníku do materiálu – 1. fáze stříhu	[mm]
h _{pl}	hloubka vniknutí střižníku do materiálu – 2. fáze stříhu	[mm]
h _s	hloubka vniknutí střižníku do materiálu – 3. fáze stříhu	[mm]
I	kvadratický moment	[mm ⁴]
K	krok	[mm]
k _l	součinitel otupení	[-]
k _s	střižný odpor	[MPa]

L	rozměrová vzdálenost	[mm]
l_1	délka úseku	[mm]
l_2	délka úseku	[mm]
l_{krit}	maximální přípustná délka namáhané části	[mm]
l_o	délka ohnutého úseku	[mm]
l_u	rameno ohybu	[mm]
l_v	vzdálenost podpor při ohybu	[mm]
n	koeficient bezpečnosti	[-]
o	obvod stříhu	[mm]
p	měrný kalibrační tlak	[MPa]
P	přípustná míra opotřebení	[-]
r	exponent normálové anizotropie	[-]
R_a	drsnost povrchu	[μm]
R_e	mez kluzu	[MPa]
R_m	mez pevnosti	[MPa]
R_{max}	maximální poloměr ohybu	[mm]
R_{min}	minimální poloměr ohybu	[mm]
R_o	poloměr ohybu	[mm]
S	plocha	[mm^2]
Š	šířka pásu	[mm]
š	šířka pásu	[mm]
t	tloušťka materiálu	[mm]
v	střížná vůle	[mm]
x	velikost posunutí neutrální osy	[mm]
Z	střížná mezera	[mm]
Z_1	kontrakce	[-]
ε_{max}	mezní prodloužení	[MPa]
$\sigma_{dov,s}$	maximální dovolená pevnost v tahu	[MPa]
$+\sigma$	tahová složka napětí	[MPa]
α	úhel ohybu	[$^\circ$]
δ_e	výrobní tolerance střížnice	[-]
δ_k	výrobní tolerance střížníku	[-]
ρ	poloměr neutrální vrstvy	[mm]

$-\sigma$	tlaková složka napětí	[MPa]
τ_s	smykové napětí ve střihu	[MPa]
γ	úhel ohnutého úseku deformace	[°]
π	Ludolfovo číslo	[-]
φ	úhel střihu	[°]

Zkratky

Al	chemická značka hliníku
Co	chemická značka kobaltu
Cr	chemická značka chromu
Cu	chemická značka mědi
ČSN	česká národní norma
Erichs	hodnota Erichsenovy zkoušky
Fe	chemická značka železa
H5/js4	toleranční zkratky pro přesnost výroby
H6/j6	toleranční zkratky pro přesnost výroby
HRC	tvrdost dle Rockwella
HV	tvrdost dle Vickerse
ISO	mezinárodní organizace pro normalizaci
IT	přesnost výroby
Mg	chemická značka hořčíku
Mn	chemická značka manganu
N	chemická značka dusíku
Ni	chemická značka niklu
Si	chemická značka křemíku
Sn	chemická značka cínu
Ti	chemická značka titanu
V	chemická značka vanadu
W	chemická značka wolframu

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1 Příklady součástí vyrobených ve sdruženém nástroji [2].	9
Obr. 2 Ilustrace řešené součásti	11
Obr. 3 Stříhání [7].	13
Obr. 4 Řezání laserem [11].	14
Obr. 5 Řezání vodním paprskem [8].	15
Obr. 6 Schéma příkladu stříhání ve sdruženém nástroji [12].	15
Obr. 7 Průběh stříhání [4].	17
Obr. 8 Zobrazení pásem střížné plochy [4].	18
Obr. 9 Vliv střížné mezery na kvalitu střížné plochy [4].	19
Obr. 10 Střížná síla a práce dle tvaru střížníku [19].	20
Obr. 11 Zakončení pracovní části střížníků [19].	22
Obr. 12 Konstrukce střížníků [17].	22
Obr. 13 Upínání střížníků [18].	23
Obr. 14 Typy střížnic dle konstrukce [17].	24
Obr. 15 Typy střížnic dle tvarů střížních ploch [17].	24
Obr. 16 Schéma jednoduchého střížného nástroje [17].	25
Obr. 17 Schéma ohybu [3].	27
Obr. 18 Deformace v závislosti na druhu napětí při ohybu [16].	27
Obr. 19 Schéma L ohybu [14].	28
Obr. 20 Schéma V ohybu [14].	28
Obr. 21 Schéma odpružení [15].	29
Obr. 22 Schéma ohýbacího nástroje [4].	31
Obr. 23 Vložky ohýbacího nástroje [4].	31
Obr. 24 Technologické parametry u stříhání [4].	33
Obr. 25 Ohýbání dle směru vláken [4].	34

Obr. 26 Technologické parametry při ohýbání [4].	34
Obr. 27 Průběh kalení. [22]	40
Obr. 28 Příklad mechanického lisu [23].	43
Obr. 29 Typy výrobních linek [25].	44
Obr. 30 Schéma progresivní výrobní linky [25].	46
Obr. 31 Schéma tandemové linky [25].	46
Obr. 32 Výrobní linka s více stanicemi na jednom stole lisu [25].	46
Obr. 33 Horizontální tváření [26].	48
Obr. 34 Zpětné tváření pomocí kyvadla [26].	48
Obr. 35 Příklad sdruženého nástroje [27].	48
Obr. 36 Typy upevnění vodících sloupků [29].	49
Obr. 37 Velikost vychýlení zatíženého sloupku podle typu upevnění [29].	49
Obr. 38 Velikost vychýlení sloupku dle typu uložení při použití vodící desky [29].	50
Obr. 39 Vedení ze sintrovaného železa [29].	51
Obr. 40 Vedení s bronzovou výstelkou [29].	51
Obr. 41 Vedení s pevným mazivem [29].	51
Obr. 42 Kuličkové vedení [29].	51
Obr. 43 Válečkové vedení [29].	51
Obr. 44 Náčrt řešeného dílce.	54
Obr. 45 Uspořádání dílce č.1.	56
Obr. 46 Uspořádání dílce č.2.	56
Obr. 47 Uspořádání dílce č.3.	56
Obr. 48 Rozměrové parametry výstřižku.	57
Obr. 49 Finální plán výroby.	58
Obr. 50 Zobrazení ohybů součástí.	59
Obr. 51 Výpočet délky rozvinutých ploch v programu Inventor.	60

Obr. 52 Příklad zvolených typů nástroje [29].	63
Obr. 53 Předepsaný rozměr na výkrese součásti	64
Obr. 54 Stříhaná tvarová díra.	65
Obr. 55 Zvolený typ vodícího sloupku [29].	68
Obr. 56 Vodící pouzdra [29].	69
Obr. 57 Zvolený typ hledáčku [29].	70
Obr. 58 Schéma pružiny [29].	71
Obr. 59 Zvolený typ upínání nástroje.	72
Obr. 60 Zvolený nosný šroub [29].	73
Obr. 61 Zobrazení přepravních prvků nástroje.	73
Obr. 62 Pohled na nástroj se základními rozměry v sevřeném stavu.	74
Obr. 63 Boční pohled na nástroj.	75
Obr. 64 Půdorysný pohled na nástroj s průhlednou vrchní základovou deskou.	76
Obr. 65 Pohled na čelo nástroje	76
Obr. 66 Pohled na průhledný nástroj.	77
Obr. 67 Řez nástrojem v oblasti ohybníků.	77
Obr. 68 Řez nástrojem v oblasti střižníků.	78
Obr. 69 Schéma navrhovaného dopravního pásu [29].	79
Obr. 70 Výchozí poloha nástroje (fáze 1).	80
Obr. 71 Dosednutí přítlačné desky (fáze 2).	80
Obr. 72 Proces tváření (fáze 3).	81
Obr. 73 Zvolený typ lisu [32].	82
Obr. 74 Dávkovací linka [31].	83

SEZNAM TABULEK

Tab. 1 Volba střížné vůle dle materiálu. [4]	19
Tab. 2 Technologický koeficient c_3 pro minimální ohyb. [4]	30
Tab. 3 Rozměry pro technologické parametry u stříhání. [4]	33
Tab. 4 Rozdělení ocelí třídy 19. dle třetí číslice základní číselné značky. [20].....	35
Tab. 5 Vybrané materiály vhodné ke tváření. [20]	37
Tab. 6 Typy výrobních linek. [25]	45
Tab. 7 Hodnoty součinitele x . [4].....	60
Tab. 8 Hodnoty součinitele k_2 . [4].....	60
Tab. 9 Stanovení rozměrů střížníku a střížnice pro otvor $\varnothing 10$ [mm].....	64
Tab. 10 Stanovení rozměrů střížníku a střížnice pro otvor $\varnothing 3,4$ [mm].....	65
Tab. 11 Stanovení rozměrů střížníku a střížnice pro tvarovou díru [mm]	65
Tab. 12 Technické parametry excentrického lisu DM160.....	82

SEZNAM PŘÍLOH

Příloha P1: Stanovení součinitele c pro ohýbání

Příloha P2: Stanovení kroku a můstků u stříhání

Příloha P3: Měrný tlak k vyrovnání výlisku

Příloha P4: Nepředepsané úchylné mezních rozměrů

Příloha P5: Tolerance a přípustné míry opotřebení pracovních částí stříhadel

Seznam výkresů:

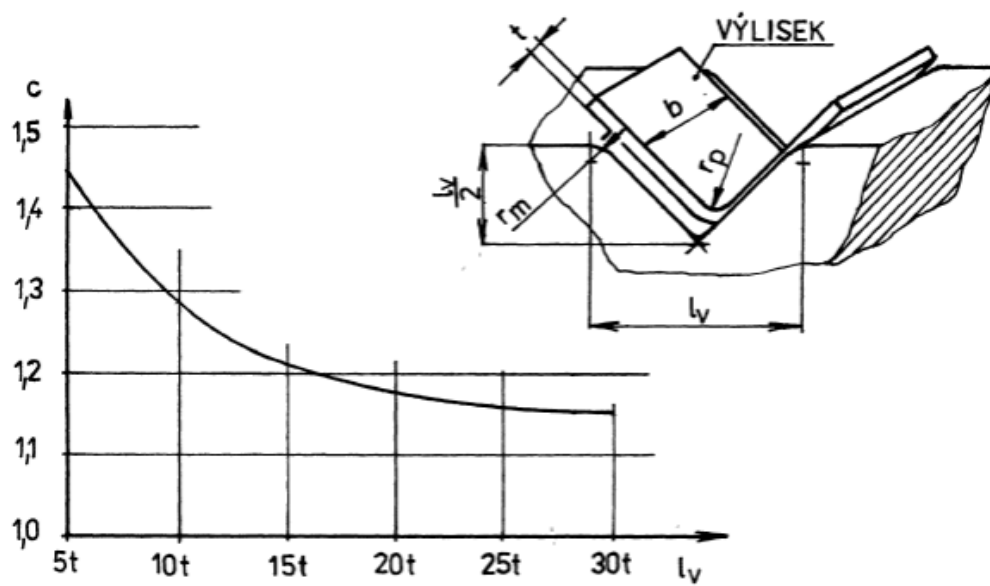
Řešený díl

Sestava nástroje

Pohyblivá část nástroje

Pevná část nástroje

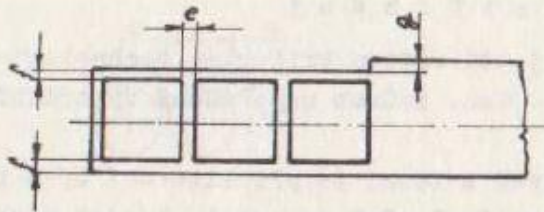
PŘÍLOHA P1: STANOVENÍ SOUČINITELE C PRO OHÝBÁNÍ



Obr. 5

PŘÍLOHA P2: STANOVENÍ KROKU A MŮSTKŮ U STRÍHÁNÍ

Tab. 17



Tl. mat.	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

PŘÍLOHA 3: MĚRNÝ TLAK K VYROVNÁNÍ VÝLISKU

ČSN 22 7340

kde F_v je síla potřebná k vyrovnání v N
 S vyrovnávaná plocha v mm²
 p měrný tlak v MPa podle tab. 4

Tab. 4. Měrný tlak k vyrovnání výlisku

Materiál		$t < 3$ mm	$t = 3$ až 10 mm
		p (MPa)	
Hliník		30 až 40	50 až 60
Mosaz		60 až 80	80 až 100
Ocel	$R_m < 440$ MPa	80 až 100	100 až 120
	$R_m > 440$ MPa	100 až 120	120 až 150

PŘÍLOHA 4: NEPŘEDEPSANÉ MEZNÍ ÚCHYLKY DÉLKOVÝCH ROZMĚRŮ

Nepředepsané mezní úchytky délkových rozměrů

TRÍDA PŘESNOSTI		MEZNÍ ÚCHYLKY PRO ZÁKLADNÍ ROZSAH ROZMĚRŮ							
OZNAČENÍ	NÁZEV	0,5 DO 3	PŘES 3 DO 6	PŘES 6 DO 30	PŘES 30 DO 120	PŘES 120 DO 400	PŘES 400 DO 1000	PŘES 1000 DO 2000	PŘES 2000 DO 4000
f	JEMNÁ	±0,05	±0,05	±0,1	±0,15	±0,2	±0,3	±0,5	-
m	STŘEDNÍ	±0,1	±0,1	±0,2	±0,3	±0,5	±0,8	±1,2	±2,0
c	HRUBÁ	±0,2	±0,3	±0,5	±0,8	±1,2	±2,0	±3,0	±4,0
v	VELMI HRUBÁ	-	±0,5	±1	±1,5	±2,5	±4,0	±4,0	±8,0

PŘÍLOHA P5: TOLERANCE A PŘÍPUSTNÉ MÍRY OPOTŘEBENÍ PRACOVNÍCH ČÁSTÍ STŘIHADEL

Příloha k ČSN 22 6015

Tab. 18. Tolerance a přípustné míry opotřebení pracovních částí stříhaadel

Rozměry v mm

Tolerance součástky TS		Přípustná míra opotřebení P	Výrobní tolerance	
od	do		Střížnice - TE	Střížnku - TA
0,020	0,025	0,020	0,007	0,004
0,025	0,030	0,025	0,008	0,005
0,030	0,035	0,030	0,009	0,006
0,035	0,040	0,035	0,011	0,008
0,040	0,045	0,040	0,013	0,009
0,045	0,050	0,045	0,016	0,011
0,050	0,060	0,050	0,019	0,013
0,060	0,070	0,060	0,022	0,015
0,070	0,080	0,070	0,025	0,018
0,080	0,090	0,080	0,029	0,020
0,090	0,100	0,090	0,032	0,023
0,100	0,120	0,100	0,036	0,025
0,120	0,140	0,110	0,036	0,025
0,140	0,160	0,120	0,040	0,027
0,160	0,180	0,140	0,046	0,030
0,180	0,200	0,160	0,054	0,035
0,200	0,220	0,170	0,063	0,040
0,220	0,240	0,180	0,072	0,046
0,240	0,260	0,200	0,081	0,052
0,260	0,280	0,220	0,089	0,057
0,280	0,300	0,230	0,089	0,057
0,300	0,320	0,250	0,100	0,062
0,320	0,350	0,270	0,100	0,062
0,350	0,370	0,290	0,120	0,074
0,370	0,400	0,310	0,120	0,074
0,400	0,430	0,330	0,140	0,087
0,430	0,460	0,350	0,140	0,087
0,460	0,500	0,380	0,160	0,100
0,500	0,530	0,410	0,160	0,100
0,530	0,560	0,430	0,160	0,100
0,560	0,600	0,460	0,190	0,120
0,600	0,650	0,500	0,190	0,120
0,650	0,700	0,540	0,220	0,140
0,700	0,750	0,580	0,220	0,140
0,750	0,800	0,620	0,250	0,160
0,800	0,900	0,680	0,250	0,160
0,900	1,000	0,760	0,290	0,185
1,000	1,200	0,880	0,320	0,210
1,200	1,400	1,000	0,360	0,230
1,400	víc	1,200	0,400	0,250