



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE

INSTITUTE OF MANUFACTURING TECHNOLOGY

VÝROBA ZARÁŽKY

MANUFACTURING OF BACKSTOP

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Jan Toufar

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Kamil Podaný, Ph.D.

BRNO 2020

Zadání bakalářské práce

Ústav:	Ústav strojírenské technologie
Student:	Jan Toufar
Studijní program:	Strojírenství
Studijní obor:	Strojírenská technologie
Vedoucí práce:	Ing. Kamil Podaný, Ph.D.
Akademický rok:	2019/20

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

Výroba zarážky

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Jedná se o návrh technologie výroby zaoblené zarážky z ocelového pozinkovaného plechu. Součástka je prostorového tvaru s otvory a bude vyráběna technologií stříhání a ohýbání. Na tuto problematiku bude také zaměřena literární studie.

Cíle bakalářské práce:

- zhodnotit technologičnost zarážky,
- provést rozbor možných technologií výroby se zhodnocením jejich vhodnosti a nevhodnosti,
- vypracovat aktuální literární studii se zaměřením na zvolenou technologii,
- zpracovat návrh výroby doložený nezbytnými technologickými a kontrolními výpočty,
- navrhnout a popsat tvářecí nástroj,
- zhotovit výkres nástroje, kusovník a výkresy vybraných pozic.

Seznam doporučené literatury:

DVOŘÁK, Milan, František GAJDOŠ a Karel NOVOTNÝ. Technologie tváření: plošné a objemové tváření. 2. vyd. Brno: CERM, 2007. 169 s. ISBN 978-80-214-3425-7.

NOVOTNÝ, Karel. Tvářecí nástroje. 1. vyd. Brno: Nakladatelství VUT v Brně, 1992. 186 s. ISBN 80-214-0401-9.

FREMUNT, Přemysl, Jiří KREJČÍK a Tomáš PODRÁBSKÝ. Nástrojové oceli (odborná kniha). 1. vyd. Brno: Dům techniky. 1994. 230 s.

HOSFORD, William F. a Robert M. CADDEL. Metal Forming: Mechanics and Metalurgy. 3th ed. New York: Cambridge University Press, 2007. 365 s. ISBN 978-0-521-88121-0.

NOVOTNÝ, Josef a Zdeněk LANGER. Stříhání a další způsoby dělení kovových materiálů. 1. vyd. Praha: SNTL, Redakce báňské a strojírenské literatury, 1980. 216 s.

HELLWIG, Waldemar a Erwin SEMLINGER. Spanlose Fertigung: Stanzen. 5th ed. Braunschweig Wiesbaden: Friedr Vieweg Verlagsgesellschaft mbH, 1994. 289 p. ISBN 3-528-44042-2.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2019/20

V Brně, dne

L. S.

prof. Ing. Miroslav Píška, CSc.
ředitel ústavu

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

ABSTRAKT

TOUFAR Jan: Výroba zarážky.

Práce řeší návrh technologie výroby ocelové zarážky – dílu vyrobeného stříháním a ohýbáním. Součást bude zhotovena ze svitku plechu o tloušťce 1 mm materiálu DC01+ZE25/25-A-P-C. Velikost série je stanovena 200 000 kusů ročně. Na základě vypracovaného postupu a výpočtů je navržen sdružený postupový nástroj. Střížník, střížnice, ohybník a ohybná vložka jsou zhotoveny z oceli 19 436. Nástroj je navržen pro výstředníkový lis LENR 25-A s tvářecí silou 250 kN.

Klíčová slova: tváření, stříh, ohyb, zarážka, sdružený postupový nástroj

ABSTRACT

TOUFAR Jan: Manufacturing of backstop.

Thesis solves the design of manufacturing technology of steel backstop – the part made by shearing and bending. The component will be made from a rolled steel coil of the DC01+ZE25/25-A-P-C material with the thickness of 1 mm. The batch size is determined 200 000 parts per year. At base of choosen process and calculations is designed progressive die for shearing and bending. Shearing punches, punching dies, bending punch and dies are made from steel 19 436. Die is made for eccentric press LENR 25-A with forming force 250 kN.

Keywords: forming, shearing, bending, backstop, progressive die

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

TOUFAR, Jan. *Výroba zarážky* [online]. Brno, 2021 [cit. 2020-09-08]. Dostupné z: <https://www.vutbr.cz/studenti/zav-prace/detail/129712>. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav strojírenské technologie. Vedoucí práce Kamil Podaný.

ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

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

V Brně dne 10.09.2020

.....

Podpis

PODĚKOVÁNÍ

Tímto děkuji panu Ing. Kamilu Podanému, Ph.D. za cenné připomínky a rady týkající se zpracování bakalářské práce.

OBSAH

Zadání
Abstrakt
Bibliografická citace
Čestné prohlášení
Poděkování
Obsah

ÚVOD	9
1 ROZBOR ZADÁNÍ	10
1.1 Možnosti výroby	11
2 TECHNOLOGIE STŘÍHÁNÍ A OHÝBÁNÍ	13
2.1 Stříhání	13
2.1.1 Rozmístění výstřížků	15
2.2 Ohýbání	16
2.2.1 Odpružení	17
2.3 Síla a práce	17
2.4 Nástroje	18
2.4.1 Střížníky a střížnice	19
2.4.2 Ohybníky a ohybnice	20
2.5 Stroje	21
2.6 Technologičnost	22
3 NÁVRH VÝROBY	24
3.1 Rozměry polotovaru a umístění výstřížku	24
3.2 Varianty a volba výrobního postupu	27
3.3 Výpočty síly a práce	29
3.3.1 Výpočet těžiště síly	31
3.4 Kontrolní výpočty	33
3.4.1 Výpočty rozměrů funkčních částí nástroje.....	34
3.5 Návrh nástroje	35
3.5.1 Normalizované díly.....	37
3.6 Volba stroje	38
4 ZÁVĚRY	39

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

ÚVOD [1], [2], [3], [4]

V moderním strojírenství se využívá široké spektrum výrobních metod, které se neustále vyvíjí a zdokonalují, proto je velmi důležité před samotnou výrobou důkladně posoudit vhodnost jednotlivých technologií pro požadovaný výrobek. Faktory ovlivňující správnou volbu jsou například materiál součásti, počet kusů, požadovaná přesnost, rychlost výroby, pořizovací náklady na stroje a zařízení a celková cena výrobku.

Jednou z možností výroby je tváření, které je čím dál více využíváno, jelikož je jím možné vyrobit široké spektrum součástí, viz obr. 1. Dosahuje se vysoké produktivity a kvality výrobků, aniž by musely následovat dokončovací operace. Dále je při tváření nízká spotřeba materiálu a tím pádem i výrobní náklady.

Základní rozdělení tváření je na objemové, při kterém se výrazně mění tvar a průřez původního polotovaru a plošné, využívané především pro zpracování plechů. Při něm se dosahuje požadovaného tvaru bez výrazné změny tloušťky výchozího materiálu. Mezi nejčastěji využívané metody plošného tváření patří stříhání a ohýbání. Tyto technologie lze kombinovat v takzvaných sdužených nástrojích, které jsou čím dál více využívány díky své vysoké produktivitě.



Obr. 1 Příklady součástí zhotovených tvářením [1][2][3]

1 ROZBOR ZADÁNÍ [4], [5], [6], [7], [8], [9]

Řešeným dílem je zarážka dveří prostorového tvaru s otvory (obrázek 2). Funkce součásti (obrázek 3) je zamezení otevření dveří více než je dovoleno, čímž nedojde k poškození kliky a zdi při jejich případném nárazu.

Těleso bude vyráběno z ocelového pozinkovaného plechu o tloušťce 1 mm. Hlavní rozměry dílce jsou, 65 x 16 x 11 mm. Tvar profilu odpovídá písmenu „L“, jenž určuje „V“ ohyb o vnitřním poloměru R0,8 mm. Zarážka bude připevněna k podlaze pomocí dvou šroubů, které budou procházet otvory o průměru 4,5 H13 dle ČSN EN 20273. Vnější tvar bude zhotoven dle běžné tolerance ČSN ISO 2768 – mH, která je pro funkci zarážky naprosto dostačující. Sériovost výroby je stanovena na 200 000 ks/rok.

S ohledem na funkci součásti a jejímu možnému vystavení vlivům vnějšího prostředí byl i přes svou vyšší cenu vybrán plech válcovaný za studena, elektrolyticky pozinkovaný, s označením DC01+ZE25/25-A-P-C dle ČSN EN 10131 a to díky své vysoké odolnosti vůči korozi a vhodnosti pro tváření za studena. Označení materiálu DC01 je ekvivalentem oceli dle ČSN 11 321, ZE25/25 je pojmenování povlaku určující jeho tloušťku, A = standardní povrch s podílem přípustných povrchových vad, PC = fosfátování a chemická úprava. Pozinkování plechu zvyšuje korozní odolnost, elektrolytické nanášení zajišťuje jeho vysokou chemickou čistotu a přesnou tloušťku. PC se provádí kvůli lepší přilnavosti povlaku či laku a zastavení případné koroze. Cena plechu společnosti FERONA a.s., je 33,15 Kč/kg. Chemické složení a mechanické vlastnosti materiálu jsou uvedeny v tabulce č. 1, vlastnosti elektrolyticky naneseného zinkového povlaku jsou v tabulce č. 2.



Obr. 2 Zarážka dveří



Obr. 3 Funkce zarážky [5]

Tabulka 1 Mechanické vlastnosti a chemické složení oceli ČSN 11 321 [6][7][8]

Mechanické vlastnosti	Mez kluzu	Mez pevnosti		Tažnost	
	R _e [MPa]	R _m [MPa]		A ₁ [%]	
	280	270-410		28-32	
Chemické složení	Chemický prvek	C	Mn	P	S
	Obsah [%]	max 0,12	max 0,6	max 0,045	max 0,045

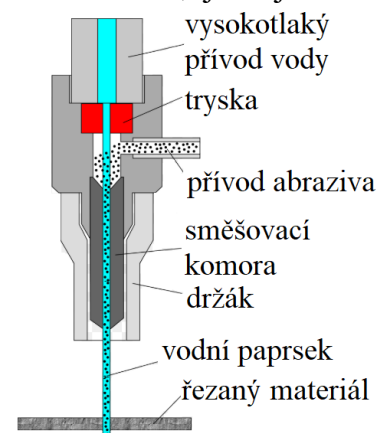
Tabulka 2 Vlastnosti zinkového povlaku ZE25/25 [8]

Jmenovitá tloušťka vrstvy	Jmenovitá hmotnost vrstvy	Minimální tloušťka vrstvy	Minimální hmotnost vrstvy	Odchylka tloušťky vrstvy
[μm]	[g/m ²]	[μm]	[g/m ²]	[μm]
2,5	18	1,7	12	±0,1

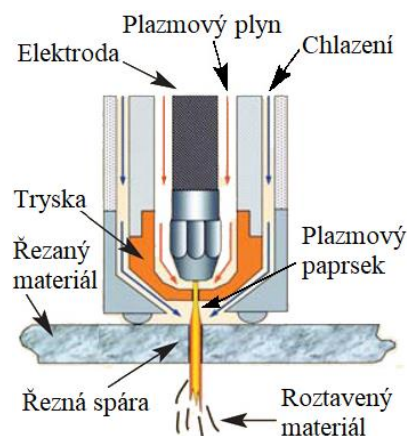
1.1 Možnosti výroby [4], [10], [11], [12], [13], [14], [15], [16], [17], [18], [19], [20], [21]

Požadovanou zarážku je možné vyrobit více technologiemi. Nejvhodnější se zvolí dle velikosti série, rychlosti výroby, pořizovacích nákladů strojů a výsledné ceny dílu. Součástka je prostorového tvaru s otvory, tudíž je nutné nejdříve dělení materiálu, jenž je možné uskutečnit následovně:

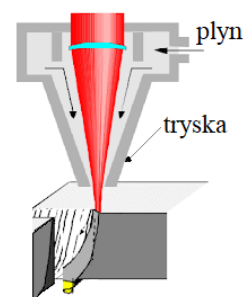
- Dělení vodním paprskem (obr. 4) – k řezu dochází obrušováním materiálu vysokým tlakem vodního paprsku a abrazivem v něm obsaženém. Mezi hlavní výhody pro danou součást patří absence tepelného namáhání a vnitřního pnutí, nevznikají mikrotrhliny. Řez lze provádět blízko hran materiálu, čímž se minimalizuje množství odpadu. Dalšími výhodami jsou vysoká přesnost řezu a kvalitní povrch řezné hrany. Navržená přesnost součásti je výrobitelná. Série 200 000 ks je touto technologií výrobitelná. Naopak mezi nevýhody patří kontakt řezaného materiálu s vodou a abrazivem, které narušuje pozinkovanou vrstvu.
- Řezání plazmou (obr. 5) – spočívá ve využití tepelných a dynamických účinků elektrického oblouku v ionizovaném plynu. Výhody jsou převážně jednoduchá automatizace procesu a vysoká řezná rychlost. Hlavní nevýhodou je nevhodnost metody pro řezání tenkých materiálů. Pro řezání plazmou je minimální doporučená tloušťka 3 mm. Dalším negativem je široká řezná spára s tepelně ovlivněnou oblastí, která výrazně ovlivní korozivzdorné vlastnosti. Plazma je nevhodná pro pozinkovaný plech, a to kvůli vzniku karcinogenních a jedovatých látek při ohřevu materiálu.
- Řezání laserem (obr. 6) – spočívá v koncentraci energie ve formě fotonů utvořených do paprsku, který natavuje materiál. Výhodami jsou pravoúhlá řezná hrana a velmi malá šířka řezné spáry. Naopak nevhodný je laser na pozinkované plechy, jelikož povlak výrazně ovlivňuje rychlost a kvalitu řezu. Dalšími nevýhodami jsou vysoké provozní náklady, menší účinnost, stabilita paprsku při řezání lesklých materiálů a vznik tepelně ovlivněné oblasti. Ta je oproti řezání plazmou malá. Jelikož se jedná o tepelné dělení, z pozinkovaného plechu se při řezání vylučují karcinogenní a jedovaté látky. Kvůli tomu by se muselo zavést výkonné odsávání pracoviště.
- Vysekávání – je technologie beztržkového dělení s principem totožným jako u stříhání. Kdy k oddělování materiálu dochází mezi vysekávacím nástrojem na podložce nebo pohybem střížníku do střížnice. Výhodou je vysoká rychlost výroby, při využití multifunkčních nástrojů je možnost vysekávání více tvarů zároveň. Nevýhodou je rychlé opotřebení nástrojů, nutnost technologických můstků. Vysekávání je nevhodné pro dělení větších obrysových tvarů a pro větší série jednoho dílu.



Obr. 4 Řezání vodou [10]



Obr. 5 Řezání plazmou [12]



Obr. 6 Laser [14]

- Střih v nástroji (obr. 7) – dosažení požadovaného tvaru probíhá silovým působením nástroje na polotovar, jenž je zakončené lomem v ohnisku plastické deformace. Je možná výroba i složitějších tvarů, tím, že se střih rozdělí na více kroků. Střížné nástroje jsou náročné na výrobu, ale dobře automatizovatelné, tudíž vhodné pro větší série. Výhodou je již zmíněná možnost automatizace, vysoká produkce a dobrá jakost i přesnost ploch.



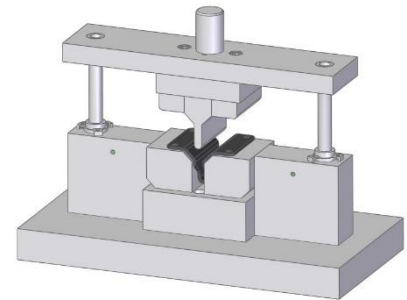
Obr. 7 Střížný nástroj [15]

Dalším krokem ve výrobě dílu je jeho prostorové tvarování, na to lze využít těchto metod:

- Ohraňování (obr. 8) – využívá se namísto konvenčních ohýbacích nástrojů pro V-ohyby a na dlouhé součásti. Ohyby jsou zhotoveny jednotlivě po jednom zdvihu lisu. Nástroj se skládá z pohyblivého razníku a dolní nepohyblivé univerzální matrice. Nevýhodou je, že každý ohyb je prováděn zvlášť, čímž se protahuje doba výroby.
- Ohyb na obýbačce – jednoduché ručně ovládané stroje na ohýbání plechu. Nevýhodou je, stejně jako u ohraňování, že každý ohyb je prováděn zvlášť a ručně.
- Ohýbání v nástroji (obr. 9) – používá se pro větší série, jelikož je nástroj vytvořen pouze pro jednu součást. Hlavními částmi jsou ohybník a ohybnice, jimiž se vytvoří požadovaný tvar. Výhodou je rychlost výroby a možnost jednoduché automatizace.



Obr. 8 Ohraňování [16]

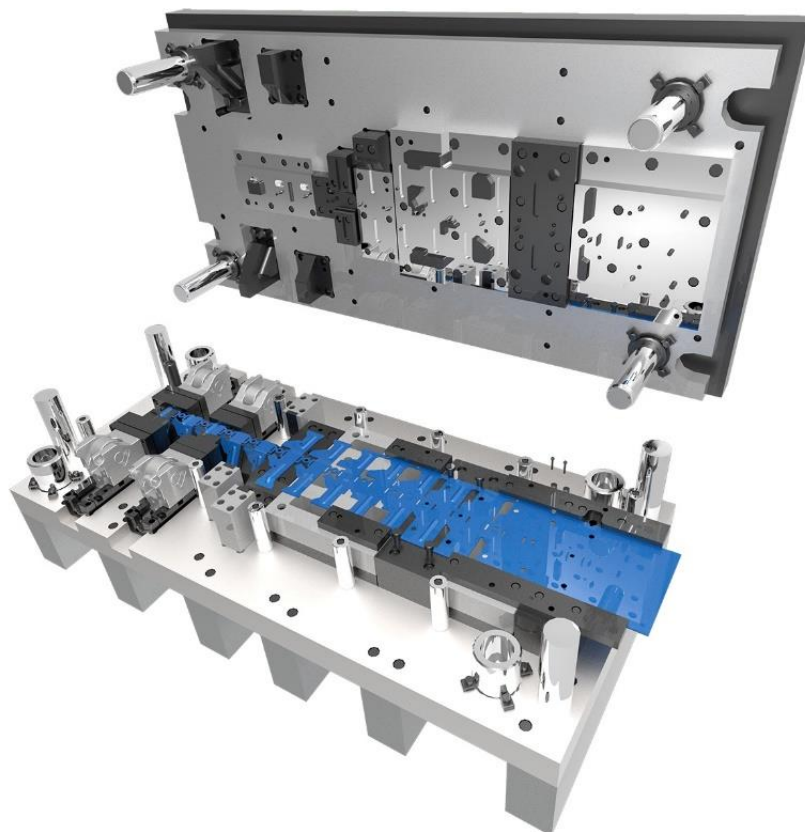


Obr. 9 Ohyb v nástroji [20]

S ohledem na velikost výrobní série byla pro zadaný díl jako nejvýhodnější zvolena varianta dělení ve střížném nástroji a tvarování v nástroji ohybovém. Ty umožňují sloučení do sdruženého postupového nástroje. Hlavní výhodou je úspora výrobních časů, méně mezioperačních operací a potřebných výrobních zařízení. Tím dojde i k úspoře ploch pro stroje. Další výhodou je možnost využití polotovaru ve formě svitku, čímž se ušetří finanční náklady na materiál a případné dělení tabulí na pásy. Na střih a ohyb ve sdruženém postupovém nástroji bude zaměřena teoretická i návrhová část práce.

2 TECHNOLOGIE STŘÍHÁNÍ A OHÝBÁNÍ [4], [22], [23], [24]

Stříhání a ohýbání jsou technologie, které se v technické praxi využívají společně velmi často, a to díky jejich návaznosti, možnosti automatizace a nízké ceně, zejména při velkosériové výrobě. Nevýhodou obou technologií jsou vysoké pořizovací náklady způsobené složitostí nástrojů. Sdružený postupový nástroj (obrázek 10) kombinuje tyto dvě technologie, dochází v něm k vystřížení požadovaného tvaru a jeho následnému ohnutí. Oproti variantě využití dvou samostatných nástrojů, jeden na výrobu tvaru a druhý na ohyb, se urychlí výroba a manipulace, čímž se sníží náklady na přesouvání.



Obr. 10 Sdružený nástroj pro stříh a ohyb [22]

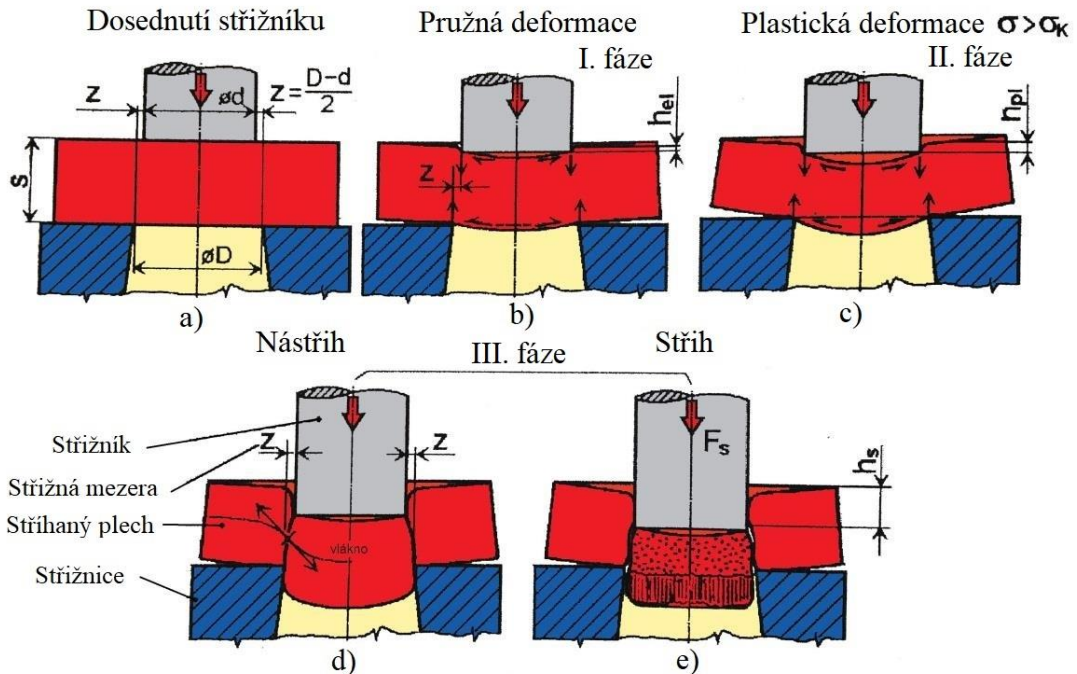
2.1 Stříhání [4], [23], [24], [25], [27], [28], [29], [30], [31], [32]

Stříhání je základní operace dělení kovů zakončená lomem v ohnisku plastické deformace. Dělení materiálů probíhá paralelně nebo postupně podél křivky stříhu vytvořené relativním pohybem dvou břitů. Ty vyvolávají potřebné střížné – smykové – napětí, díky kterému dojde k porušení materiálu – lomu.

Průběh stříhání lze rozdělit na 3 fáze, viz obr. 11.

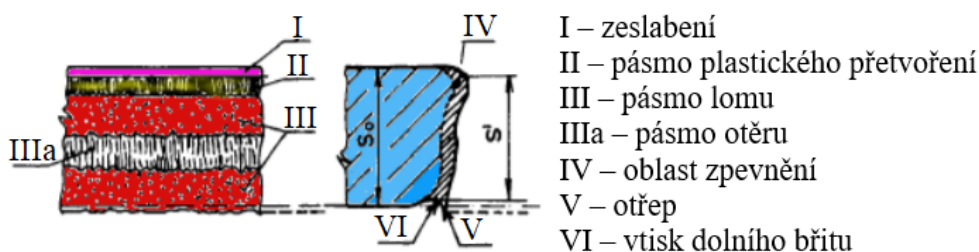
- V první působí nástroj, střížník, silou 'F' na dělený materiál a vzniká silová dvojice. Dochází k pružné deformaci, při které nástroj vnikne do děleného materiálu do hloubky 'h_{el}'. Ta závisí na mechanických vlastnostech materiálu, především mezi kluzu. U standardních ocelí nabývá hloubka hodnot od 5 do 8 % tloušťky materiálu.
- Druhá nastává po překročení meze kluzu, střížník vniká do hloubky 'h_{pl}', která stejně jako 'h_{el}' závisí na mechanických vlastnostech. U ocelí hodnota 'h_{pl}' bývá 10 – 25 % tloušťky materiálu. Přetvoření je trvalé, dochází k plastické deformaci.

- Ve třetí (obr. 11d, 11e) dochází k nástřihu a stříhu. Jakmile napětí dosáhne hodnoty meze pevnosti ve stříhu τ_s , dojde k porušení materiálu – nástřihu, v materiálu se začnou tvořit trhliny od obou stran nástroje. Ty se šíří materiálem a jakmile dojde k jejich setkání, nastává stříh. Uprostřed materiálu vzniká pásmo otěru, které je vytvořeno třením mezi výstřížkem a děleným materiálem. Toto pásmo negativně ovlivňuje kvalitu povrchu.



Obr. 11 Průběh stříhání [4]

Rychlost a směr šíření trhlin jsou dány mechanickými vlastnostmi materiálu a velikostí střížné vůle. V ideálním případě se trhliny setkají v okamžiku stříhu a povrch střížné plochy dosáhne optimální drsnosti. Pokud by došlo k chybnému zvolení vůle, dochází ke zvětšení pásma otěru, zhoršení vlastností a zvýšení potřebné tvářecí síly. Vlivem plastické deformace vzniká po celé střížné ploše zpevněná oblast, jejíž hloubka dosahuje přibližně 0,2–0,3 % tloušťky materiálu (obr. 12.).



Obr. 12 Vzhled střížné plochy [4]

Optimální velikost vůle, pro uzavřené stříhání plechů s tloušťkou $s \leq 3$ mm se spočítá ze vzorce:

$$v = 2 \cdot z \text{ [mm]} \quad (2.1)$$

kde: z – střížná mezera [mm]

$$z = c \cdot s \cdot \sqrt{0,1 \cdot \tau_s} \text{ [mm]}, \quad (2.2)$$

kde: c – koeficient závislý na druhu stříhání

s – tloušťka plechu [mm]

τ_s – pevnost materiálu ve stříhu [MPa]

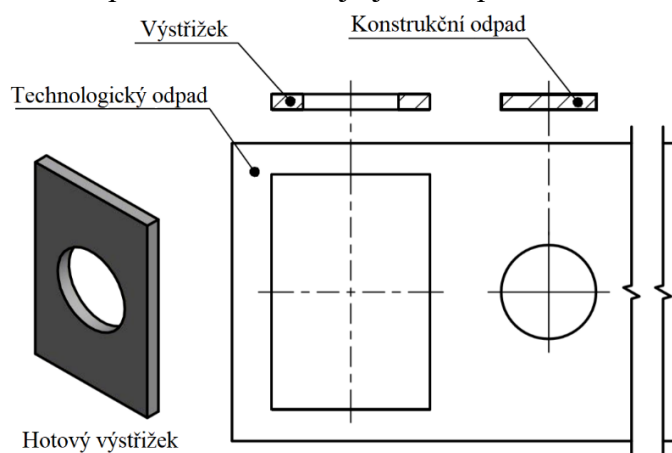
$$\tau_s = 0,8 \cdot R_m \text{ [MPa]}. \quad (2.3)$$

Střížnou vůli lze zjistit i pomocí diagramů závislosti vůle na tloušťce materiálu (příloha 1), ze kterých se vyčte hodnota vůle v procentech tloušťky materiálu. Z diagramu také vyplývá, že její velikost roste s tloušťkou.

Přesnost a kvalita povrchu plochy vzniklé po stříhání je kromě vůle dána více parametry, a to zejména vlastnostmi stříhaného materiálu, geometrickým tvarem výstřížku, druhem a stavem nástroje, kvalitou povrchu a přesností činných částí nástrojů a také použité výrobní zařízení.

2.1.1 Rozmístění výstřížků [23], [25], [26], [29], [32], [33]

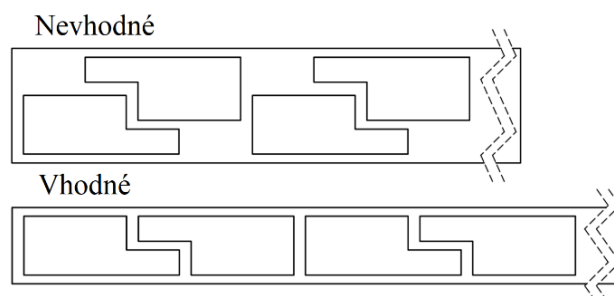
Umístění výstřížků na výchozím polotovaru, pásu nebo tabuli, je jeden z prvotních úkonů při návrhu postupu stříhání. Úkolem je především dosáhnout maximálního využití materiálu. Ta část, která zůstává nevyužita se nazývá odpad. Ten se dělí na technologický a konstrukční, viz obr. 13 a je dán tvarem stříhaného dílu. Jedná se například o otvory a drážky. Při procentuálním výpočtu využití pásu se neuvazuje. Technologický je dán velikostí přepážek a prostorem mezi jednotlivými díly, tudíž je přímo závislý na rozmístění výstřížků na pásu plechu.



Obr. 13 Konstrukční a technologický odpad

Pro určení ekonomicky nejvýhodnějšího využití materiálu se navrhuje více variant rozmístění, viz obr. 14. Při návrhu se postupuje dle směrnic pro stanovení šířky odpadu (příloha 2) určujících vzdálenost otvorů od kraje výstřížku a rozměry mezi jednotlivými otvory. Dále je třeba brát ohled na manipulaci s materiálem a anizotropii.

V technické praxi se využívá více druhů plánů pro umístění. Kusový, tomu odpovídá obrázek 14, ve kterém se určuje nejvýhodnější rozmístění jednoho výstřížku. Nebo skupinový, na kterém se stříhá více různých tvarů, ten se tudíž pro stříhání v postupovém nástroji nevyužívá. Další možností, jak zvýšit využití materiálu, je navrhnout rozložení tak, že bude pás po projetí střížným nástrojem otočen o 180° a znovu vložen.



Obr. 14 Vhodné a nevhodné rozmístění

Ke zjištění ekonomičnosti nástřihového plánu se využívá převážně dvou metod:

- početní – vypočítá se procentuální využití pásu pomocí následujícího postupu:

$$\eta = \frac{n \cdot S_0}{S_T} [\%], \quad (2.4)$$

kde: n – počet dílů z jedné tabule [ks],

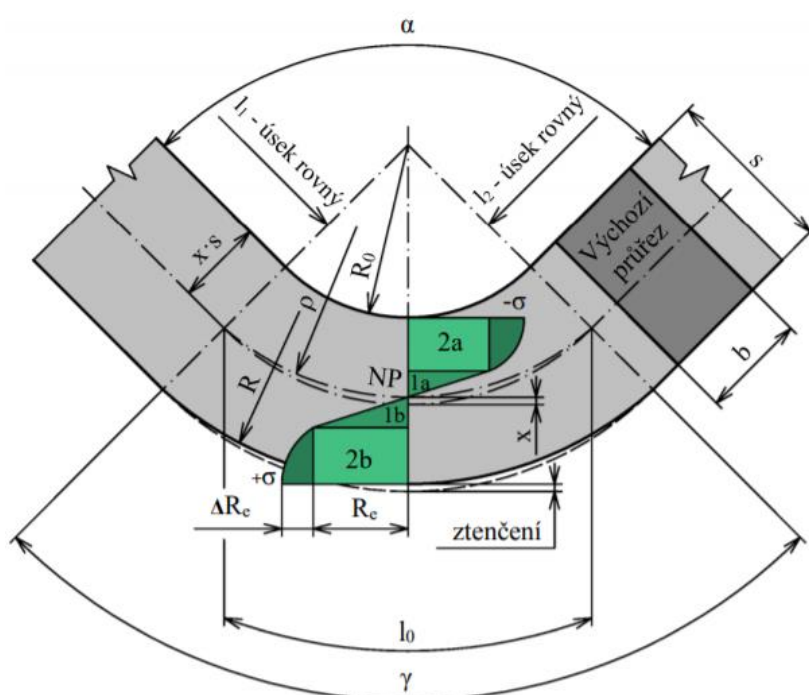
S_0 – plocha jednoho výstřížku [mm^2],

S_T – plocha polotovaru, tabule, nebo svitku [mm^2].

- využití CAD softwaru – moderní varianta, při níž se v některém z modelovacích softwarů vytvoří model i polotovar a software následně sám určí plochy, pomocí kterých se určí využití. CAD software se dá využít i v kombinaci s výše zmíněnou metodou a to tak, že plochy pásu a výstřížku se odečtou z programu namísto výpočtem.

2.2 Ohýbání [4], [23], [24], [25], [26], [29], [34], [35], [36], [37]

Je to technologie, při které se vlivem silového či momentového působení trvale mění tvar výrobku. Ohýbání většinou probíhá za studena, pod teplotou rekrystalizace. Při jeho realizaci jsou zásadní hodnoty tahových napětí. Primárním jevem ohybu je vznik tahových a tlakových napětí společně s pružně plastickou deformací. Prvotně dochází k elastické deformaci. V okamžiku, kdy napětí přesáhne mez kluzu, nastane v okrajových bodech ohybu přetvoření plastické. To se postupně šíří z krajů do středu materiálu, na vnitřní straně ohybu ve formě tlaku a na vnější tahu. V důsledku vzniku plastických deformací dochází v místě ohybu k deformačnímu zpevnění, jenž může ovlivnit další zpracování. Spoluúčast tahu i tlaku způsobí změnu průřezu v ohýbaném místě. Spojnice, ve které je napětí nulové, se nazývá neutrální osa. V této části materiálu nedochází k žádné změně napětí, tudíž ani deformaci. Před zahájením tváření se osa nachází ve středu průřezu a při ohýbání se posouvá směrem ke straně, na které se nachází tlakové napětí. Na obrázku 15 je neutrální osa znázorněna čerchovanou čarou s označením NP.



1a, 1b – oblasti pružných deformací;
 2a, 2b – oblasti plastických deformací se zpevněním ΔR_c ;
 x – velikost posunutí osy neutrální od osy původní;
 R_0 – poloměr ohybu;
 R – poloměr vnější strany;
 l_0 – délka ohnutého úseku na neutrální ose;
 α – úhel ohybu;
 γ – úhel ohnutého úseku ($\gamma = 180 - \alpha$);
 ρ – poloměr NP

Obr. 15 Schéma ohýbání [24]

Určení polohy a délky neutrální osy je zásadní pro výpočet rozměrů polotovaru pro ohýbání. Délka se určí dle vzorce:

$$L = \frac{\pi}{180} \cdot \alpha \cdot \rho, \quad (2.5)$$

kde: L – délka neutrální osy [mm],

α – úhel ohybu [$^\circ$],

ρ – poloměr neutrální osy [mm],

$$\rho = R_0 + x \cdot s, \quad (2.6)$$

kde: R_0 – poloměr ohybu [mm],

x – součinitel posunutí neutrální vrstvy, je závislý na poměru poloměru zaoblení nástroje na úhlu ' α ' viz příloha 3. [-]

U ohybu pásů, kde je šířka ohybu přibližně trojnásobně vyšší než tloušťka, je v příčném směru deformace nulová, jelikož v tomto směru působí výrazně větší odpor materiálu než v jeho tloušťce. Nevzniká tedy trojosý stav přetvoření jako u ohybu úzkých profilů, ale stav

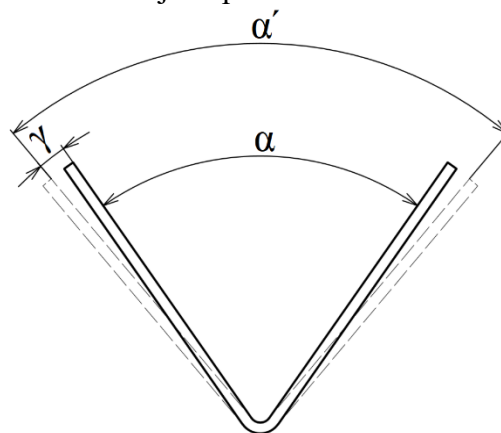
dvojosý. Tento jev znamená, že je dosaženo rovinného stavu deformace. Přetvoření na vnitřní straně ohybu se rovná převrácené hodnotě přetvoření na straně vnější.

2.2.1 Odpružení [4], [23], [34], [36], [37]

Jelikož při ohýbání probíhá současně plastická i elastická deformace, po ukončení silového působení na výlisek dochází k částečnému navrácení materiálu do jeho původního tvaru. Tento jev se nazývá odpružení a značí se 'γ' (obr. 16). U ohybu do tvaru „V“ je to rozdíl úhlu skutečného 'α'' a uvažovaného 'α', jeho velikost je závislá především na mechanických vlastnostech, velikosti úhlu a poměru poloměru 'R_o' ku tloušťce materiálu. Úhel odpružení většinou nabývá hodnot od 1° do 10°, je možné jej vyčíst z tabulek nebo určit empiricky dle vzorce:

$$\operatorname{tg} \gamma_0 = 0,375 \cdot \frac{l}{k_1 \cdot s} \cdot \frac{R_e}{E}, \quad (2.7)$$

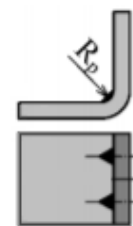
kde: γ₀ – úhel odpružení [°],
l – vzdálenost ohýbacích hran [mm],
k₁ – součinitel úhlu odpružení,
závislý na součiniteli 'x' [-].



Obr. 16 Odpružení

K omezení, či úplnému odstranění vlivu odpružení se využívá vícero metod, mezi nejčastější patří:

- Zvětšení ohnutí materiálu o předem zjištěný úhel odpružení.
- Využití kalibrace – na konci ohýbacího cyklu se zvětší lisovací síla, která způsobí lokální plastickou deformaci místa ohybu, čímž se hodnota odpružení sníží či úplně odstraní.
- Vylisování vyztužovacích žebra (obrázek 17) v místě ohybu.



Obr. 17 Žebra [37]

2.3 Síla a práce [4], [25], [32], [34], [38], [39]

Správné určení potřebné síly a práce je pro proces výroby nezbytné, jelikož se od ní odvíjí velká část návrhu výroby, od materiálu nástrojů až po volbu tvářecího stroje. Pro výrobu zvolené součásti bude využit sdužený nástroj, který kombinuje více technologií, tudíž síla bude součtem síly střižné 'F_s' a celkové ohybové 'F_{co}', stejně tak práce.

Hlavním faktorem ovlivňujícím velikost střižné síly jsou mechanické vlastnosti materiálu polotovaru, jmenovitě jeho mez pevnosti a dále tloušťka materiálu. 'F_s' se tedy stanoví podle následujícího vzorce:

$$F_s = n_1 \cdot \tau_s \cdot S, \quad (2.8)$$

kde: n₁ – koeficient otupení nástroje [-],
S – plocha stříhu [mm²],

$$S = l_s \cdot s. \quad (2.9)$$

kde: l_s – délka střižné hrany [mm].

τ_s – pevnost materiálu ve stříhu [MPa],

$$\tau_s = 0,8 \cdot R_m, \quad (2.10)$$

Průběh ohybové síly 'F_o' v závislosti na dráze nástroje lze rozdělit do tří pásem, viz obrázek 18. V první fázi lineárně roste až do meze kluzu. Po jejím překonání se elastická deformace mění v plastickou a růst síly se zpomalí. Ve třetí, kde dochází ke kalibraci, síla začne opět růst, a to kvůli vytvoření lokální plastické deformace místa ohybu.

Základní síla, 'F_o', se vypočte:

$$F_o = \frac{b_o \cdot s^2 \cdot R_e}{2 \cdot R_o} \cdot \operatorname{tg}\left(\frac{\alpha}{2}\right), \quad (2.11)$$

kde: b_o – šířka ohybu [mm].

K ní se následně přičte hodnota síly kalibrační 'F_k', celková síla potřebná pro ohyb se tedy získá ze vztahu:

$$F_k = (2,0 \text{ až } 2,5) \cdot F_o. \quad (2.12)$$

$$F_{co} = F_o + F_k, \quad (2.13)$$

Vztah pro určení celkové síly 'F_c' tedy bude mít znění:

$$F_c = F_s + F_{co}. \quad (2.14)$$

Práce se stejně jako síla bude skládat z více složek, práce ohybové a sřížné, která se vypočítá:

$$A_s = x_a \cdot s \cdot F_s,$$

kde: A_s – sřížná práce [J],

x_a – koeficient závislý na druhu a tloušťce materiálu, viz příloha 4 [–].

Ohybová práce 'A_o', se rovná ploše pod křivkou grafu závislosti dráhy nástroje na síle (obr. 18), empirický výpočet je následovný:

$$A_o = k_2 \cdot F_{co} \cdot h, \quad (2.16)$$

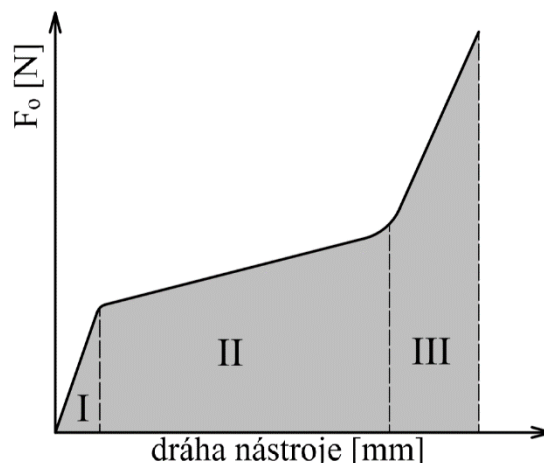
kde: h – zdvih ohybníku [mm],

k₂ – koeficient průběhu ohýbací síly [–]

Výsledná práce:

$$A = A_s + A_o, \quad (2.17)$$

kde: A – celková práce [J].

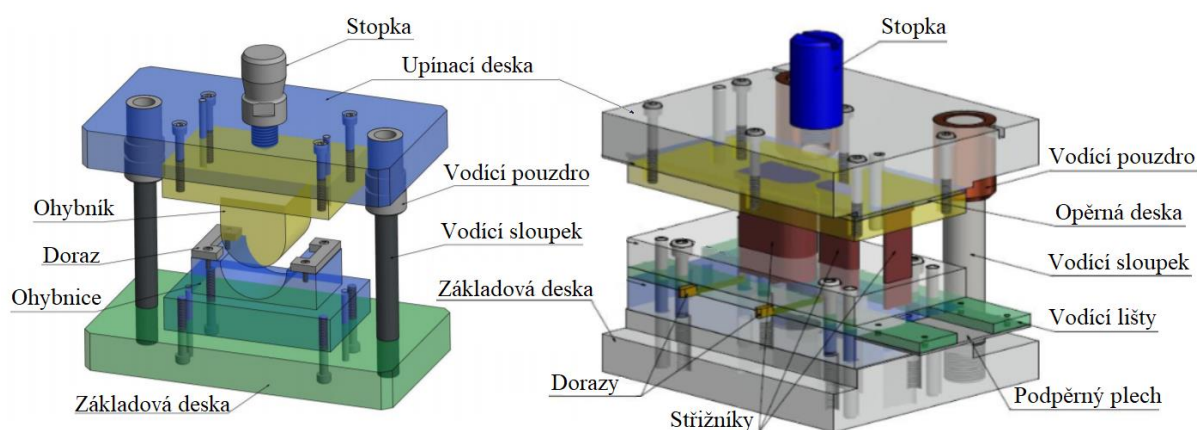


Obr. 18 Průběh ohybové síly [34]

(2.15)

2.4 Nástroje [9], [23], [24], [27], [33], [40], [41], [42], [43], [44], [45]

Pro zadanou součást byl jako nejvýhodnější nástroj zvolen sdužený postupový, kombinující součásti stříhadla a ohýbadla, které si jsou svou celkovou konstrukcí podobné, viz obr. 19. Oba nástroje obsahují součásti, které jsou identické:



Obr. 19 Ohýbací a sřížný nástroj [40][24]

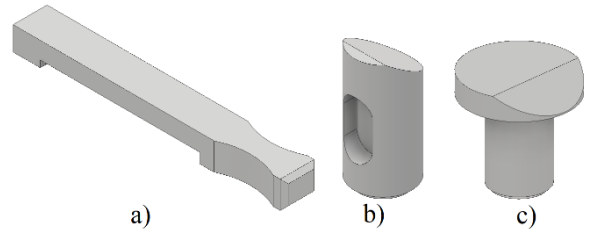
- Základová deska – v obou nástrojích slouží k upevnění spodní části nástroje ke stolu lisu. Pomocí čtyř šroubů a dvou kolíků k ní bývá upevněna sřížnice a ohybnice, případně vodící deska a lišty. Používají se desky ocelové (dle normy ČSN 22 6235) nebo litinové (ČSN 22 6215). Jelikož dochází pouze k nízkému namáhání, využívá se

běžná konstrukční ocel ČSN 11 375 nebo ČSN 11 500. Litinové desky se používají v případě větších rozměrů, nejčastěji se vyrábí z litiny ČSN 42 2424.

- Upínací deska – u mechanických lisů je k ní upevněna stopka, společně s ní přenáší sílu ze stroje do nástroje. Podobně jako v případě základové desky jsou k ní pomocí šroubů a kolíků připevněny nástroje nebo ostatní desky (opěrná a kotevní). Materiály využití při její konstrukci jsou identické jako u desky základové.
- Vodící sloupky a pouzdra – slouží k zabezpečení vzájemné polohy horní a spodní části nástroje a zajištění přesného chodu nástroje. Jejich spojení je kluzné nebo valivé. Pouzdra (obr. 20) bývají nalisována do upínací desky a sloupky do desky základní. Na sloupky se využívá ocel DIN 14NiCr10 nebo ČSN 19 436, na pouzdra se využívá převážně korozivzdorná chromniklová ocel ČSN 17 240.
- Stopka – slouží pro upnutí nástrojů k beranu stroje, vyrábí se z ocelí třídy 11. Je zašroubována do upínací desky a umístěna do těžiště sil.
- Dorazy – mají funkci zajištění správné polohy a ustavení polotovaru. Jsou to normované díly dle ČSN 22 6060. Při volbě vhodného druhu dorazu je třeba dbát na způsob lisování, druh a rozměr zpracovaného materiálu, tvar a velikost výlisku, celkový počet výlisků. Mezi základní druhy dorazů patří například dorazy načínací (obr. 21a), které se používají ke stříhání prvních kroků. Dále dorazy zpětné (obr. 21b) a pevné (obr. 21c).



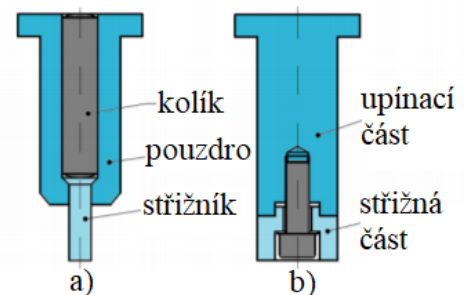
Obr. 20 Vodící pouzdro [45]



Obr. 21 Dorazy

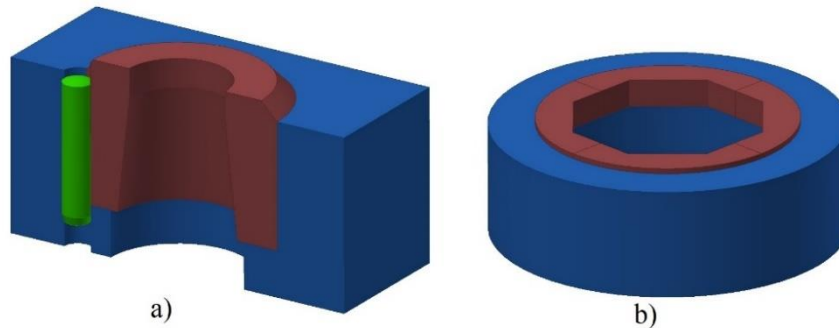
2.4.1 Střížníky a střížnice [23], [24], [27], [33], [42], [43], [44]

Jsou to hlavní části střížných nástrojů, jejich tvar odpovídá vyráběné součásti. Střížník vykonává pohyb skrz polotovar do střížnice, která je statická. Upíná se do opěrné (upínací) desky pomocí válcové hlavy na konci střížníku nebo pomocí šroubů, kolíků či kuličky. Pro složité tvary, jenž nejde upnout zmíněnými způsoby, se využívá zalévání lehce tavitelnými kovovými slitinami nebo epoxidovými pryskyřicemi. Jsou na ně kladeny vysoké nároky, především tuhosti, proto se na jejich výrobu nejčastěji využívá ušlechtilá nástrojová ocel 19 422. Pro zlepšení vlastností se kalí a popouští na tvrdost 62 ± 1 HRC. Skládané střížníky vyrobené z více kusů rozdílných materiálů se využívají pro velmi malé nebo naopak velké rozměry nástrojů. Malé střížníky jsou obalené pouzdem (obrázek 22a) pro zvýšení vzpěrné stability. Velké s nástrojovou ocelí pouze na funkční části nástroje se používají kvůli ušetření nákladů na materiál (obrázek 22b). Při návrhu se kontrolují na vzpěr a otláčení.



Obr. 22 Skládané střížníky [43]

Střížnice je nejsložitější a nejnámáhanější díl střížných nástrojů, proto jsou kladeny vysoké nároky na její zpracování. Je to pevná čelist nástroje a upevňuje se na základovou desku pomocí šroubů a kolíků. Základní rozdělení střížnic je na celistvé, vložkované (obrázek 23a) a skládané (obrázek 23b).

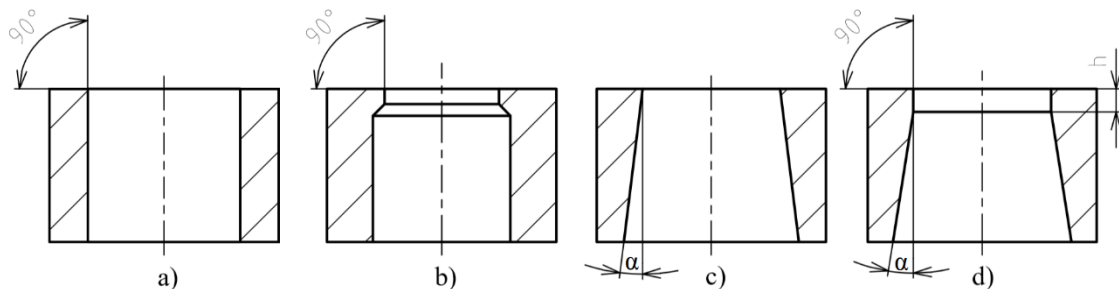


Obr. 23 Střížnice

Celistvé střížnice jsou vyrobeny z jednoho kusu materiálu a používají se pro jednoduché tvary nebo pro malé výstřižky. Naopak skládané slouží pro tvarově složité či velké součásti, nástrojová ocel je využita pouze na střížné části. Kvůli složitosti dílů střížné části bývají pořizovací náklady vyšší než u celistvých, nicméně mají delší životnost a je možná obměna dílů. U vložkovaných je podobně jako u skládaných kvalitní materiál využit pouze u střížné části, čímž je dosaženo úspor nákladů na materiál. Jakmile dojde k opotřebení vložek, je možné je vyměnit.

Kromě výše uvedených variant se vyrábí více tvarů střížných otvorů, viz obr. 24. Nejjednodušší je válcový (obr. 24a) využívaný pro rozměrné díly, které je možné vyhazovačem odstranit. Další možností (obr. 24b) je tvar využívaný pro stříhání malých otvorů s průměrem do 5 mm.

Na obrázku 24c je znázorněn kuželový, využívaný na malé díly se středními požadavky na přesnost a kvalitu střížné plochy. Její sklon je definován úhlem ' α ', ten je přímo závislý na tloušťce stříhaného plechu a bývá v rozmezí od 10' do 1°.



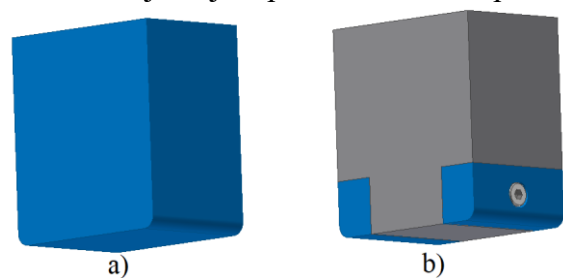
Obr. 24 Otvory střížnic

Nejpřesnějším, ale i nejsložitějším na výrobu, je kuželový otvor s válcovou fazetou na obrázku 24d. Jeho použití je pro obvodově složité díly s vysokými požadavky na přesnost. Výška fazety ' h ' se volí dle tloušťky polotovaru, pro plech o tloušťce jednoho milimetru bude fazeta 5,5 mm. Úhel kuželového otvoru je $\alpha = 3\div 5^\circ$.

2.4.2 Ohybníky a ohybnice [23], [24], [25], [33], [34], [42], [43]

Ohybníky jsou hlavní částí pohyblivého ohýbacího nástroje. Jejich poloměr a tvar odpovídá výslednému výrobku. Ohybové hrany se zušlechťují a následně leští, aby nedocházelo ke tření, které zvyšuje namáhání. Šířka ohybníku musí být stejná nebo větší než u tvářeného dílu.

Podobně jako střížníky se vyrábí ve více variantách. Na obrázku 25a je znázorněn ohybník celistvý. Ten se využívá pro menší díly a menší série. Při silném namáhání hran je možné využít vložkované (obrázek 25b), jejichž



Obr. 25 Ohybníky

výměna je finančně méně nákladná než výměna celého ohybníku. Na funkční část se převážně používá kalená nástrojová ocel ČSN 19 312 nebo slinuté karbidy. Vložky jsou upevněny zápustnými šrouby. Jakmile dojde k jejich opotřebení, vymění se pouze ty. Tím se prodlouží životnost nástroje a ušetří na materiálu, jelikož na zbytek ohybníku se využívá konstrukční ocel.

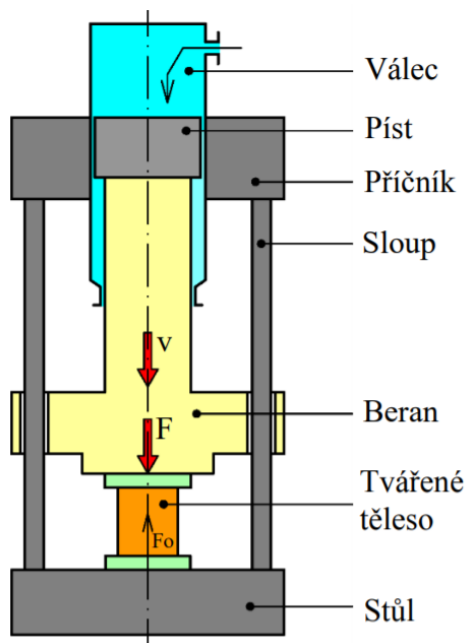
Ohybnice jsou pevnou částí nástroje upínanou na základovou desku pomocí šroubů a kolíků. Mohou být celistvé, popřípadě tvořené vložkami uchycenými v rámu. Jejich součástí bývají vyhazovače, které mohou zároveň plnit funkci přidržovače. Nejčastěji se zhotovují z oceli ČSN 19 436. Při návrhu ohybnice je jeden z nejdůležitějších parametrů zaoblení její hrany 'r_m', to přímo ovlivňuje velikost ohýbací síly a kvalitu ohybu. Jeho hodnota bývá dvou až šestinásobkem tloušťky plechu.

2.5 Stroje [38], [46], [47], [48], [49]

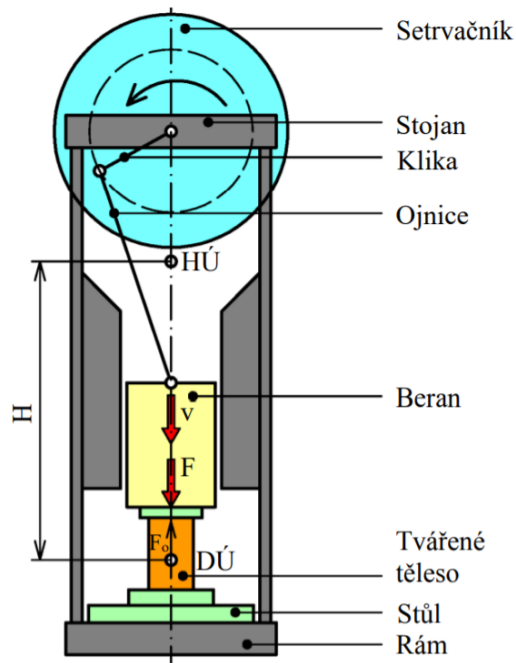
Volba stroje závisí na velikosti tvářecí síly a práce navýšené o určitou bezpečnost. Pro plošné tváření se využívají převážně lisy, které jsou značně finančně náročné a špatně se mění nastavení. Proto jsou vhodné pro sériovou výrobu.

Lisy se dělí do dvou kategorií:

- **Hydraulické** (obr. 26) – využívají rovnoměrné šíření tlaku kapalinou ve všech směrech. Síla beranu není závislá na dráze nástroje a je možné ji měnit v libovolném místě zdvihu. Rychlost pohybu beranu je taktéž nastavitelná a pohybuje se v rozmezí 0 až 25 ms⁻¹. Chod hydraulických lisů je velmi klidný a tichý, dá se poměrně jednoduše automatizovat a ovládat na dálku. Nevýhodou je absence dolní úvrati, proto se výška zdvihu musí regulovat zarážkami. Jelikož jsou hydraulické lisy konstrukčně značně složité, jejich údržba je náročná a mají vysoké pořizovací náklady. Dalšími nevýhodami je poměrně nízká účinnost způsobená pomalou rychlostí beranu.
- **Mechanické** – jedny z nepoužívanějších, využívají kinetickou i potenciální energii. Dělí se podle mechanismu, který přenáší energii. A to na výstředníkové, kolenové, klikové a další. Nejpoužívanější z nich je klikový (obr. 27), jenž přenáší rotační pohyb setrvačnicku na přímočarý pohyb beranu. Hlavními výhodami mechanických lisů je jejich jednoduchá konstrukce a díky vysoké rychlosti zdvihu i produktivita. Dalším pozitivem je nízká cena v porovnání s cenou hydraulických lisů. Nevýhodami jsou proměnlivý průběh síly a rychlosti, nebezpečí přetížení stroje a pevný zdvih.



Obr. 26 Schéma hydraulického lisu [48]



Obr. 27 Schéma klikového lisu [48]

2.6 Technologičnost [23], [24], [33], [36], [38], [42], [50]

Před samotným návrhem postupu výroby a nástroje je nutné posoudit technologičnost a tím vyhodnotit vyrobiteľnosť součásti vybranými metodami tváření. Při jejím posuzování jsou nejdůležitější mechanické vlastnosti materiálu a tvar hotové součásti. Dalšími nezanedbatelnými faktory jsou sériovost výroby, druh technologického procesu a výrobní možnosti zvolených nástrojů.

U stříhání je nutné posoudit, zda je navrhovaná přesnost součásti dosažitelná běžným stříháním (přesnost se pohybuje mezi IT12 až IT14 dle ČSN ISO 129-1) nebo je-li nutné využít stříhadla se zvýšenou přesností (je možné dosáhnout přesnosti až IT9). Výrobní tolerance nástrojů by se měla pohybovat o tři řády níže než tolerance samotného výstřížku. Dále je třeba zajistit co nejvhodnější volbu polotovaru, jelikož materiál tvoří velkou část výrobních nákladů.

Pro vyhodnocení technologičnosti je nutné zkontrolovat tyto parametry:

- Kontrola vyrobiteľnosti nejmenšího otvoru na výstřížku. U postupového stříhadla se provádí kontrola výpočty:

Kruhový otvor:

$$\frac{d_o}{s} \geq 1, \quad (2.18)$$

Nekruhový otvor:

$$\frac{b}{s} \geq 0,8, \quad (2.19)$$

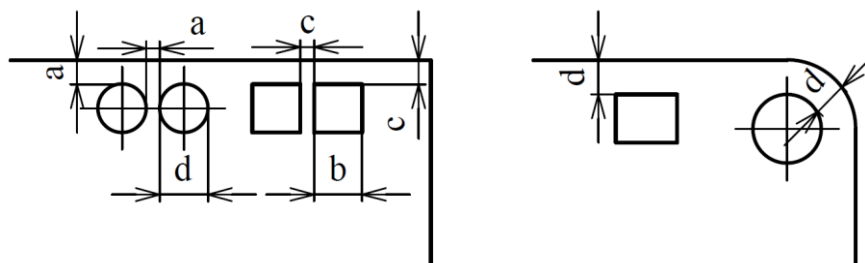
kde: b – menší rozměr otvoru [mm].

- Kontrola minimálních vzdáleností otvorů od kraje a mezi sebou (obrázek 28):

$$a \geq 0,8 \cdot s. \quad (2.20)$$

$$c \geq s. \quad (2.21)$$

$$d \geq 1,5 \cdot s. \quad (2.22)$$



Obr. 28 Vzdálenosti otvorů [50]

- Při návrhu tvářeného dílu je potřeba se vyhnout předepisování geometrických tolerancí kolmosti a drsnosti, které se vztahují ke střížné ploše.

Při posuzování technologičnosti ohýbání je třeba dodržovat tyto zásady:

- Vhodná volba poloměru ohybu s ohledem na mechanické vlastnosti materiálu polotovaru. Ideální poloměr ohybu je minimální ' R_{min} ' navýšený o 10 až 20 %.

$$R_{min} = k_3 \cdot s, \quad (2.23)$$

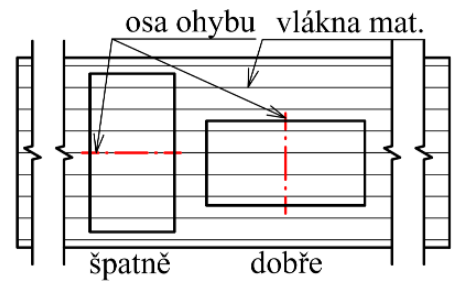
kde: k_3 – součinitel závislý na druhu materiálu a způsobu ohýbání [-].

$$R_{max} = \frac{s}{2} \cdot \left(\frac{E}{R_e} - 1 \right), \quad (2.24)$$

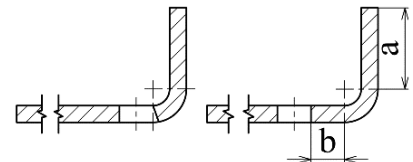
kde: E – Youngův modul pružnosti pro ocel $E = 2,1 \cdot 10^5$ [MPa],

R_{max} – Maximální poloměr [mm].

- S ohledem na anizotropii materiálu je vhodnější realizovat ohyb tak, aby jeho osa byla kolmo k vláknům materiálu. Pokud se směr osy ohybu shoduje se směrem vláken, je materiál více náchylný ke vzniku trhlin na vnější straně (obr. 29). Je-li tvar ohýbaného dílce složitý a neumožňuje natočení osy kolmo, je vhodné provést natočení minimálně o 30° .
- Dodržení minimální vzdálenosti děr od místa ohybu. Pokud se otvor nachází v přímé blízkosti deformovaného úseku, došlo by ke změně geometrie otvoru, viz obrázek 31. Minimální vzdálenost otvoru od ohybu 'b' odpovídá dvojnásobku tloušťky materiálu.
- Ohyb nesmí být umístěn na kraji materiálu. Minimální délka ramene 'a', viz obrázek 30, musí být minimálně dvojnásobek tloušťky materiálu. Pokud je požadovaná délka kratší, ohyb se provede s delším ramenem, které se zkrátí po jeho provedení.



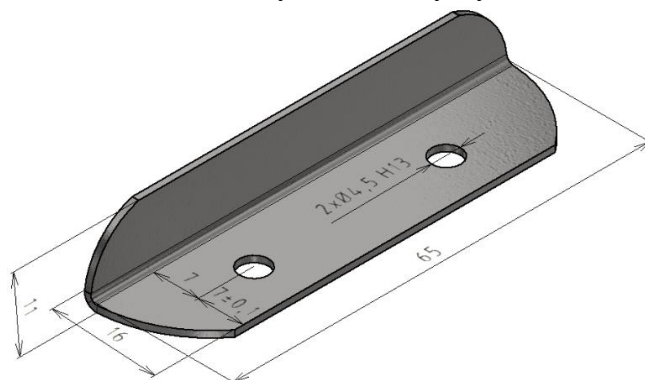
Obr. 29 Osa ohybu [48]



Obr. 30 Otvor od díry [36]

3 NÁVRH VÝROBY [33], [36], [38], [42], [50]

Vyráběným dílem je zarážka dveří (obr. 31), která bude vyráběna z ocelového pozinkovaného plechu DC01 o tloušťce 1 mm. Velikost roční výrobní dávky byla stanovena na 200 000 ks, proto jako polotovaru bude použit plech ve formě svitku. Výroba bude prováděna ve sdruženém postupovém nástroji. Z hlediska posouzení technologičnosti návrhu je třeba zkontrolovat:



Obr. 31 Zarážka

- o Nejmenší otvor dle vzorce (2.18):

$$\frac{b}{s} \geq 1 \rightarrow \frac{4,5}{1} \geq 1,$$

Nejmenší otvory obsažené v návrhu dílu jsou více než čtyřnásobně větší, než je minimální výrobitelný průměr, proto lze tuto podmínku považovat za splněnou.

- o Minimální vzdálenosti otvorů od stříhané hrany dle vzorce (2.19):

$$a \geq 0,8s \rightarrow 7 \geq 0,8 \cdot 1,$$

Otvory jsou v dostatečné vzdálenosti od okraje.

- o Minimální poloměr ohybu dle vzorce (2.21):

$$R_{\min} = k_3 \cdot s = 0,8 \cdot 1 = 0,8 \text{ mm},$$

kde: k_3 – zvoleno 0,8 z rozsahu (0,5 až 1),

Poloměr navržený na součásti vyhovuje minimálnímu za předpokladu, že osa ohybu bude kolmo k vláknům materiálu, viz obrázek 27. Pokud by osa byla rovnoběžně, minimální poloměr by byl dvojnásobný – 1,6 mm.

- o Maximální poloměr ohybu dle vzorce (2.22):

$$R_{\max} = \frac{s}{2} \cdot \left(\frac{E}{R_e} - 1 \right) = \frac{1}{2} \cdot \left(\frac{2,1 \cdot 10^5}{280} - 1 \right) = 374,5 \text{ mm}.$$

Maximální poloměr je mnohonásobně větší, proto je podmínka splněna.

- o Minimální vzdálenosti otvorů od osy ohybu:

$$b \geq 2 \cdot s \rightarrow 9 \geq 2 \cdot 1,$$

(3.1)

Vzdálenost otvorů od osy je dostatečná, vyhovuje tedy podmínce.

Navržený tvar součásti a navržená přesnost vyhovují pravidlům technologičnosti a součást je tedy výrobitelná ve sdruženém nástroji.

3.1 Rozměry polotovaru a umístění výstřižku [33], [38], [42], [48], [50], [51], [52]

Pro stanovení velikosti polotovaru a rozměrů stříhaného dílu je nutné zjistit rozměry rozvinutého tvaru. Pro výpočet délky ohnuté části se součást rozdělí na úseky dle obrázku 32, délka ohnutého 'l₀' se následně stanoví dle vzorce (2.6.).

$$l_2 = \frac{\pi \cdot \alpha}{180} \cdot (R_0 + x \cdot s) = \frac{\pi \cdot 90^\circ}{180} \cdot (1 + 0,44 \cdot 1) = 2,26 \text{ mm}$$

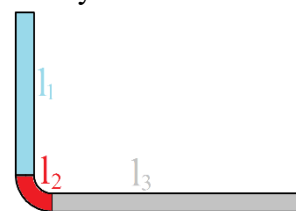
$$l_3 = 14 \text{ mm}.$$

Délka rozvinutého tvaru:

$$l_r = l_1 + l_2 + l_3 = 9 + 2,26 + 14 = 25,26 \text{ mm}, \quad (3.2)$$

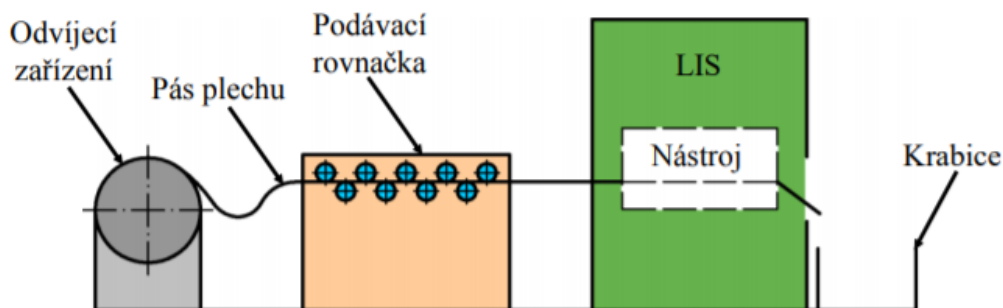
kde l_1 a l_3 jsou odměřeny z výkresové dokumentace.

Rozměry ponechány v setinách kvůli dalším výpočtům.



Obr. 32 Úseky

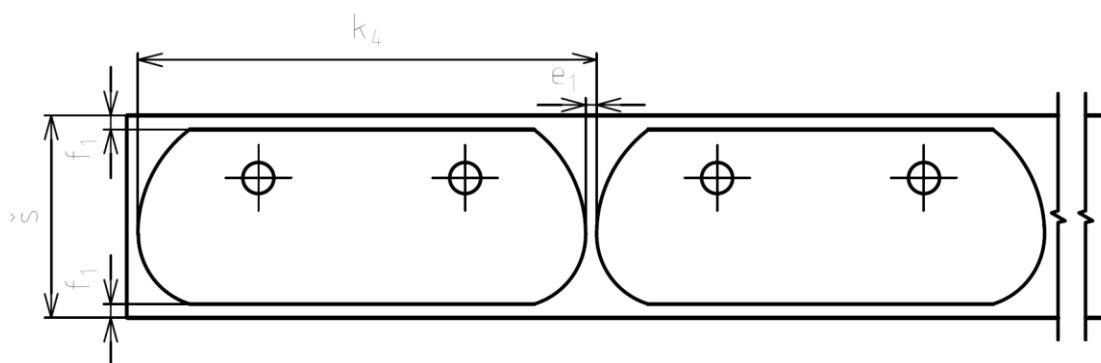
S ohledem na velikost série byl jako polotovár zvolen svitek plechu. Ten je dodán v požadované šířce, čímž se ušetří manipulační čas, prostředky na dělení a tím finanční náklady. Nevýhodou využití svitku namísto tabulí je nutnost umístění automatizované linky obsahující odvíjecí, rovnací a podávací zařízení před samotný nástroj. Využitím linky se eliminuje potřeba využití dorazů, čímž se zjednoduší konstrukce nástroje. Schématické znázornění linky je zobrazeno na obrázku 33.



Obr. 33 Schéma linky [48]

Stříhaný tvar umožňuje dvě různé umístění na svitku plechu, posouzení vhodnosti a využití materiálu se proto provede pro obě varianty:

- Varianta I (obr. 34) – výstřížek je na plechu umístěn podélně, což znamená, že ohyb je prováděn rovnoběžně s vlákny.



Obr. 34 Varianta I.

Šířka pásu plechu:

$$\check{s} = \check{s}_d + 2 \cdot f_1 = 25,26 + 2 \cdot 2 = 29,3 \text{ mm} \quad (3.3)$$

kde: \check{s}_d – šířka dílce [mm],

f_1 – velikost bočního odpadu, odečteno 2 z přílohy 2, dle šířky pásu a tloušťky plechu, [mm].

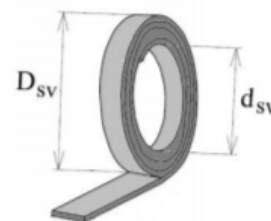
Délka kroku I. varianty:

$$k_4 = l_d + e_1 = 65 + 1,6 = 66,6 \text{ mm}, \quad (3.4)$$

kde: l_d – délka dílce [mm],

e_1 – velikost můstku, odečteno 1,6 z přílohy 2, dle šířky pásu a tloušťky plechu, [mm].

Pro další výpočty budou brány rozměry dle nabídky firmy ALFUN a.s. Vnitřní průměr svitku 'd_{sv}' výrobce udává 610 mm, jeho šířka bude upravena na požadovaný rozměr. Velikost svitku je dána jeho vnějším průměrem 'D_{sv}' (obr. 35). Ten je odstupňován po 100 mm v rozmezí 1000 až 1800 mm. Vzorový výpočet se provede pro vnější průměr 1000 mm, výsledky dalších variant budou shrnuty v tabulce.



Obr. 35 Svitek [52]

Využití materiálu I. varianty

Objem svitku:

$$V_{sv} = \frac{\pi \cdot (D_{sv}^2 - d_{sv}^2)}{4} \cdot \check{s} = \frac{\pi \cdot (1000^2 - 610^2)}{4} \cdot 29,3 = 14400024 \text{ mm}^3 \quad (3.5)$$

Délka svitku:

$$L_{sv} = \frac{V_{sv}}{\check{s} \cdot s} = \frac{14400024}{29,3 \cdot 1} = 493151,51 \text{ mm} \quad (3.6)$$

Počet výstřížků na svitku:

$$n_v = \frac{L_{sv}}{k_4} = \frac{493151,51}{66,6} = 7404,68 \rightarrow \text{nelze vyrobit necelý kus 7404 ks.} \quad (3.7)$$

Využití svitku:

$$\eta_{sv} = \frac{S_v \cdot n_v}{\check{s} \cdot L_{sv}} \cdot 100 = \frac{1501,38 \cdot 7404}{29,3 \cdot 493151,51} \cdot 100 = 77,2 \% \quad (3.8)$$

kde: S_v – plocha výstřížku, hodnota ze softwaru Autocad Inventor [mm^2].

Potřebný počet svitků:

$$n_{sv} = \frac{Q}{n_v} = \frac{200000}{7404} = 27,01 \rightarrow 28 \text{ ks, nelze zakoupit část svitku.} \quad (3.9)$$

kde: Q – velikost roční série [ks].

Tabulka 3 Porovnávací tabulka svitků pro první variantu.

varianta I					
D_{sv} [mm]	V_{sv} [mm ³]	L_{sv} [mm]	n_v [ks]	η_{sv} [%]	n_{sv} [ks]
1000	14400024,0	491468,4	7379	76,9	28
1100	19216085,5	655839,1	9847	76,9	21
1200	24490819,6	835864,2	12550	76,9	16
1300	30224226,2	1031543,6	15488	76,9	13
1400	36416305,3	1242877,3	18661	76,9	11
1500	43067057,0	1469865,4	22070	76,9	10
1600	50176481,1	1712507,9	25713	76,9	8
1700	57744577,8	1970804,7	29591	76,9	7
1800	65771347,1	2244755,9	33705	76,9	6

První varianta má vlákna materiálu rovnoběžně s osou ohybu, tudíž by poloměr nespĺňoval podmínky technologičnosti. Je nutné upravit návrh dílu, přepočítat jeho rozvinutou délku a šířku pásu plechu. Minimální poloměr ohybu je dvojnásobný, než byl vypočten v kapitole 3, tedy 1,6 mm. Rozvinutá šířka vypočtena programem Autodesk Inventor: $\check{s}_d = 25$ mm.

Šířka pásu plechu dle vzorce (3.8):

$$\check{s} = \check{s}_d + 2 \cdot f = 25 + 2 \cdot 2 = 29 \text{ mm.}$$

- Varianta II (obr. 36) – výstřížek umístěn příčně.

Šířka pásu plechu dle vzorce (3.8):

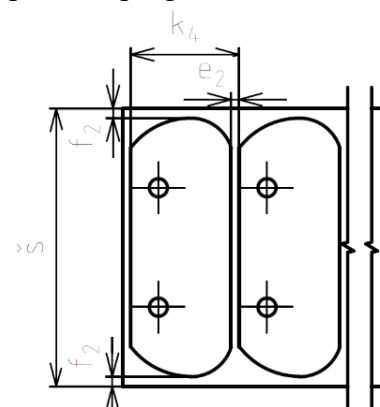
$$\check{s} = \check{s}_d + 2 \cdot f_2 = 65 + 2 \cdot 2,5 = 70 \text{ mm,}$$

f_2 – velikost bočního odpadu II. var. [mm].

Délka kroku II. varianty dle vzorce (3.9):

$$k_4 = l_d + e_2 = 25,26 + 2 = 27,3 \text{ mm.}$$

e_2 – velikost přepážky II. var. [mm].



Obr. 36 Varianta II

Využití materiálu II. varianty

Objem svitku dle vzorce (3.10):

$$V_{sv} = \frac{\pi \cdot (D_{sv}^2 - d_{sv}^2)}{4} \cdot \check{s} = \frac{\pi \cdot (1000^2 - 610^2)}{4} \cdot 70 = 34520605,48 \text{ mm}^3$$

Délka svitku je stejná jako u první varianty, oba průměry polotovaru zůstávají stejné a šířka v čitateli se vykrátí s šířkou ve jmenovateli.

Počet výstřížků na svitku dle vzorce (3.12):

$$n_v = \frac{L_{sv}}{k_4} = \frac{493151,51}{27,3} = 18130,57 \rightarrow 18130 \text{ ks}$$

Využití svitku dle vzorce (3.13):

$$\eta_{sv} = \frac{S_v \cdot n_v}{\check{s} \cdot L_{sv}} \cdot 100 = \frac{1501,38 \cdot 18130}{70 \cdot 493151,51} \cdot 100 = 78,85 \%$$

Potřebný počet svitků dle vzorce (3.14):

$$n_{sv} = \frac{Q}{n_v} = \frac{200000}{18130} = 11,03 \rightarrow 12 \text{ ks}$$

Tabulka 4 Porovnávací tabulka svitků pro druhou variantu.

varianta II					
D_{sv} [mm]	V_{sv} [mm ³]	L_{sv} [mm]	n_v [ks]	η_{sv} [%]	n_{sv} [ks]
1000	34520605,5	493151,5	18064	78,6	12
1100	46065958,5	658085,1	24105	78,6	9
1200	58710868,9	838726,7	30722	78,6	7
1300	72455336,8	1035076,2	37914	78,6	6
1400	87299362,1	1247133,7	45682	78,6	5
1500	103242944,8	1474899,2	54025	78,6	4
1600	120286084,9	1718372,6	62944	78,6	4
1700	138428782,5	1977554,0	72437	78,6	3
1800	157671037,5	2252443,4	82507	78,6	3

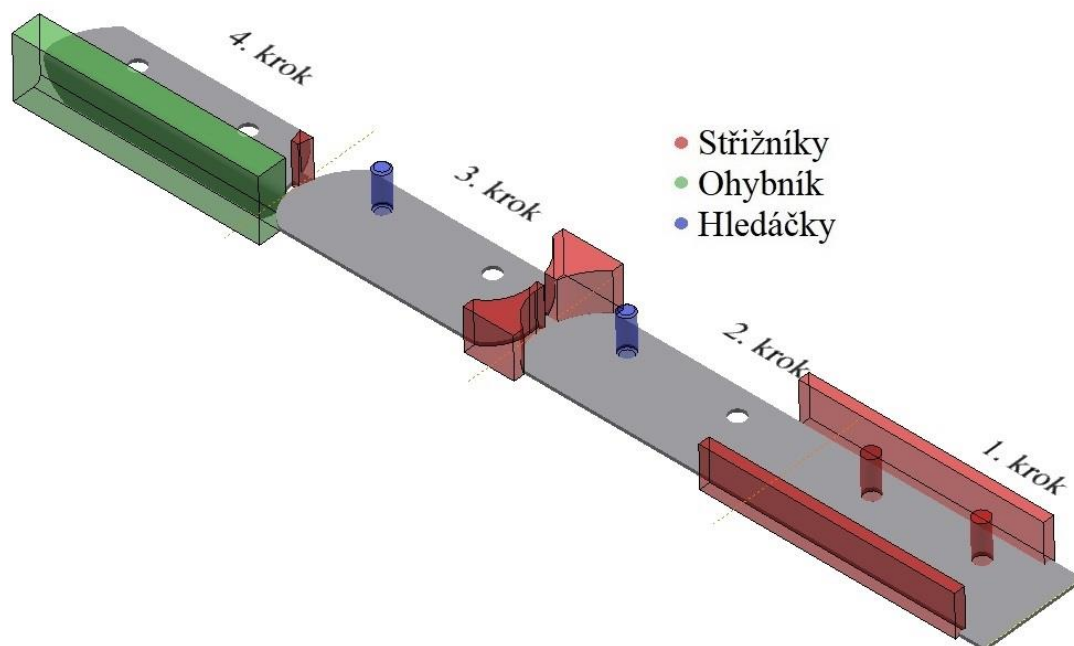
Využití druhé varianty vychází o 1,7 % lépe. Nicméně mezi jednotlivými díly vzniká dlouhá přepážka, jenž by mohla způsobit problém při uložení střížníků do upínací desky.

Možné výrobní postupy se vytvoří pro obě varianty využití, posouzení a výběr vhodnější se provedou poté.

3.2 Varianty a volba výrobního postupu [24], [33], [42], [50], [51]

Budou navrženy dva možné postupy, jeden pro obě varianty umístění výstřížku na plechu. Po jejich popisu a posouzení bude proveden výběr vhodnějšího a dle něj navržen nástroj:

- Výrobní postup A (obrázek 37) součást je vyráběna podélně, ohyb je prováděn ve směru vláken:
 - V prvním kroku dojde k odstřížení vnějších okrajů střížníky obdélníkového průřezu a vystřížení dvou otvorů $\varnothing 4,5$ mm.
 - V dalším se zahledá otvor o průměru 4,5 mm a vystříhne vnější obrys tvarovým střížníkem s ponecháním můstku pro zajištění soudržnosti.
 - Ve třetím kroku se pouze zahledá otvor průměru 4,5 mm a částečně odstříhne můstek.
 - V posledním se součást ohne o 90°, dojde k úplnému odstřížení můstku a tím k dokončení součásti.



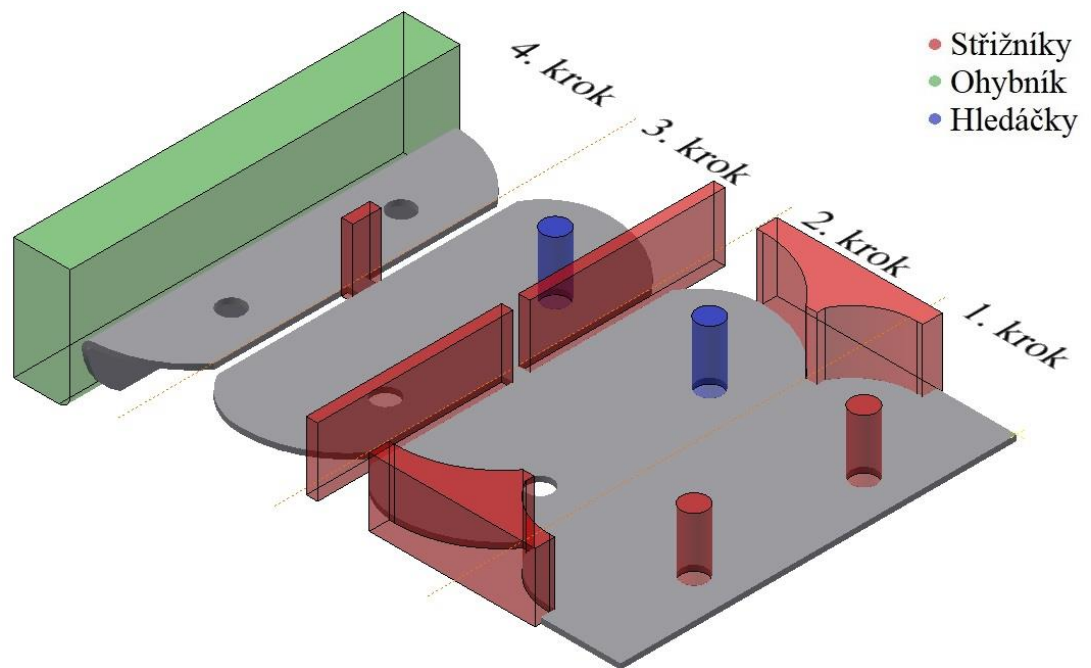
Obr. 37 Výrobní postup A.

Tabulka 5 Popis operací varianty A.

Číslo kroku	Operace
1	Odstřížení kraje
	Vystřížení dvou otvorů \varnothing 4,5 mm
2	Zahledání otvoru \varnothing 4,5 mm
	Vystřížení tvaru, zanechán můstek pro zajištění soudržnosti
3	Zahledání otvoru \varnothing 4,5 mm
4	Ohnutí profilu
	Odstřížení můstku

U tohoto postupu by mohl vzniknout problém v místě odstřížení můstku, kde je využit velmi malý střížník. Při jeho kontrole na otlacení a vzpěr by mohlo dojít k dosažení kritických hodnot. Dalším potenciálním problémem je uchycení střížníku můstku do upínací desky z důvodu jeho malé vzdálenosti od ohybníku. Největším negativem této varianty je nevhodné natočení osy ohybu, kvůli níž by se musely měnit navrhované rozměry součásti. Volbou této možnosti dochází k nižšímu využití materiálu.

- Výrobní postup B (obrázek 38) součást je vyráběna příčně, ohyb je prováděn proti směru vláken:
 - V prvním kroku dojde k vystřížení vnějšího obrysu dvěma tvarovými střížníky a dvou otvorů \varnothing 4,5 mm.
 - Dále se pomocí hledáčku zajistí poloha a dojde k odstřížení přepážky s ponecháním můstku pro zajištění soudržnosti.
 - Ve třetím kroku se zahledá otvor průměru 4,5 mm a dojde k odstřížení přepážky.
 - V posledním se provede ohyb dílce o 90° , čímž je součást dokončena.



Obr. 38 Výrobní postup B.

Tabulka 6 Popis výrobního postupu B.

Číslo kroku	Operace
1	Vystřížení dvou otvorů \varnothing 4,5 mm
	Vystřížení tvaru
2	Zahledání otvoru \varnothing 4,5 mm
	Oboustranné obstřížení přepážky, pro zajištění soudržnosti
3	Zahledání otvoru \varnothing 4,5 mm
	Odstřížení přepážky
4	Ohnutí profilu

U varianty B by použitím úzkých nástrojů pro stříh přepážky mohlo dojít k překročení dovolené hodnoty otláčení.

Po posouzení obou variant a jejich postupů byl jako vhodnější zvolen výrobní postup B, a to převážně kvůli vhodnému natočení vláken materiálu proti ose ohybu a výhodnějšímu využití svitku plechu.

3.3 Výpočty síly a práce [9], [23], [25], [32], [39], [42], [50], [53]

Před samotným návrhem nástroje a výběrem vhodného stroje je nutné provést výpočty síly a práce:

- Výpočty střížných sil zobrazených na obrázku 39:

Pro kruhové střížníky \varnothing 4,5 mm dle vzorce (2.11):

$$F_{s\varnothing 4,5} = n_1 \cdot 0,8 \cdot R_m \cdot l_s \cdot s = 1,3 \cdot 0,8 \cdot 410 \cdot (\pi \cdot 4,5) \cdot 1 = 6028,09 \text{ N},$$

kde: n_1 – zvoleno 1,3 z rozsahu (1,1 až 1,5).

l_s – obvody střížníků odečteny z programu Autocad Inventor.

Tvarové střížníky:

$$F_{s,t} = n_1 \cdot 0,8 \cdot R_m \cdot l_s \cdot s = 1,3 \cdot 0,8 \cdot 410 \cdot 40,366 \cdot 1 = 17212,07 \text{ N}.$$

Střížníky pro odstřížení přepážky:

$$F_{s,p} = n_1 \cdot 0,8 \cdot R_m \cdot l_s \cdot s = 1,3 \cdot 0,8 \cdot 410 \cdot 50,491 \cdot 1 = 21529,36 \text{ N.}$$

Střížník můstku:

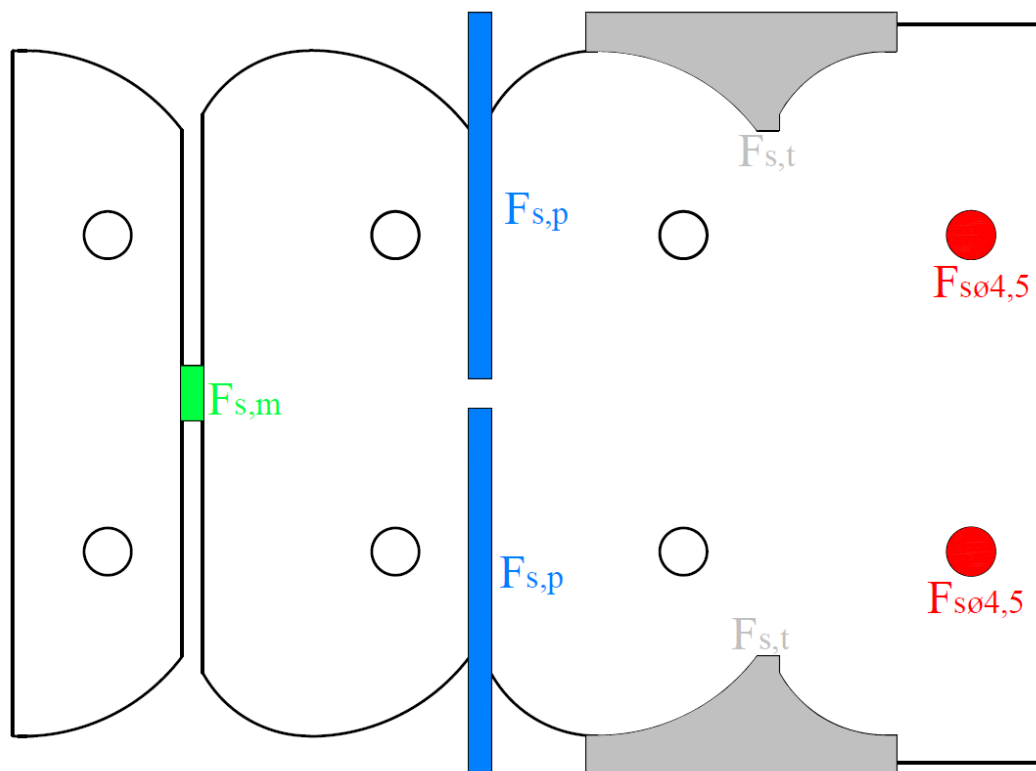
$$F_{s,m} = n_1 \cdot 0,8 \cdot R_m \cdot l_s \cdot s = 1,3 \cdot 0,8 \cdot 410 \cdot 6 \cdot 1 = 2558,40 \text{ N.}$$

Celková střížná síla F_s je součtem sil všech střížníků:

$$F_s = \sum F_{si} = F_{s\phi 4,5} \cdot 2 + F_{s,t} \cdot 2 + F_{s,p} \cdot 2 + F_{s,m} =$$

$$= 6028,09 \cdot 2 + 17212,07 \cdot 2 + 21529,36 \cdot 2 + 2558,40 = 92097,44 \text{ N,}$$

kde: F_{si} – síla jednotlivých střížníků [N].



Obr. 39 Umístění střížných sil.

- Dalším krokem je výpočet střížné práce z celkové síly, dle vzorce (2.15):

$$A_s = x_a \cdot s \cdot F_s = 0,57 \cdot 0,001 \cdot 92097,44 = 52,50 \text{ J,}$$

kde: x_a – voleno 0,57 z rozsahu (0,55 ÷ 0,60), viz příloha 4 [-].

- Výpočet síly potřebné pro ohyb dle vzorce (2.12):

$$F_o = \frac{b_0 \cdot s^2 \cdot R_e}{2 \cdot R_0} \cdot \operatorname{tg}\left(\frac{\alpha}{2}\right) = \frac{65 \cdot 1^2 \cdot 280}{2 \cdot 1} \cdot \operatorname{tg}\left(\frac{90}{2}\right) = 9100 \text{ N.}$$

- Výpočet síly přidržovače ohybu:

$$F_{\text{přidr}} = (0,25 \text{ až } 0,3) \cdot F_o = (0,25 \text{ až } 0,3) \cdot 9100 = (2275 - 2730) \text{ N,} \quad (3.10)$$

kde: (0,25 až 0,3) – doporučený rozsah síly přidržovače ohybu, síla bude následně brána dle pružin přidržovače.

- Celková ohybová síla dle vzorce (2.13):

$$F_{co} = F_o + F_{\text{přidr}} = 9100 + 2640 = 11740 \text{ N,}$$

kde: $F_{\text{přidr}}$ – bráno 2640 N z rozsahu (2275 – 2730) N dle síly zvolených pružin.

- Výpočet práce ohybu dle vzorce (2.16):

$$A_o = k_2 \cdot F_{co} \cdot h = 0,58 \cdot 11740 \cdot 0,015 = 102,14 \text{ J},$$
 kde – k_2 zvoleno 0,58 z rozsahu (0,5 ÷ 0,65) [-].
- Výpočet celkové síly tváření dle vzorce (2.9):

$$F_c = F_s + F_{co} = 92097,44 + 11740 = 103837 \text{ N}.$$
- Výpočet celkové práce dle vzorce (2.17):

$$A = A_s + A_o = 52,50 + 102,14 = 154,64 \text{ J}.$$

Vypočtené hodnoty shrnuty v tabulce 7.

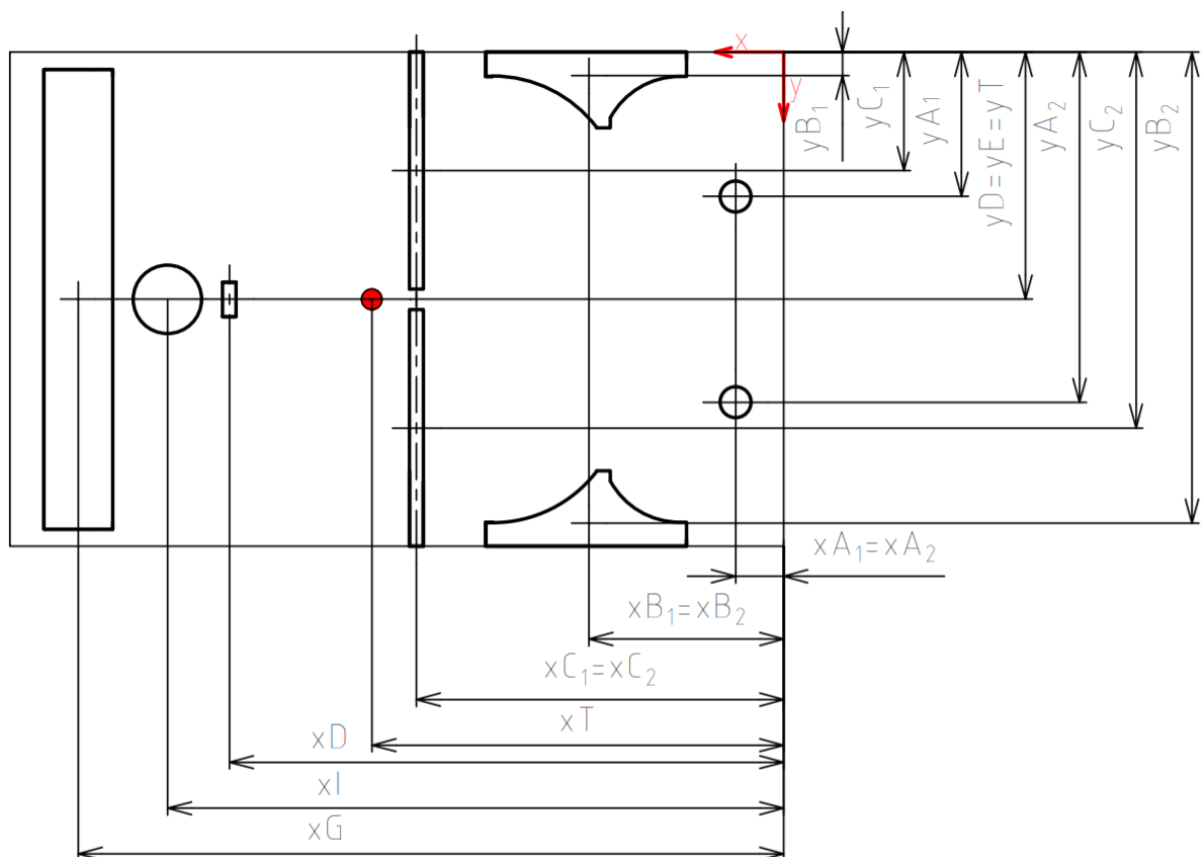
Tabulka 7 Shrnutí sil a prací.

F_s	A_s	F_{co}	A_o	F_c	A
[N]	[J]	[N]	[J]	[N]	[J]
92097	52,5	11740	102,1	103837	154,6

3.3.1 Výpočet těžiště síly

Správné určení těžiště sil je nutné pro umístění stopky, kterou by obsahoval nástroj při využití mechanického lisu. Pokud by nebyla umístěna v těžišti, při výrobě by vznikaly klopné momenty, které by snižovaly přesnost výroby a zrychlovaly opotřebení nástrojů.

Těžiště jednotlivých nástrojů, zobrazené na obrázku 41, byly vypočteny programem Autocad Inventor. Jejich číselné hodnoty jsou v tabulce (8). Znázorněný nulový bod osy x, y byl umístěn do pomyslného rohu materiálu. V obrázku 40 je znázorněna přibližná poloha těžiště jakožto červený bod o souřadnicích (xT; yT).



Obr. 40 Grafické znázornění jednotlivých těžišť

Tabulka 8 Číselné hodnoty těžišť.

Nástroj	Označení nástroje	Poloha těžiště [mm]	
		x_i	y_i
Střížník ø 4,5	A ₁	7	21
Střížník ø 4,5	A ₂	7	51
Tvarový střížník	B ₁	28,36	3,38
Tvarový střížník	B ₂	28,36	68,62
Střížník přepážky	C ₁	53,52	17,25
Střížník přepážky	C ₂	53,52	54,75
Střížník můstku	D	80,78	36
Ohybník	I	102,82	36
Přidržovač	G	89,78	36

Výpočet těžiště ve směru osy x:

$$x_T = \frac{\sum F_i \cdot x_i}{F_c} = \frac{F_{s\emptyset 4,5} \cdot x_{A_1} + F_{s\emptyset 4,5} \cdot x_{A_2} + F_{s,t} \cdot x_{B_1} + F_{s,t} \cdot x_{B_2} + F_{s,p} \cdot x_{C_1} + F_{s,p} \cdot x_{C_2} + F_{s,m} \cdot x_D + F_o \cdot x_G + F_{přidr} \cdot x_I}{F_c} = \frac{6028,09 \cdot 7 + 6028,09 \cdot 7 + 17212,07 \cdot 28,356 + 17212,07 \cdot 28,356 + 21529,36 \cdot 53,52 + 21529,36 \cdot 53,52 + 2558,40 \cdot 80,78 + 9100 \cdot 102,82 + 2640 \cdot 89,78}{103837} = 45.69 \text{ mm.}$$

kde: F_i – Jednotlivé síly od nástrojů [N],
 x_i – vzdálenost jednotlivých těžišť [mm],

Výpočet těžiště ve směru osy y:

$$y_T = \frac{\sum F_i \cdot y_i}{F_c} = \frac{F_{s\emptyset 4,5} \cdot y_{A_1} + F_{s\emptyset 4,5} \cdot y_{A_2} + F_{s,t} \cdot y_{B_1} + F_{s,t} \cdot y_{B_2} + F_{s,p} \cdot y_{C_1} + F_{s,p} \cdot y_{C_2} + F_{s,m} \cdot y_D + F_o \cdot y_G + F_{přidr} \cdot y_I}{F_c} = \frac{6028,09 \cdot 21 + 6028,09 \cdot 51 + 17212,07 \cdot 3,3829 + 17212,07 \cdot 68,6171 + 21529,36 \cdot 17,25 + 21529,36 \cdot 54,75 + 2558,40 \cdot 36 + 9100 \cdot 36 + 2640 \cdot 36}{103837} = 36 \text{ mm,}$$

kde: F_i – Jednotlivé síly od nástrojů [N],
 y_i – vzdálenost jednotlivých těžišť [mm].

Výsledné těžiště sil má souřadnice [$x = 45,7 \text{ mm}$; $y = 36,00 \text{ mm}$]. Ypsilonová souřadnice leží na ose pásu z důvodu symetrického rozložení sil. Do tohoto bodu do upínací desky vytvořen závitový otvor a do něj umístěna stopka nástroje.

3.4 Kontrolní výpočty [9], [23], [25], [32], [39], [50], [53]

Kontrola střížníků – je nutné zkontrolovat nástroje na otláčení a vzpěr, aby nedošlo k jejich znehodnocení nebo zničení během tváření. V případě otláčení se počítá napětí na rozhraní střížníku a upínací desky. Pokud by došlo k překročení, musela by se využít kalená opěrná deska. Při dosažení maximální délky nástroje u kontroly na vzpěr se využije střížník obalený pouzdrem, viz obr. 19:

- Kontrola na otláčení – tvarové plochy odečteny z programu Autocad Inventor:

$$\sigma_s = \frac{F_s}{S_s} \leq \sigma_{dov}, \quad (3.11)$$

kde: σ_s – napětí střížníku [MPa],
 σ_{dov} – dovolené napětí [MPa],
 S_s – plocha na rozhraní střížníku a upínací desky [mm²].

Hodnota dovoleného napětí ‘ σ_{dov} ’ je dána materiálem nástroje. Byla zvolena nástrojová ocel ČSN 19 422, jež má dovolené napětí 180 MPa.

- Kruhové střížníky $\varnothing 4,5$ mm s osazením 2 mm dle vzorce (8.3):

$$\sigma_s = \frac{F_{s\varnothing 4,5}}{S_s} = \frac{6028,09}{\pi \cdot 4,25^2} = 106,23 \text{ MPa.}$$

$$\sigma_s \leq \sigma_{dov} \rightarrow 106,23 \leq 180 \rightarrow \text{není třeba kalená opěrná deska.}$$

- Tvarové střížníky s osazením 1,5 mm dle vzorce (8.3):

$$\sigma_s = \frac{F_{s,t}}{S_s} = \frac{17212,07}{286,23} = 60,13 \text{ MPa.}$$

$$\sigma_s \leq \sigma_{dov} \rightarrow 106,23 \leq 180 \rightarrow \text{není třeba kalená opěrná deska.}$$

- Střížníky pro odstřížení přepážky s osazením 1,5 mm dle vzorce (8.3):

$$\sigma_s = \frac{F_{s,p}}{S_s} = \frac{21529,36}{187,50} = 114,82 \text{ MPa.}$$

$$\sigma_s \leq \sigma_{dov} \rightarrow 114,82 \leq 180 \rightarrow \text{není třeba kalená opěrná deska.}$$

- Střížník můstku s osazením 2 mm dle vzorce (8.3):

$$\sigma_s = \frac{F_{s,m}}{S_s} = \frac{2558,4}{54} = 47,38 \text{ MPa.}$$

$$\sigma_s \leq \sigma_{dov} \rightarrow 47,38 \leq 180 \rightarrow \text{není třeba kalená opěrná deska.}$$

U žádného z nástrojů nehrozí vznik otláčení a není tudíž potřeba využít kalené opěrné desky.

- Kontrola na vzpěr bude provedena pouze pro nejmenší střížníky $\varnothing 4,5$ mm:

$$l_{krit} = \sqrt{\frac{4 \cdot \pi^2 \cdot E \cdot J}{n_2 \cdot F_s}} = \sqrt{\frac{4 \cdot \pi^2 \cdot 2,1 \cdot 10^5 \cdot 20,13}{1,7 \cdot 6028,09}} = 127,61 \text{ mm.} \quad (3.12)$$

kde: l_{krit} – kritická délka [mm],
 E – pro ocel bráno $2,1 \cdot 10^5$ [MPa],
 n_2 – součinitel bezpečnosti zvolen 1,7 z rozsahu (1,5 až 2) [-].

$$J_{\varnothing 4,5} = \frac{\pi \cdot d^4}{64} = \frac{\pi \cdot 4,5^4}{64} = 20,13 \text{ mm}^4, \quad (3.13)$$

kde: $J_{\varnothing 4,5}$ – kvadratický moment průřezu střížníku $\varnothing 4,5$ mm [mm⁴].

Délka střížníku s osazením pro uchycení v kotevní desce je 71 mm, tudíž nehrozí porušení nástroje na vzpěr.

- Výpočet odpružení dle vzorce (2.8):

$$\operatorname{tg} \gamma_0 = 0,375 \cdot \frac{l}{k_1 \cdot s} \cdot \frac{R_e}{E} = 0,375 \cdot \frac{9}{0,58 \cdot 1} \cdot \frac{280}{2,1 \cdot 10^5} = 7,7586 \cdot 10^{-3}$$

kde: $k_1 = 1 - x = 1 - 0,42 = 0,58 [-]$. (3.14)

kde: x – odečteno z tabulky pro délku neutrální vrstvy, příloha 3.

Převedení vypočtené hodnoty na stupně:

$$\gamma_0 = \operatorname{tg}^{-1}(7,7586 \cdot 10^{-3}) = 0^\circ 26' 3''.$$

Vypočtené odpružení je minimální a nemá žádný vliv na funkci dílce. Proto nebude využita kalibrace ani jiná metoda potlačení odpružení.

3.4.1 Výpočty rozměrů funkčních částí nástroje [9], [23], [32], [38], [39], [42], [50]

Všechny funkční rozměry nástroje musí být vyrobeny v určité toleranci kvůli řádnému chodu a životnosti nástroje. Při výrobě vybraným postupem je veškerý stříhaný materiál brán jako odpad. Z toho plyne, že veškeré střížné operace lze pro výpočty brát jako děrování – rozměr střížníku s tolerancí odpovídá dílu, viz obrázek 41. Vzhledem k navrženým tolerancím dílu budou funkční části nástroje zhotoveny v třídě přesnosti IT 8. Nefunkční budou vyrobeny dle ČSN ISO 2768 – f H, o třídu přesnější než nepředepsaná tolerance součásti.

Před výpočtem rozměrů je nutné stanovit velikost střížné mezery a vůle dle vzorce (2.3)

$$\begin{aligned} v &= 2 \cdot z = 2 \cdot \left(c \cdot s \cdot \sqrt{0,1 \cdot \tau_{ps}} \right) = \\ &= 2 \cdot 0,02 \cdot 1 \cdot \sqrt{0,1 \cdot 0,8 \cdot 410} = \\ &= 0,23 \text{ mm,} \\ &\text{kde: } c - \text{ zvoleno } 0,02 \text{ z rozsahu} \\ &\quad (0,005 \div 0,035) [-]. \end{aligned}$$

Výpočet funkčních rozměrů nástrojů bude proveden pouze vzorově pro střížník a střížnici otvoru průměru 4,5 mm. Ostatní rozměry jsou řešeny identicky a jejich hodnoty jsou shrnuty v tabulce 9:

Stanovení rozměrů střížníků pro otvory $\varnothing 4,5$ H13 dle vzorce (3.21):

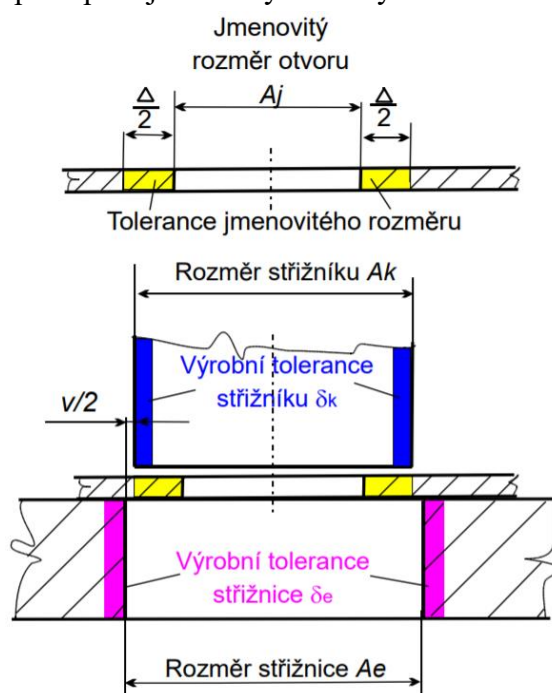
$$A_k = (A_j + \Delta)_{-\delta_k} = (4,5 + 0,18)_{-0,018} = 4,68_{-0,018} \text{ mm,} \quad (3.15)$$

kde: A_k – rozměr střížníku [mm],
 A_j – rozměr součásti [mm],
 Δ – tolerance A_j [mm],
 δ_k – tolerance střížníku [mm].

Stanovení střížnice pro otvory $\varnothing 4,5$ H13 dle vzorce (3.22):

$$A_e = (A_j + \Delta + v)^{+\delta_e} = (4,5 + 0,18 + 0,23)^{+0,018} = 4,91^{+0,018} \text{ mm,} \quad (3.16)$$

kde: A_e – rozměr střížnice [mm],
 δ_e – tolerance střížnice [mm].



Obr. 41 Rozměry střížných nástrojů [42]

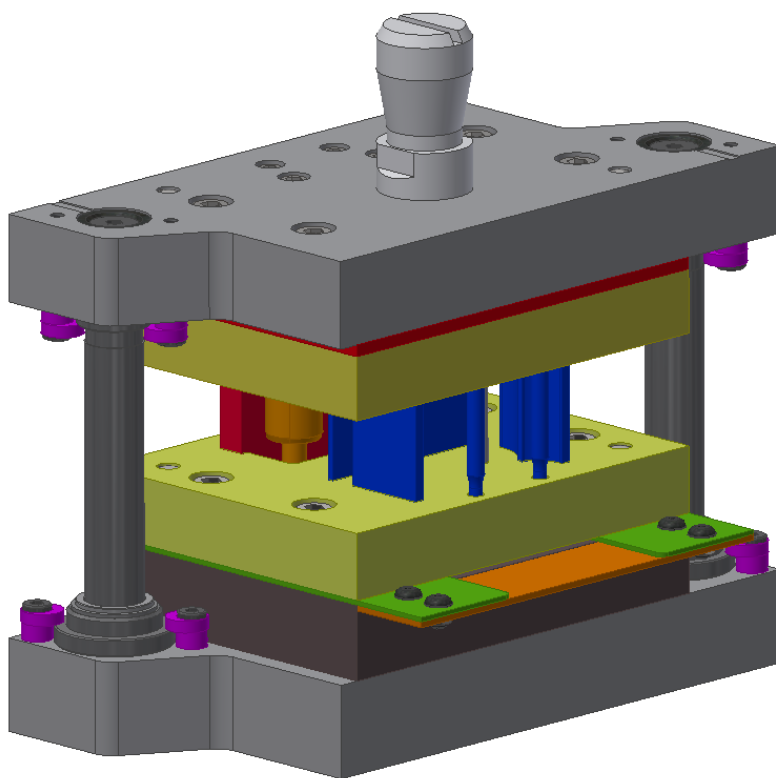
Tabulka 9 Rozměry střížníků a střížnic

Střížná operace	Rozměr	Rozměr střížníku s tolerancí	Rozměr střížnice s tolerancí
Tvarování	R19	19,2 ^{-0,039}	19,43 ^{+0,039}
	R12	12,2 ^{-0,033}	12,43 ^{+0,033}
	2	2,1 ^{-0,014}	2,33 ^{+0,014}
Odstřížení přepážky	34,5	34,7 ^{-0,039}	34,93 ^{+0,039}
	2	2,1 ^{-0,014}	2,33 ^{+0,014}
Odstřížení můstku	5	5,1 ^{-0,018}	5,33 ^{+0,018}
	2	2,1 ^{-0,014}	2,33 ^{+0,014}

3.5 Návrh nástroje [9], [24], [27], [33], [38], [42], [44], [45], [50], [54], [55], [56]

Pro výrobu zarážky dveří byl navržen nástroj kombinující stříh a ohyb (obr. 42). Ten je navržen dle požadavků na výrobu dané součásti a sestaven na základě navrženého postupu. Polotovar ve formě svitku bude umístěn do automatizované linky. Z ní je veden pás o šířce 29 mm do nástroje. Správná poloha pásu je zajištěna podávacím zařízením linky.

V prvním kroku se vykoná vystřížení dvou kruhových otvorů o \varnothing 4,5 mm. Současně dochází k vystřížení vnějšího zaobleného tvaru zarážky dvěma tvarovými střížníky. Tyto střížníky jsou vůči sobě orientovány zrcadlově. V dalším se pomocí hledáčku s válcovou hlavou zahledá otvor o \varnothing 4,5 mm. Zaráz se provede oboustranné obstřížení přepážky se zanecháním můstku pro zajištění soudržnosti. Dále v tomto kroku tvarové střížníky dokončí vnější tvar součásti. Ve třetím se opět zajistí poloha hledáčkem v otvoru \varnothing 4,5 mm a střížník obdélníkového průřezu odstříhne přepážku. V poslední fázi se provede ohyb. Před jeho provedením se materiál zajistí odpruženým přidržovačem s trny, které upevní díl a zaručí přesný ohyb. Zdvih nástroje je 15 mm. Střížníky jsou při rozevření nástroje 13 mm nad vrchní hranou materiálu. Při sevření sjedou skrz plech, milimetr pod něj. Ohybník je při rozevření nástroje 7 mm nad dílem.



Obr. 42 Sdružený nástroj

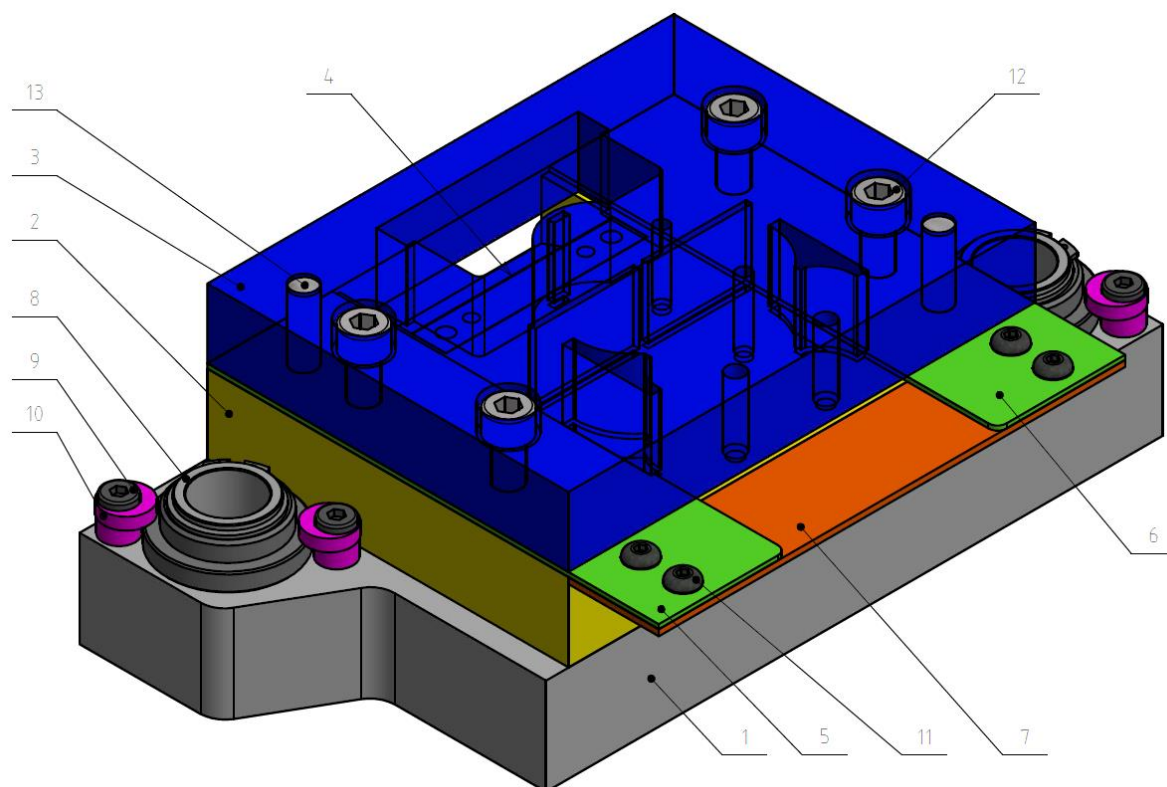
Nástroj lze rozdělit na dvě části a to vrchní, pohyblivou, která je upevněna pomocí stopky přenášející sílu v lisu a spodní, která je staticky připevněna ke stolu lisu.

Spodní část (obr. 43) je pevně připevněna na stole lisu pomocí upínek, příložek a matic. Obsahuje 35 součástí a její váha je 11,98 kg.

Střížnice (pozice 2, dále jen poz.), vodící deska (poz. 3) a vodící lišty (poz. 5 a 6) byly vytvořeny dle normy ČSN 22 6273. Tyto díly jsou společně upevněny k základové desce (poz. 1) čtyřmi šrouby ČSN 02 1143 – M8x60 a kolíky ISO 8734 – 8x75-A. K vodícím lištám je pomocí čtyř šroubů ČSN EN ISO 7380-1 M5x8 a čtyř matic ČSN 02 1403 připevněn podpěrný plech.

Ve střížnici je vyfrézována drážka, ve které je vložena ohybná vložka (poz. 4). Ta je ze spodní plochy upevněna dvěma šrouby ČSN 02 1143–M5x16 a kolíky ISO 8734 – 5x20-A ke střížnici.

Pohyblivé spojení s vrchní částí nástroje je uskutečněno dvěma vodícími pouzdry s nákrůžkem a válečkovou klecí (poz. 8). Tato pouzdra jsou pevně připevněna k základové desce excentrickými držáky (poz. 10), kterými prochází šrouby M6 (poz. 9) zašroubované do základové desky.



Obr. 43 Spodní část nástroje

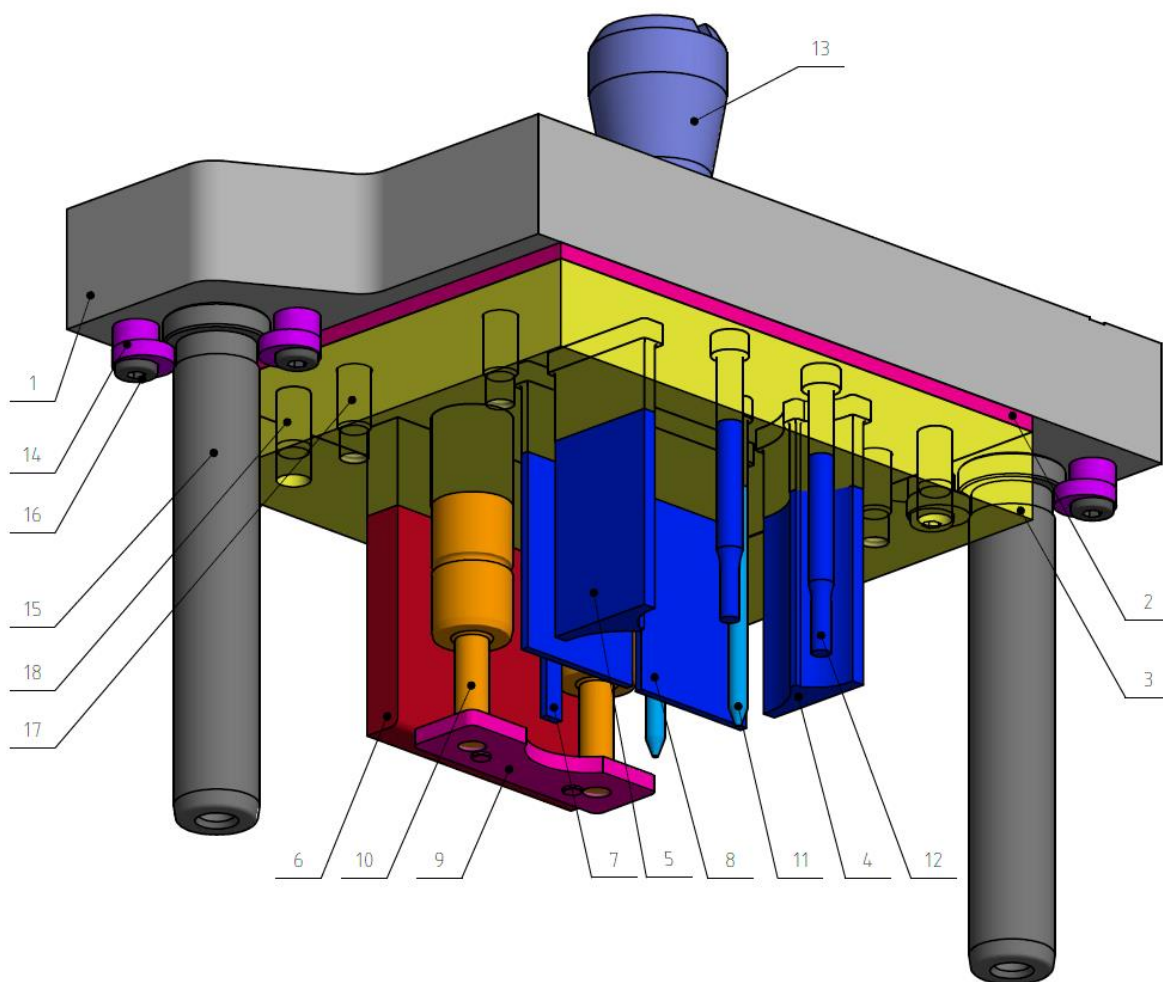
Vrchní část nástroje (obrázek 44) se skládá ze 43 dílů a její celková váha je 10,5 kg. Při tvorbě opěrné (poz. 2) a kotevní desky (poz. 3) se vycházelo z rozměrů skříně spodní části nástroje. Rozměry i rozmístění otvorů pro šrouby (poz. 17) a kolíky (poz. 18) je identické s rozmístěním ve střížné skříně.

Všechny střížné nástroje a hledáčky jsou uchyceny v opěrné desce pomocí osazení výšky 5 mm. Ohybník (poz. 6) má kromě zaoblení na funkční části konstantní průřez a je uchycen třemi šrouby ČSN 02 1143 - M5 x 40. Tyto šrouby jsou zapuštěny v opěrné desce (poz. 1), prochází deskou opěrnou a jsou zašroubovány v ohybníku do hloubky 12 mm.

Přidržovač ohybu (poz. 9) má 2 trny, které zajedou do otvorů $\varnothing 4,5$ mm. Do něj jsou zašroubovány dvě plynové pružiny (poz. 10). Přitlačná síla přidržovače je dána dvěma

pružinami. Ty prochází opěrnou a kotevní deskou, jsou zapuštěné do části desky upínací. Z vrchní části jsou uchyceny šroubem, který prochází upínací deskou a kroužkem. Ten je ve vybrání mezi opěrnou a upínací deskou.

Pohyblivé spojení se spodní částí nástroje je uskutečněno pomocí dvou vodících sloupků s nákužkem (poz. 15). Tyto sloupky jsou pevně připevněny k upínací desce ze spodní strany desky excentrickými držáky (poz. 14). Jimi prochází šrouby M6 (poz. 16) připevněné k upínací desce. Z horní strany se upíná dorazovou podložkou vloženou do otvoru pro sloupek, který je zvětšen o 2,5 mm. Podložka je přišroubována do sloupku šroubem s kuželovou hlavou DIN 7991 – M8 x 25.



Obr. 44 Vrchní část nástroje

3.5.1 Normalizované díly [45], [54], [55], [56], [57]

Při návrhu byla využita řada normalizovaných dílů. Ty jsou výhodné, jelikož se jejich využitím krátí čas na návrh nástrojů, součástí v nich obsažených, a jejich výrobu. Zvýší se životnost nástroje a urychlí případné opravy díky možnosti náhradních dílů. Byly využity díly firem Meusburger a Kaller, jelikož obě firmy nabízí možnost stažení dílů do využitého CAD softwaru.

Pohyblivé spojení nástroje zajišťuje vedení firmy Meusburger. Bylo vybráno vodící pouzdro s nákužkem a válečkovou klecí, které je vhodné pro vyšší rychlosti tváření při nižším zatížení (obrázek 45). K těmto pouzdrům



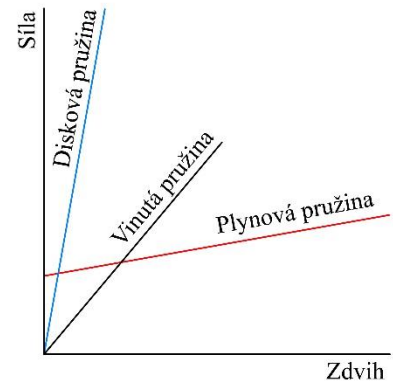
Obr. 45 Vodící pouzdro [45]

jsou vhodné vodící sloupky s nákrůžkem označené E 5000. Sloupky jsou pevně přimontovány k vrchní části nástroje dvěma excentrickými držáky a dorazovými podložkami, taktéž dodávanými firmou Meusburger. Další využitý normalizovaný díl, dodávaný firmou Meusburger, je stopka s průměrem závitu M 16. Ta odpovídá normě ISO 10242 a je vyrobena z oceli ČSN 14 220. Posledními díly od firmy Meusburger jsou střížníky $\varnothing 4,5$ mm s válcovou hlavou a odsazením.

Při volbě tlačných pružin přidržovače se vycházelo z jeho potřebné síly a zdvihu, při jakém musí působit. Vinuté pružiny o použitelných rozměrech, dostupné na trhu, nesplňují požadovanou sílu v průběhu celého zdvihu. Proto byly zvoleny pružiny plynové, které mají konstantnější průběh síly (obr. 47). Využité byly pružiny R19-25-Yellow (obr. 48) od firmy Kaller.



Obr. 47 Pružina R19-25-Yellow [56]



Obr. 46 Průběh síly pružin [57]

3.6 Volba stroje [47], [49]

Při volbě je hlavním parametrem velikost celkové síly, která v tomto případě vyšla 104 kN. Síla stroje musí být vyšší než tato hodnota, aby nedošlo k jeho přetížení. Dalším důležitým faktorem je jeho tvářecí práce, která musí taktéž převyšovat hodnotu vypočtenou, a to 155 J. Z rozměrového hlediska je třeba zkontrolovat, zda je sevření stroje vyhovující pro rozměry nástroje a je možné do něj nástroj uchytit.

Vzhledem k vypočteným hodnotám a rozměrům nástroje byl vybrán výstředníkový lis LENR 25-A (obrázek 48). Je vhodný pro stříhání i ohýbání, jeho parametry jsou v tabulce 10.

Tabulka 10 Parametry stroje [49]

Technické údaje	
Jmenovitá síla	250 kN
Tvářecí práce	390 J
Největší tloušťka	1,6 mm
Největší střížná plocha	630 mm ²
Počet využitelných zdvihů	40
Sevření	220 mm
Zdvih beranu	8 až 98 mm
Upínací dutina beranu	32/60 mm
Výkon elektromotoru	2,2 kW
Délka/šířka/výška lisu	975/1400/1945 mm
Hmotnost lisu	1500 kg



Obr. 48 Lis LENR 25-A [47]

4 ZÁVĚRY

Řešenou součástí je zarážka dveří, která se upevňuje k podlaze. Slouží k zamezení otevření dveří více než je dovoleno, čímž nedojde k poškození kliky a zdi při jejich případném nárazu. Jedná se o jednoduchý plechový výlisek profilu 'L' s dvěma průchozími otvory pro upevnění šrouby dle ČSN EN 20273 a konstantní tloušťkou stěny 1 mm. Velikost výrobní série byla stanovena na 200 000 kusů za rok. Jelikož by součást mohla být umístěna ve venkovním prostředí, byl jako materiál zvolen plech válcovaný za studena, elektrolyticky pozinkovaný, s označením DC01+ZE25/25-A-P-C dle ČSN EN 10131.

Z rozboru možných způsobů výroby byla jako nejvhodnější vybrána technologie stříhání a ohýbání ve sdruženém postupovém nástroji. Byly rozebrány možné postupy výroby a vybrán ten, při němž je součást na pásu rozmístěna příčně. Polotovarem byl zvolen plech ve formě svitku o vnějším průměru 1700 mm, vnitřním 610 mm a šířky 70 mm, který nabízí firma ALFUN a.s. Na zhotovení série jsou potřebné tři svitky. V dalších krocích návrhu byly provedeny technologické a kontrolní výpočty, jimiž byla stanovena velikost síly na 104 kN a práce 155 J. Dále byla ověřena správnost řešení a určena hodnota odpružení u ohybu, která je zanedbatelná.

Byl zkonstruován sdružený postupový nástroj, který díl zhotoví na čtyři operace – tři stříhové a jednu ohybovou. Obsahuje 78 dílů, z nichž je část vyráběna a část koupena.

Součást bude zhotovena na mechanickém výstředníkovém lisu LENR 25-A firmy Šmeral, n.p., Trnava. Ten plně vyhovuje vypočteným parametrům nástroje a výroby. Bylo by ovšem vhodné provést kontrolní simulace návrhu, případně ověřovací série.

SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ [58]

1. Přesné stříhání (fineblanking). In: *Kontura Tools* [online]. 2020 [cit. 2020-06-25]. Dostupné z: https://www.konturatools.com/images/produkty/fotogalerie/X_2016-06-30-15-02-47-7-presne-strihani-digiemme.png
2. Držák hadice. In: *Seven Mini Parts* [online]. 2020 [cit. 2020-06-25]. Dostupné z: https://s3-us-west-1.amazonaws.com/seventimages/product_images/16240103-www.7ent.com.jpg
3. Tvarové ohyby plechu. In: *Prostor-Design* [online]. 2015 [cit. 2020-06-25]. Dostupné z: https://www.prostor-design.cz/wp-content/uploads/sites/1/nggallery/ohybani/t_5228.jpg
4. FOREJT, Milan a Miroslav PÍŠKA. *Teorie obrábění, tváření a nástroje*. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2006, 225 s. : il. ISBN 80-214-2374-9.
5. PATIO DOORSTOP: The MagneticStop Option photo gallery. In: *Doorstop world* [online]. [cit. 2020-09-08]. Dostupné z: <http://www.doorstopworld.com/images/photos/611.jpg>
6. ČSN 11320 – ocel k tažení a tváření za studena. *CZ FERRO STEEL* [online]. [cit. 2020-06-25]. Dostupné z: <http://www.czferrosteel.cz/pdf/profilu3-11320.pdf>
7. DC01 (1.0330). *European Steel and Alloy Grades / Numbers Searchable Database* [online]. 2020 [cit. 2020-06-25]. Dostupné z: http://www.steelnumber.com/en/steel_composition_eu.php?name_id=199#1
8. Plech válcovaný za studena elektrolyticky pozinkovaný, EN 10131. *Ferona online* [online]. 2017 [cit. 2020-06-25]. Dostupné z: <https://online.ferona.cz/detail/27257/plech-valcovany-za-studena-elektrolyticky-pozinkovany-en-10131-rozmer-1x1250x2500>
9. LEINVEBER, Jiří a Pavel VÁVRA. *Strojnické tabulky: pomocná učebnice pro školy technického zaměření*. 5., upr. vyd. Úvaly: Albra, 2011. ISBN 978-80-7361-081-4.
10. Technologie řezání. *WCM* [online]. 2020 [cit. 2020-06-25]. Dostupné z: <http://wcm.cz/wp-content/uploads/2011/12/technologie-%C5%99ez%C3%A1n%C3%AD.png>
11. Řezání vodním paprskem. *MM Průmyslové spektrum* [online]. 9. 7. 2008n. 1., (7) [cit. 2020-06-25]. Dostupné z: <https://www.mmspektrum.com/clanek/rezani-vodnim-paprskem.html?fbclid=IwAR3Dmdcf8PJwhRlsugFTGhJuJMohm3vAjGi9Wje5uqMV2V-meS8eNE15wBs>. Kód článku: 080719.
12. Proces řezání plazmou. In: *Farmweld* [online]. [cit. 2020-06-25]. Dostupné z: <http://www.farmweld.co.uk/images/plasma.jpg>
13. Autogen, plazma či laser? *MM Průmyslové spektrum* [online]. 7. 2. 2018n. 1., (1) [cit. 2020-06-25]. Dostupné z: <https://www.mmspektrum.com/clanek/autogen-plazma-ci-laser.html?fbclid=IwAR2dTurdIII7OjkMsbECEPFoJksCDBBDukhelx1Kguk2YEmU6x-LP9HhhU0>. Kód článku: 180133.
14. Princip laserového řezání. In: *LAO - průmyslové systémy, s.r.o.* [online]. 2014 [cit. 2020-09-08]. Dostupné z: http://www.lao.cz/pictures/jpg/lao_info_preview/serial/13.png
15. Střížný nástroj. In: *Vortool Manufacturing* [online]. 2020 [cit. 2020-06-25]. Dostupné z: https://static.wixstatic.com/media/1ed47f_4fa0c13e3af44c1ba39ce579d1ed1c16~m

- v2_d_2560_2094_s_2.jpg/v1/fill/w_278,h_225,al_c,q_80,usm_0.66_1.00_0.01/metal-stamping-tool-die-curved-aluminum-.webp
16. Výroba na ohraňovacím lisu. In: *Evropská databanka* [online]. [cit. 2020-06-25]. Dostupné z: <https://www.edb.cz/grmat/nabidky/41333x1.jpg>
 17. PODANÝ, Petr. Optimalizace technologie laserového dělení trubek se čtvercovým průřezem. Brno, 2018. 67s, 7 výkresů, 4 přílohy, CD. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství. Ústav strojírenské technologie, Odbor technologie svařování a povrchových úprav. Vedoucí práce doc. RNDr. Libor Mrňa, Ph.D.
 18. WEBBER, Tim. Laser cutting of galvanized steel: Co2 vs. CW Nd:YAG. *Journal of Laser Applications* [online]. 28. 9. 2018n. 1. [cit. 2020-06-25]. Dostupné z: <https://lia.scitation.org/doi/abs/10.2351/1.5058452>
 19. Nekonenční metody obrábění – 8. díl. *MM Průmyslové spektrum* [online]. 8. 10. 2008n. 1., (10) [cit. 2020-06-25]. Dostupné z: <https://www.mmspektrum.com/clanek/nekonecni-metody-obrabeni-8-dil.html>
Kód článku: 081005.
 20. Ohýbadlo. In: *ZIHOS Klatovy s.r.o.* [online]. 2020 [cit. 2020-09-08]. Dostupné z: <https://www.zihos.cz/image.php?nid=12683&oid=3649494&width=900>
 21. ŘASA, Jaroslav a Zuzana KEREČANINOVÁ. Nekonenční metody obrábění – 8. díl. *MM spektrum: Odborně-vzdělávací a zpravodajský portál z oblasti strojírenství a navazujících oborů* [online]. 2008, **2008**(10), 32 [cit. 2020-09-08]. Dostupné z: <https://www.mmspektrum.com/clanek/nekonecni-metody-obrabeni-8-dil.html>
 22. Tool tech. In: *GLM Group* [online]. [cit. 2020-09-08]. Dostupné z: <https://www.glmgroup.it/wp-content/uploads/2018/06/tooltech2.jpg>
 23. FOREJT, Milan. *Teorie tváření*. Vyd. 2. Brno: CERM, 2004, 167 s. ISBN 80-214-2764-7.
 24. NOVOTNÝ, Karel. *Tvářecí nástroje*. Brno: Vysoké učení technické, 1992. ISBN 80-214-0401-9.
 25. LIDMILA, Zdeněk. *Teorie a technologie tváření*. Brno: Univerzita obrany, 2008. ISBN ISBN978-80-7231-579-6.
 26. DVOŘÁK, Milan, František GAJDOŠ a Karel NOVOTNÝ. *Technologie tváření: plošné a objemové tvaření*. 2. vyd. Brno: CERM, 2007, 169 s. : il. ISBN 978-80-214-3425-7.
 27. BOBČÍK, Ladislav. *Střížné nástroje pro malosériovou výrobu*. Praha: SNTL - Nakladatelství technické literatury, 1983, 213 s. : il., tabulky, grafy.
 28. FINDA, Luděk a Roman HALTUF. Akademie tváření: Stříhání. *MM spektrum: Odborně-vzdělávací a zpravodajský portál z oblasti strojírenství a navazujících oborů* [online]. 2010, **2010**(6), 72 [cit. 2020-09-08]. Dostupné z: <https://www.mmspektrum.com/clanek/akademie-tvareni-strihani.html>
 29. DVOŘÁK, Milan, František GAJDOŠ a Ladislav ŽÁK. *Technologie tváření: návody do cvičení*. Vyd. 2. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2005. ISBN 80-214-2881-3.
 30. HELLWIG, Waldemar a Erwin SEMLINGER. *Spanlose Fertigung: Stanzen*. 5th ed. Braunschweig Wiesbaden: Friedr Vieweg Verlagsgesellschaft mbH, 1994. ISBN 3-528-44042-2.
 31. NOVOTNÝ, Josef a Zdeněk LANGER. *Stříhání a další způsoby dělení kovových materiálů*. 1. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1980.

32. ČADA, Radek. *Technologie tváření a slévání – V příkladech* [online]. Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava, 2013 [cit. 2020-09-08]. ISBN 978-80-248-3016-2. Dostupné z: http://projekty.fs.vsb.cz/463/edubase/VY_01_005/Technologie%20tv%C3%A1%C5%99en%C3%AD%20a%20sl%C3%A9v%C3%A1n%C3%AD%20-%20v%20p%C5%99%C3%ADkladech/02%20Text%20pro%20e-learning/3.%20ST%C5%98%C3%8DH%C3%81N%C3%8D%20PLECHU.pdf
33. ZBROJOVKA BRNO. LISOVACÍ NÁSTROJE: Konstrukční směrnice, rozměrové tabulky dílů. ČÁST I. Brno, 1981.
34. TECHNOLOGIE PLOŠNÉHO TVÁŘENÍ - OHÝBÁNÍ. In: *Katedra strojírenské technologie* [online]. [cit. 2020-09-08]. Dostupné z: http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta_tkp/sekce/07.htm
35. KAVKOVÁ, Danuše. *Ohýbání* [online]. SPŠ Na Třebešíně, Praha 10, 2016 [cit. 2020-09-08]. Dostupné z: https://www.moodle-trebesin.cz/pluginfile.php/9815/mod_resource/content/0/3.%20Oh%C3%BDb%C3%A1n%C3%AD.pdf
36. TATÍČEK, František, Martin OUŠKA a Lukáš TURZA. Akademie tváření: Technologičnost konstrukce při ohýbání. *MM Průmyslové spektrum* [online]. 2012, **2012**(4), 84 [cit. 2020-09-09].
37. DVOŘÁK, Milan. *Technologie II*. Vyd. 3., dopl., v Akademickém nakl. CERM 2. vyd. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2004. ISBN 80-214-2683-7.
38. ČSN 22 6015. *Lisovací stroje. Stříhadla a střížné vřle. Směrnice pro výpočet a konstrukci*. Úřad pro normalizaci a měření, 1975.
39. HOSFORD, William F. a Robert M. CADDELL. *Metal forming: mechanics and metallurgy*. 3rd ed. New York: Cambridge University Press, c2007. ISBN 978-0-521-88121-0.
40. MORAVEC, Ján. *Ohýbanie a ohýbacie nástroje*. V Žiline: EDIS, 2003. ISBN 80-807-0040-0.
41. ČSN 22 6273. *Lisovací nástroje. Střížné skříně zesílené proveden*. Úřad pro normalizaci a měření, 1965.
42. LIDMILA, Zdeněk. Technologické procesy [přednáška]. Brno: VUT v Brně, 12.12.2019
43. KOTOUČ, Jiří. *Tvářecí nástroje*. 1. Praha: České vysoké učení technické, 1993. ISBN 80-010-1003-1.
44. SUCHY, Ivana. *Handbook of die design* [online]. 2nd ed. New York: McGraw-Hill, 2006 [cit. 2020-09-08]. McGraw-Hill handbooks. ISBN 00-714-6271-6.
45. Vodící pouzdro. In: *Meusburger* [online]. Wolfurt, Austria, 2020 [cit. 2020-09-09]. Dostupné z: https://www.meusburger.com/CS/CZ/media/GRA_PRO_Fuehrung-Stanz-Rollenfuehrung-E5242_IN.jpg
46. KOPECKÝ, Miloslav a Bedřich RUDOLF. *Tvářecí stroje: mechanické a hydraulické lisy* : určeno pro posl. fak. strojní v Praze, Plzni, Brně a Bratislavě. Praha: SNTL, 1967.
47. MOC, Martin. *Konstrukční řešení klikových lisů a mechanizace jejich provozu* [online]. Plzeň, 2015 [cit. 2020-09-08]. Dostupné z: <https://otik.zcu.cz/bitstream/11025/20242/1/bakalarska%20prace%20Moc%20Martin%202015.pdf>. Bakalářská práce. Západočeská univerzita v Plzni, Fakulta strojní. Vedoucí práce Doc. Ing. Jiří STANĚK, CSc.

48. VAVERKA, Ivo. *Výroba součástí garážového automatického zamykání sdruženým nástrojem* [online]. Brno, 2014 [cit. 2020-09-08]. Dostupné z: https://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=84199. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství. Vedoucí práce Ing. Eva Peterková, Ph.D.
49. HÝSEK, Rudolf. *Tvářecí stroje 1971*. Praha: SNTL, 1972. Řada strojírenské literatury.
50. BAREŠ, Karel a kol. *Lisování*. 1. Praha: SNTL, 1971. ISBN 04-234-71.
51. Ocel. *ALFUN a.s.* [online]. Bruntál [cit. 2020-09-08]. Dostupné z: <http://www.alfun.cz/o-oceli>
52. ROSENBERGOVÁ, Lucie. *Výroba dveřního kování* [online]. Brno, 2017 [cit. 2020-09-08]. Dostupné z: https://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=150578. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství. Vedoucí práce Ing. Kamil Podaný, Ph.D.
53. FREMUNT, Přemysl, Jiří KREJČÍK a Tomáš PODRÁBSKÝ. *Nástrojové oceli*. Brno: Dům techniky [Brno], 1994.
54. *Meusburger E-díly* [online]. Wolfurt, Austria, 2020 [cit. 2020-09-08]. Dostupné z: <https://www.meusburger.com/CS/CZ/zakaznici/lisovaci-technika/produkty/e-dily>
55. Plynové pružiny. *Kaller* [online]. Tranås, Sweden, 2020 [cit. 2020-09-08]. Dostupné z: <https://www.kaller.com/en-us/products/tool-and-die/gas-springs/>
56. Pružina R19-25-Yellow. In: *Kaller* [online]. Tranås, Sweden, 2019 [cit. 2020-09-09]. Dostupné z: https://www.kaller.com/globalassets/inriver/resources/imageimage/singleimagesingle-image/KALLER_R15_prod.png?w=700&h=420
57. Průběh síly pružin. In: *European Springs* [online]. Beckenham, Kent, 2020 [cit. 2020-09-10]. Dostupné z: https://www.europeansprings.com/gas-springs/gas_springs_characteristics_id457.jpg
58. Citace Pro. Generátor citací [online]. 2013 [cit. 2020-05-18]. Dostupné z: <http://citace.lib.vutbr.cz/info>

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

Označení	Legenda	Jednotka
A	Práce	[J]
A ₁	Tažnost	[%]
A _e	Rozměr střižnice	[mm]
A _j	Rozměr součásti	[mm]
A _k	Rozměr střižníku	[mm]
A _o	Ohybová práce	[J]
A _s	Střižná práce	[J]
b	Menší rozměr otvoru	[mm]
b ₀	Šířka ohybu	[mm]
c	Koeficient závislý na druhu stříhání	[-]
d	Vzdálenost otvoru od hrany	[mm]
d _o	Průměr otvoru	[mm]
d _{sv}	Vnitřní průměr svitku	[mm]
D _{sv}	Vnější průměr svitku	[mm]
E	Youngův modul pružnosti	[MPa]
e ₁	Velikost můstku I. varianty	[mm]
e ₂	Velikost můstku II. varianty	[mm]
F	Síla	[N]
f ₁	Velikost bočního odpadu I. varianty	[mm]
f ₂	Velikost bočního odpadu II. varianty	[mm]
F _c	Celková síla	[N]
F _{co}	Celková ohybová síla	[N]
F _k	Kalibrační síla	[N]
F _o	Ohybová síla	[N]
F _{přidr}	Síla přidržovače	[N]
F _s	Střižná síla	[N]
F _{s,m}	Síla střižníků můstku	[N]
F _{s,p}	Síla střižníků přepážky	[N]
F _{s,t}	Síla tvarových střižníků	[N]
F _{so4,5}	Síla střižníků ø 4,5 mm	[N]
h	Zdvih ohybníku	[mm]
h _{el}	Hloubka elastické deformace	[mm]
h _{pl}	Hloubka plastické deformace	[mm]
J _{ø4,5}	Kvadratický moment průřezu střižníku ø 4,5 mm	[mm ⁴]
k ₁	Součinitel úhlu odpružení	[-]
k ₂	Koeficient průběhu ohýbací síly	[-]
k ₃	Součinitel závislý na druhu materiálu a způsobu ohýbání	[-]
k ₄	Délka kroku	[mm]
L	Délka neutrální osy	[mm]
l	Vzdálenost ohýbacích hran	[mm]
l ₁	Délka prvního úseku ohybu	[mm]
l ₂	Délka prvního úseku ohybu	[mm]

l_3	Délka prvního úseku ohybu	[mm]
l_d	Délka dílce	[mm]
l_{krit}	Kritická délka	[mm]
l_o	Délka ohnutého úseku na neutrální ose	[mm]
l_r	Délka rozvinutého tvaru	[mm]
l_s	Délka střižné hrany	[mm]
L_{sv}	Délka svitku	[mm]
n	Počet dílů z jedné tabule	[ks]
n_1	Koeficient otupení nástroje	[-]
n_2	Součinitel bezpečnosti	[-]
n_{sv}	Potřebný počet svitků	[ks]
n_v	Počet výstřižků na svitku	[ks]
Q	Velikost roční série	[ks]
R	Poloměr vnější strany	[mm]
R_e	Mez kluzu	[MPa]
R_m	Mez pevnosti	[MPa]
R_{max}	Maximální poloměr	[mm]
R_{min}	Minimální poloměr	[mm]
R_o	Poloměr ohybu	[mm]
s	Tloušťka plechu	[mm]
S	Plocha střihu	[mm ²]
S_0	Plocha jednoho výstřižku	[mm ²]
S_s	Plocha na rozhraní střižníku a upínací desky	[mm ²]
S_T	Plocha polotovaru, tabule, nebo svitku	[mm ²]
S_v	Plocha výstřižku	[mm ²]
\check{s}	Šířka pásu plechu	[mm]
\check{s}_d	Šířka dílce	[mm]
v	Střižná vůle	[mm]
V_{sv}	Objem svitku	[mm ³]
x	Velikost posunutí osy neutrální od osy původní	[mm]
x_a	Koeficient závislý na druhu a tloušťce materiálu	[-]
x_i	Poloha těžiště síly nástroje v ose 'x'	[mm]
xT	Poloha těžiště sil pro osu 'x'	[mm]
y_i	Poloha těžiště síly nástroje v ose 'y'	[mm]
yT	Poloha těžiště sil pro osu 'y'	[mm]
z	Střižná mezera	[mm]
α	Úhel ohybu	[°]
γ	Úhel ohnutého úseku	[°]
γ_o	Úhel odpružení	[°]
Δ	Tolerance rozměru součásti	[mm]
δ_e	Tolerance střižnice	[mm]

δ_k	Tolerance střižníku	[mm]
ΔR_e	Deformační zpevnění	[MPa]
η	Využití pásu	[%]
η_{sv}	Využití svitku	[%]
ρ	Poloměr neutrální osy	[mm]
σ_{dov}	Napětí dovolené	[MPa]
σ_s	Napětí střižníku	[MPa]
τ_s	Mez pevnosti ve stříhu	[MPa]

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1 Příklady součástí zhotovených tvářením [1][2][3]	9
Obr. 2 Zarážka dveří	10
Obr. 3 Funkce zarážky [5]	10
Obr. 4 Řezání vodou [10]	11
Obr. 5 Řezání plazmou [12]	11
Obr. 6 Laser [14]	11
Obr. 7 Střížný nástroj [15]	12
Obr. 8 Ohraňování [16]	12
Obr. 9 Ohyb v nástroji [20]	12
Obr. 10 Sdružený nástroj pro stříh a ohyb [22]	13
Obr. 11 Průběh stříhání [4]	14
Obr. 12 Vzhled střížné plochy [4]	14
Obr. 13 Konstrukční a technologický odpad	15
Obr. 14 Vhodné a nevhodné rozmístění	15
Obr. 15 Schéma ohýbání [24]	16
Obr. 16 Odpružení	17
Obr. 17 Žebra [37]	17
Obr. 18 Průběh ohybové síly [34]	18
Obr. 19 Ohýbací a střížný nástroj [40][24]	18
Obr. 20 Vodící pouzdro [45]	19
Obr. 21 Dorazy	19
Obr. 22 Skládané střížníky [43]	19
Obr. 23 Střížnice	20
Obr. 24 Otvory střížnic	20
Obr. 25 Ohybníky	20
Obr. 26 Schéma hydraulického lisu [48]	21
Obr. 27 Schéma klikového lisu [48]	21
Obr. 28 Vzdálenosti otvorů [50]	22
Obr. 29 Osa ohybu [48]	23
Obr. 30 Otvor od díry [36]	23
Obr. 31 Zarážka	24
Obr. 32 Úseky	24
Obr. 33 Schéma linky [48]	25
Obr. 34 Varianta I	25
Obr. 35 Svitek [52]	25
Obr. 36 Varianta II	26
Obr. 37 Výrobní postup A	28
Obr. 38 Výrobní postup B	29
Obr. 39 Umístění střížných sil	30
Obr. 40 Grafické znázornění jednotlivých těžišť	31
Obr. 41 Rozměry střížných nástrojů [42]	34
Obr. 42 Sdružený nástroj	35
Obr. 43 Spodní část nástroje	36
Obr. 44 Vrchní část nástroje	37
Obr. 45 Vodící pouzdro [45]	37
Obr. 46 Průběh síly pružin [57]	38
Obr. 47 Pružina R19-25-Yellow [56]	38
Obr. 48 Lis LENR 25-A [47]	38

SEZNAM TABULEK

Tabulka 1 Mechanické vlastnosti a chemické složení oceli ČSN 11 321 [6][7][8].....	10
Tabulka 2 Vlastnosti zinkového povlaku ZE25/25 [8].....	10
Tabulka 3 Porovnávací tabulka svitků pro první variantu.....	26
Tabulka 4 Porovnávací tabulka svitků pro druhou variantu.....	27
Tabulka 5 Popis operací varianty A.....	28
Tabulka 6 Popis výrobního postupu B.....	29
Tabulka 7 Shrnutí sil a prací.....	31
Tabulka 8 Číselné hodnoty těžišť.....	32
Tabulka 9 Rozměry střížníků a střížnic.....	35
Tabulka 10 Parametry stroje [49].....	38

SEZNAM PŘÍLOH

Příloha 1	Diagram závislosti vůle na tloušťce materiálu
Příloha 2	Směrnice pro stanovení šířky odpadu
Příloha 3	Tabulka součinitele posunutí neutrální vrstvy
Příloha 4	Tabulka koeficientu střížné práce závislý na druhu a tloušťce materiálu

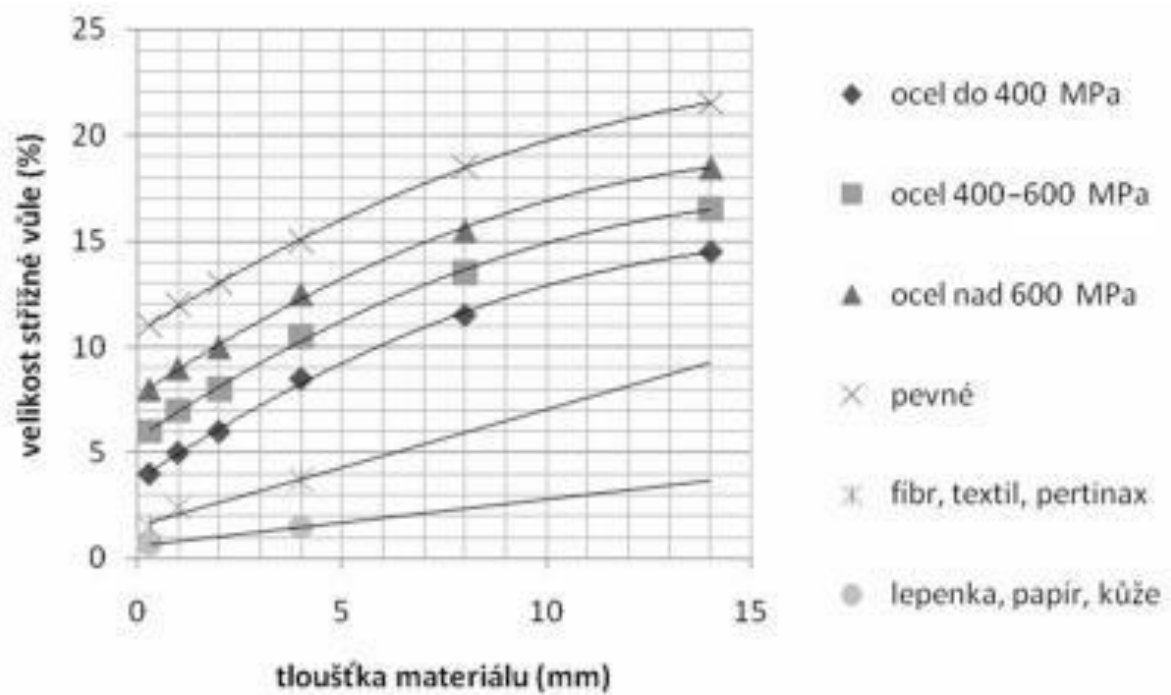
SEZNAM VÝKRESŮ

Zarážka	BP_191922_D00
Sdružený nástroj	BP_191922_S00
Seznam položek	BP_191922_K00
Ohybník	BP_191922_V11
Ohybová vložka	BP_191922_V12
Střížník přepážky	BP_191922_V09
Střížnice	BP_191922_V03

Příloha 1

1/1

Diagram závislosti vůle na tloušťce materiálu [28]



Příloha 2

Směrnice pro stanovení šířky odpadu [62]

415 - 06 - 205

SMĚRNICE PRO STANOVENÍ
ŠÍŘKY ODPADU

415 - 06 - 205

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	2,5	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	5,8	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	5,3	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	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

Tloušťka mat.	do 1	1,1+1,3	1,4+1,5	1,6+1,8	1,9+2
g	1,5	1,8	2	2,2	2,5

Rozměry uvedené v tabulkách platí pro kovy.
Pro hmoty měkké (chrom. kůže, textil, azbest) použít dvojnásobné hodnoty e; f. Rozměr g zvětšit 1,5 krát.

Kreslil *Avišk* Přezkoušel *Hy Barto* Schválil *Slavík*

Platí od
1.4.1981

415 - 06 - 205

SMĚRNICE PRO STANOVENÍ
ŠÍŘKY ODPADU

415 - 06 - 205

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+0,4	1,8	1,5	2,8	1,8	3,5	2,2	5	3,1				
0,4+0,9	1,8	1,5	2,8	1,8	3,8	2,2	5,2	3,1				
1	2	1,6	3	2	4	2,5	5,5	3,7	7,3	4,8	9	6
1,3	2,2	1,7	3,2	2,5	4,2	3,1	5,8	4,3	7,5	5,7	9,6	7
1,5	2,2	1,8	3,2	2,7	4,2	3,2	5,8	4,5	7,8	6	9,8	7,2
1,8	2,2	2,2	3,2	2,8	4,2	3,5	5,8	4,7	7,8	6,2	9,8	7,4
2	2	2,5	3,5	3,1	4,5	3,7	6	5	8	6,3	10	7,5
2,2	2,5	2,7	3,5	3,2	4,5	4	6	5,2	8	6,4	10	7,5
2,5	2,8	3,1	3,8	3,5	4,8	4,1	6,2	5,2	8,2	6,5	10,2	7,6
2,8	2,8	3,5	3,8	3,7	4,8	4,2	6,2	5,3	8,5	6,5	10,5	7,6
3	3	3,7	4	4	5	4,5	6,8	5,5	9	6,7	11	7,8
3,5			4,2	4,3	5,2	5	7	6	9	7,2	11,2	8,4
4			4,5	4,5	5,5	5,5	7,2	6,5	9,2	7,8	11,3	9,3
4,5			4,8	4,8	5,8	5,7	7,5	6,8	9,8	8,3	12	9,8
5			5	5	6	6	8	7	10	8,5	12,3	10

Rozměry uvedené v tabulce platí pro kovy.
Pro hmoty měkké (chrom. kůže, textil, azbest) použít dvojnásobné hodnoty e; f.

Kreslil *Avišk* Přezkoušel *Hy Barto* Schválil *Slavík*

Platí od
1.4.1981

Příloha 3

1/1

Tabulka součinitele posunutí neutrální vrstvy [32]

R0/s	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	1	1,2	1,5	2
x	0,23	0,29	0,32	0,35	0,37	0,38	0,39	0,4	0,41	0,42	0,44	0,45

Příloha 4**1/1**

Tabulka koeficientu sřížné práce závislý na druhu a tloušťce materiálu [50]

Materiál	Tloušťka sříhaného materiálu [mm]			
	do 1	1 až 2	2 až 4	nad 4
ocel $R_m = (250 \div 350) \text{ Mpa}$	0,70 ÷ 0,75	0,65 ÷ 0,70	0,55 ÷ 0,65	0,40 ÷ 0,55
ocel $R_m = (350 \div 500) \text{ Mpa}$	0,60 ÷ 0,65	0,55 ÷ 0,60	0,45 ÷ 0,55	0,35 ÷ 0,45
ocel $R_m = (500 \div 700) \text{ Mpa}$	0,47 ÷ 0,50	0,45 ÷ 0,47	0,35 ÷ 0,45	0,25 ÷ 0,35