VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE
INSTITUTE OF MANUFACTURING TECHNOLOGY

VÝROBA SPONY
MANUFACTURING OF CLIP

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE — **František Melezinek**
AUTHOR

VEDOUCÍ PRÁCE — **Ing. Kamil Podaný, Ph.D.**
SUPERVISOR

BRNO 2020

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

Zadání bakalářské práce

Ústav:	Ústav strojírenské technologie
Student:	**František Melezinek**
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 spony

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Jedná se o návrh technologie výroby spony, která se používá u clip rámečků na upevnění krycího skla k podložce. Součástka je prostorového tvaru a bude vyráběna technologií stříhání a ohýbání. Na tuto problematiku bude také zaměřena literární studie.

Cíle bakalářské práce:

– zhodnotit technologičnost spony,
– 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.

doc. Ing. Petr Blecha, Ph.D. ředitel ústavu	doc. Ing. Jaroslav Katolický, Ph.D. děkan fakulty

ABSTRAKT

MELEZINEK František: Výroba spony.

Práce se zabývá technologií výroby spony, která je spojujícím segmentem „clip“ rámečku. Výlisek je vyroben z plechu o tloušťce 0,3 mm a obsahuje řadu ohybů a tvarových střihů. Na základě rozboru vhodných výrobních metod a se zohledněním velikosti série 300 000 ks za rok byla jako nejvhodnější zvolena technologie sdruženého postupového nástroje. Výroba probíhá v osmi krocích kombinujících střih a ohyb. Jako polotovar byl zvolen svitek o šířce 53,4 mm z pružinové nízkolegované oceli 51CrV4. Dle stanovené síly 43 kN a práce 15 kJ bude díl vyráběn na univerzálním hydraulickém lisu CUPS 6,3 DEU od firmy HŠV stroje a.s.

Klíčová slova: Střih, ohyb, postupový sdružený nástroj, ocel 51CrV4, lis CUPS 6,3 DEU

ABSTRACT

MELEZINEK František: Manufacturing of clip.

The thesis deals with technology of clip manufacture, used as connecting segment of clip frame. The molding is made out of 0,3 mm metal sheet and includes a number of bends and shaped cuts. Based on analysis of suitable production metods and size of series of 300 000 pieces per year, progressive combined tool was chosen as the best option. The part will be made in eight steps combining cutting and bending. For semi-finished product was used 53,4 mm wide roll of sheet metal. As material was choosen spring low alloy steel 51CrV4. Based on calculated force 43kN and work 15kJ the part will be produced on universal hydraulic press CUPS 6,3 DEU manufactured by HŠV stroje a.s.

Keywords: cutting, bending, progressive combined tool, steel 51CrV4, press CUPS 6,3 DEU

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

MELEZINEK, František. *Výroba spony* [online]. Brno, 2020 [cit. 2020-06-26]. Dostupné z: https://www.vutbr.cz/studenti/zav-prace/detail/121627. 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 Praze dne 26.6.2020

……

Podpis

PODĚKOVÁNÍ

Tímto bych chtěl poděkovat panu Ing. Kamil Podaný, Ph.D za cenné připomínky a rady týkající se zpracování bakalářské práce. Dále bych rád poděkoval své rodině za podporu a velkou pomoc.

OBSAH

Zadání
Abstrakt
Bibliografické citace
Čestné prohlášení
Poděkování
Obsah

Str.

ÚVOD 9
1 ROZBOR ZADÁNÍ 10
1.1 Varianty řešení výroby 11
2 TECHNOLOGIE VÝROBY 13
2.1 Stříhání 13
2.1.1 Střižná vůle 14
2.1.2 Rozmístění výstřižků 14
2.2 Ohýbání 15
2.2.1 Rozvinutý tvar 16
2.2.2 Odpružení a poloměry ohybu 16
2.3 Síla a práce 17
2.3.1 Těžiště síly 18
2.4 Nástroje 19
2.5 Stroje 21
2.6 Technologičnost 23
3 NÁVRH VÝROBY 24
3.1 Rozvinutý tvar 25
3.2 Rozmístění součásti 26
3.2.1 Výrobní postup 27
3.3 Volba polotovaru 31
3.4 Síla a práce 33
3.4.1 Těžiště sil 36
3.5 Volba stroje 37
3.6 Popis nástroje 38
3.6.1 Kontrola funkčních částí nástroje 40
4 ZÁVĚRY 41

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

ÚVOD [1],[2],[3],[4],[5],[6],[7]

Strojírenství je obor založený na základech fyziky a nauky o materiálech. Zabývá se návrhem a výrobou strojů, součástí a jejich následnou údržbou. Pro zhotovení výrobku využívá řadu technologií. Mezi základní z nich patří obrábění, slévání, tváření a svařování. Technologie jsou voleny podle možností výroby s ohledem na jejich minimální náklady.

Za jednu z nejrozšířenějších se dá považovat tváření, které je řazeno do skupiny beztřískové výroby. Během ní nedochází k přerušení vláken materiálu, který díky tomu má lepší pevnostní vlastnosti. Tváření se rozděluje na objemové a plošné.

Během plošného tváření se dosahuje požadovaného tvaru bez velkých změn tloušťky nebo průřezu materiálu. Jedny ze základních technologií jsou ohýbání a stříhání, jejichž výhodou jsou krátké výrobní časy, přesnost a velká využitelnost materiálu s možností automatizace. Výroba tímto způsobem je však velmi nákladná, proto je výhodná pouze pro sériovou výrobu. Ukázky součástí vyrobených pomocí plošného tváření jsou na obrázku 1.

Obr. 1 Příklady součástí vyrobených plošným tváření [4],[5],[6],[7]

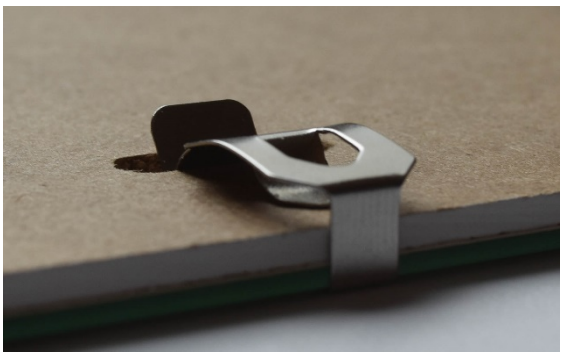
1 ROZBOR ZADÁNÍ [8],[9],[10],[11],[12],[13],[14],[15]

Vyráběná součást je kovová spona použitá u tzv. „clip“ rámečku (obr. 2). Rámeček se skládá ze sestavy skla na straně lícové a zadní rubové desky. Spony jsou umístěny na všech čtyřech hranách (obr. 3), u kterých sklo a zadní desku svírá ohnuté přídržné rameno a „jazýček“ prolisovaný ve střední části součásti. Oko prolisu plní funkci závěsu na vrut nebo skobu, které jsou připevněny na zdi. Sestava je zajištěna druhým koncem spony zapadající do vybrané drážky na rubové straně zadní desky. Nadzdvižením úchytu je možné součást ze sestavy opět uvolnit (obr. 4).

Obr. 2 Spona

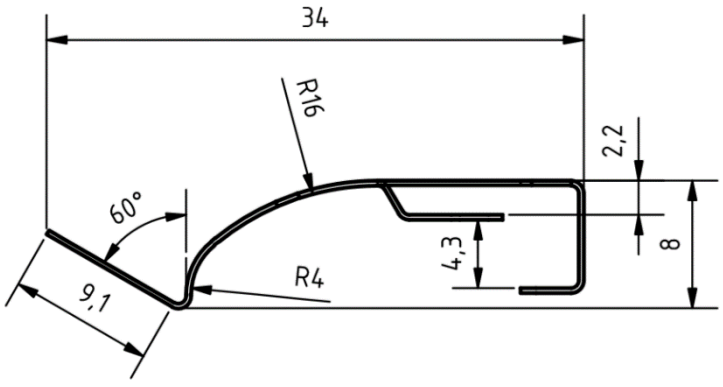
Jedná se o málo namáhaný díl, používaný v domácnostech, plnící funkci mechanického spojení rámečku a jeho závěsu. Plánovaná výrobní série za rok činí 300 000 kusů.

Obr. 3 Umístění spony



Obr. 4 Sestava rámečku

Součást je vyrobena z plechu tloušťky 0,3 mm o výsledných rozměrech 34 mm na délku, 8 mm na výšku a 12 mm na šířku. Vzdálenost mezi ohnutým přídržným ramenem a „jazýčkem“ prolisu je 4,3 mm. Výsek má k „jazýčku“ hloubku 2,2 mm a je 6 mm široký. Poloměry ohybu zajišťujícího ramene jsou 16 mm a 4 mm, zajištují tak kolmost k desce. Ostatní poloměry ohybu jsou 0,5 mm. Ze zajištění na konci spony je vyveden pod úhlem 60° úchyt o délce 9,1 mm (obr. 5). Nepředepsané mezní úchylky všech délkových rozměrů jsou podle normy ČSN ISO 2768-1 se střední třídou přesnosti.



Obr. 5 Spona s rozměry

Během volby materiálu se musí brát ohled na jeho mechanické vlastnosti, velikost výrobní série a výrobu samotné součásti. Jako vhodný materiál je zvolena pružinová nízkolegovaná legovaná ocel 51CrV4 (ekvivalent v ČSN 15 260), válcovaná za studena a žíhaná naměkko, která disponuje výbornou tvářitelností. Běžně se používá na pružiny ve velmi namáhaném prostředí s vysokou únavovou pevností ale také na úchytné prvky. Mechanické vlastnosti a složení oceli jsou uvedeny v tab. 1.

Během provozu nejsou na součást kladeny žádné požadavky na údržbu, ale při dlouhodobém působení prostředí v domácnosti může dojít ke korozi, proto je elektrolyticky povlakovaná niklem, který zároveň tvořící lesklý esteticky vyhlížející povrch.

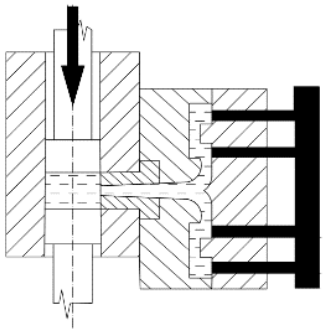
Tab. 1 Základní mechanické vlastnosti a chemické složení [10],[11],[14],[15].

Materiál	Ocel 51CrV4								
Mechanické vlastnosti	Mez pevnosti Rm [MPa]			Tažnost A [%]			Mez kluzu $R_{p0,2}$ [MPa]		
	700			13			550		
Chemické složení [%]	C	Mn	P	S	Si	Cr	V	Mo	Ni
	0,51	0,9	0,025	0,025	0,4	1,05	0,18	0,1	0,4

1.1 Varianty řešení výroby [2],[16],[17],[18],[19],[20],[21],[22],[23],[24],[25],[26],[27]

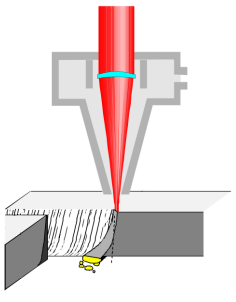
Sponu je možné vyrobit různými technologiemi. Během navrhování vhodného způsobu se musí brát ohled na technologičnost, tvarové a rozměrové přesnosti, materiál, požadované mechanické vlastnosti, sériovost a výrobní dobu. Pro zhotovení součásti je možné volit jednu z následujících technologií:

- Odlévání – je technologie, při které je roztavený kov vpraven do komory, kde tuhne požadovaného tvaru. Pro tenkostěnné dílce je nejvhodnější tlakové lití, u kterého je tavenina vtlačena do komory pod vysokým tlakem působícím do ztuhnutí odlitku (obr. 6). Metodou je možné vyrábět tenkostěnné odlitky složitých tvarů s velkou jakostí povrchu s životností formy 5 000 až 100 000 odlitků a výrobním taktem od 30 sekund do 6 minut. Metoda je však pro výrobu dané součásti nevhodná. Materiál 51CrV4 je nevhodný k odlévání. Přestože se jedná o tenkostěnné odlitky, tak jejich minimální tloušťka stěny je 0,5 mm. Mají navíc malou houževnatost, jsou křehké a během užívání by docházelo k jejich praskání.



Obr.6 Tlakové lití [2]

- Řezání laserem a ohýbání na ohraňovacím lise – u laseru je materiál z místa řezu odpařován působením silného světelného záření soustředěného na malou plochu (obr. 7). Během řezu nedochází v jeho okolí téměř k žádnému tavení materiálu vzniklé kovové páry jsou z důvodu zamezení oxidace odfoukávány asistenčními plyny, jakými jsou dusík a argon. Díky tomu je řez kvalitní, hladký a bez otřepů. K vytvoření ohybů musí být výpalek přesunut do ohraňovacího lisu buď manuálně pracovníkem, nebo automatizovaným podavačem. Materiál je vložen mezi razník a matrici, ohýbající součást vyvinutým tlakem

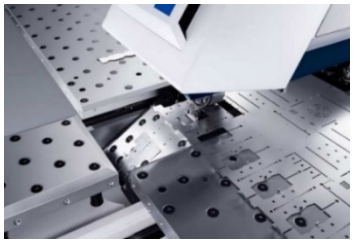


Obr. 7 Řezání laserem [18]

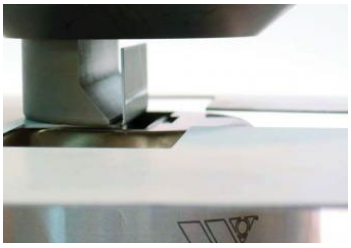
(obr. 8). Jednoduché ohyby se dají provést volným ohýbáním, kde nástroje mají univerzální tvar a úhel ohybu je určen hloubkou vtlačení razníku. Složité ohyby je možné provést pouze na specializovaných tvarových nástrojích. Výhodou metody je velká přesnost a variace ohybů. Nevýhodou je malá výrobní rychlost. Z důvodů drobných rozměrů součásti, malé výrobnosti a zvýšených časů během transportu součásti mezi operacemi, je tato metoda pro navrhovanou součást nevhodná.

Obr. 8 Razník s matricí [20]

- Vysekávání a ohýbání – pro vysekávání materiálu se používá sestavy nástrojů razníku a raznice, kde za jejich přímočarého pohybu dochází k jeho oddělení pomocí protilehlých břitů (obr. 9). Nástroje je možné plynule otáčet o 360°, to znamená vytvoření více typů tvarových střihů menším počtem nástrojů a tím i snížení pořizovacích nákladů. Na vysekávacím stroji je také možné zajistit malé ohyby plechových dílců (obr. 10). Za jeden zdvih se dá docílit ohybu 90°. Tímto jsou sníženy výrobní časy i časy mezioperačních manipulací. Přesto, že tu jsou výše zmiňované výhody nižších nákladů na nástroje, metoda je vhodná pouze pro ohyb v jednom směru, nedostačující pro výrobu dané tvarově složité součásti.

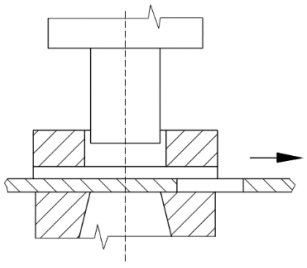


Obr. 9 Vysekávání [23]

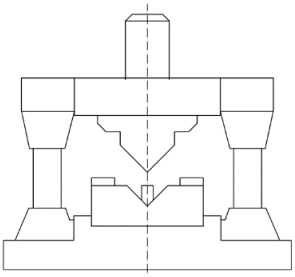


Obr. 10 Ohýbání na vysekávacím stroji [24]

- Střih a ohyb v nástroji – střih probíhá vzájemným působení protilehlých břitů (obr. 11), kde po překročení meze pevnosti dochází k oddělení materiálu. Ohyb je zajištěn nástrojem (obr. 12) stlačujícím polotovaru, u kterého dojde při překročení meze kluzu k plastické deformaci, a tím k trvalé změně tvaru. Výhodou je velká výrobnost a možnost automatizace. Nevýhodou je vyšší pořizovací cena a v případě oddělených pracovišť také požadavek na manipulaci s polotovary.



Obr. 11 Střižný nástroj [2]

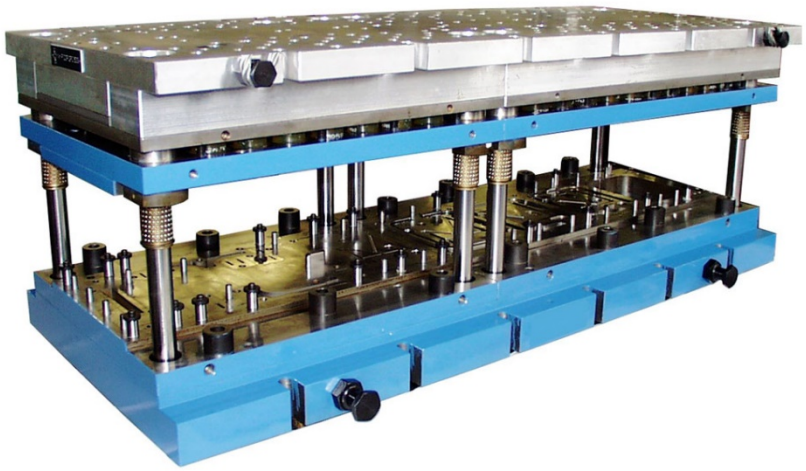


Obr. 12 Ohýbací nástroj [2]

Po posouzení jednotlivých možností výroby, tvaru součásti a její sériovosti se jako nejvhodnější jeví metoda střihu a ohýbání. Problém s mezioperační manipulací bude vyřešen jejich spojením do postupového sdruženého nástroje. Díl bude vyroben rovnou z pásu plechu bez potřeby přesunutí mezi pracovišti a bude tak možné jeho výrobu plně automatizovat. Vyšší pořizovací náklady na nástroje kompenzuje velká výrobní série. Na střih a ohyb v postupovém sdruženém nástroji bude zaměřena teoretická a návrhová část práce.

2 TECHNOLOGIE VÝROBY [2],[28],[29]

Nástroj bude konstruován jako postupový sdružený (obr.13), kde se standartně jako polotovar používá pás ustřihnutý z plechu nebo svitek. Na jeden zdvih je prováděno několik střižných a ohybových operací současně. Toto řešení je často používané při velkosériové výrobě, které zároveň umožňuje pokrýt vyšší pořizovací náklady technologie.

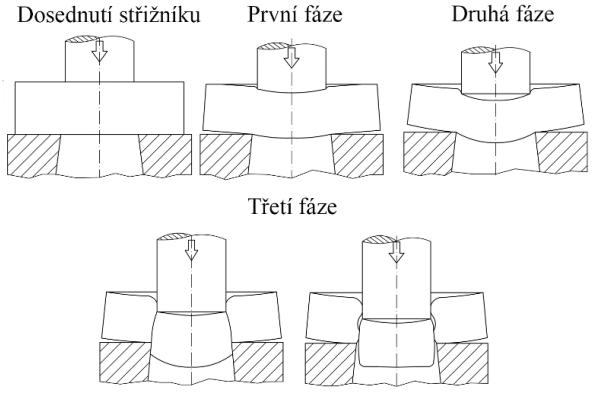


Obr. 13 Postupový sdružený nástroj [29]

2.1 Stříhání [1],[2],[21],[28],[30],[31],[32],[33]

Technologie stříhání spočívá v postupném nebo současném oddělování materiálu v celém průřezu za působení protilehlých nožů. V místě jejich zatlačení vzniká tzv. střižná rovina, po níž se nože pohybují a po překročení meze kluzu a pevnosti zde dochází k oddělení materiálu. Průběh střihu lze rozdělit do tří fází (obr.14):

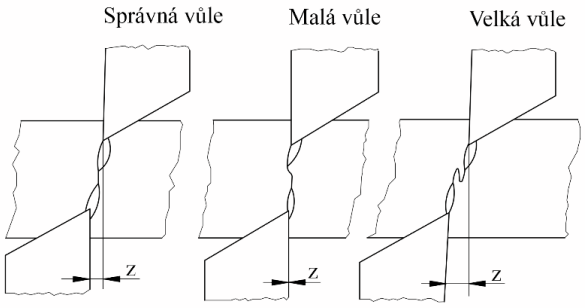
- První – napětí ve stříhaném materiálu nepřesáhne mez kluzu. Dochází k pružnému vniknutí do jeho povrchu, není trvale deformován, ale dochází k zaoblení hrany budoucího střihu. Hloubka vniknutí závisí na mechanických vlastnostech materiálu a bývá5 až 8 % jeho hloubky.
- Druhá – největší napětí je v místech kontaktu se střižníkem a střižnicí, kde při překročení meze kluzu je materiál trvale deformován a hloubka jeho plastického vniknutí se pohybuje od 10 do 25 %.
- Třetí – napětí dosáhne meze pevnosti ve smyku a dochází k porušení materiálu. U hrany střižníku a střižnice dojde k jeho nastřižení. Vznikají trhliny, které se rychle rozšiřují v průřezu a zasahující zhruba do 80 % průřezu, kde tvoří hrubou plochu určující hrubost střihu. Výstřižek je oddělen dříve, než stihne střižník projít celou tloušťkou a v dalším pohybu střižníku je vytlačen ze střižnice.



Obr. 14 Fáze střižného procesu [31]

2.1.1 Střižná vůle [1], [21], [28], [31],

Jedním z nejdůležitějších faktorů ovlivňující kvalitu povrchu je střižná vůle. Jde o mezeru, kterou tvoří rozdíl pracovních částí střižníku a střižnice. Na její správné velikosti závisí jak kvalita střihu, tak životnost nástroje a spotřeba energie. Při ideální vůli se nástřihy z obou stran setkají v ploše, u které se vytvoří trhlina setkávající se od obou střižných prvků a vzniká tak plocha bez otřepů. Při malé, nebo velké vůli se trhliny míjejí (obr. 15) a v jejich rovině střihu se vytvoří nerovný povrch zhoršující kvalitu výsledné plochy.



Obr. 15 Střižná vůle [28]

Velikost střižné vůle závisí hlavně nadruhu a tloušťce stříhaného materiálu. Pro tloušťku menší než 3 mm je možné použít vzorec:

$$v = 2 \cdot z = 2 \cdot c \cdot s \cdot 0{,}32 \cdot \sqrt{\tau_s} \ \ [mm] \tag{2.1}$$

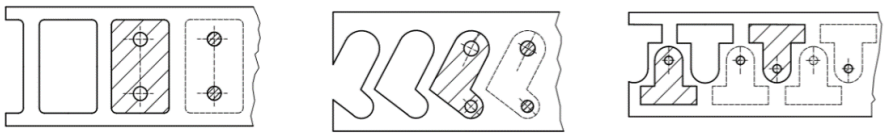
kde: v – střižná vůle [mm],
z – střižná mezera [mm],
c – součinitel střižné vůle (c = 0,005 až 0,035) [-]
s – tloušťka materiálu [mm],
τ_s – pevnost materiálu ve střihu [MPa],

$$\tau_s = 0{,}8 \cdot \mathrm{Rm}$$

kde: Rm – mez pevnosti v tahu [MPa].

2.1.2 Rozmístění výstřižků [25],[28],[34],[37]

Materiál tvoří zhruba 60 až 70 % nákladů na výrobu, proto pro efektivní proces je třeba co nejlépe rozmístit výstřižky na pás plechu tak, aby bylo dosaženo co nejmenšího odpadu. Výstřižky mohou být rozmístěny jako přímé, nakloněné nebo střídavé, viz obrázek 16. Jejich uspořádání může být jednořadé a víceřadé. Mezi jednotlivými dílci na páse je přídavek, který se nazývá můstek. Na boční straně se potom nazývá postranní odpad. Jejich velikosti záleží na tloušťce materiálu. Velmi často se u součástí jednoduchého tvaru používá uspořádání bez můstků a bočního odpadu, neboť jsou u takto vyráběných součástí jsou nižší požadavky na kvalitu střihu.



Obr. 16 Způsoby rozmístění výstřižků [28],[34]

Během navrhování se volí varianta s největším využitím materiálu, kterou je možné vypočítat podle vzorce:

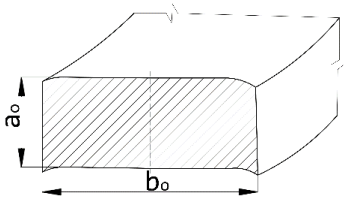
$$\eta = \frac{S_0}{S_p} \cdot 100 \ [\%] \tag{2.2}$$

kde: η – využití materiálu [%],
S_0 – celková plocha výstřižků [mm^2],
S_p- plocha pásu plechu [mm^2].

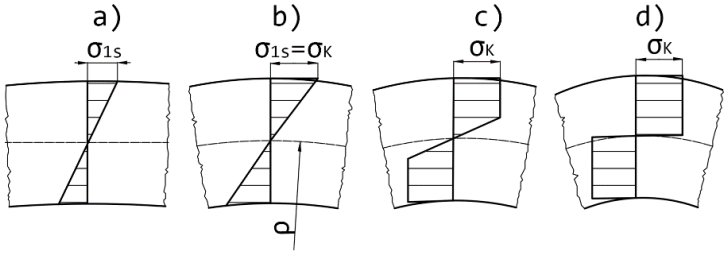
2.2 Ohýbání [1],[2],[13],[27],[30],[31],[35],[36],[38],[39]

Jde o technologii, při které vzniká trvalá deformace za působení ohybových momentů vyvozených od působících sil. Za stálého zachování průřezu trvale mění křivost součásti a probíhá postupné stlačování materiálu, který je tvarován do požadovaných úhlů.

Jedná se pružně plastickou deformaci, při které napětí přetvoření v krajních vláknech silně mění velikost i směr. Na vnější straně vzniká tažné a na vnitřní straně tlakové napětí. U širokých výlisků nedochází k deformaci příčných rozměrů ale pouze k zúžení průřezu (obr.17). Na počátku ohybu materiálu vzniká pružná deformace (obr. 18 a). Po překročení meze kluzu nastává na povrchu deformace plastická (obr. 18 b). S následujícím ohýbáním se zvětšuje její hloubka. Vnitřní části zůstávají v pružném stavu. (obr. 18 c). Proces je zakončen, když se velikost pásma plastické deformace blíží nule nebo je nulové. Vzniká tak plastický ohyb (obr. 18 d).

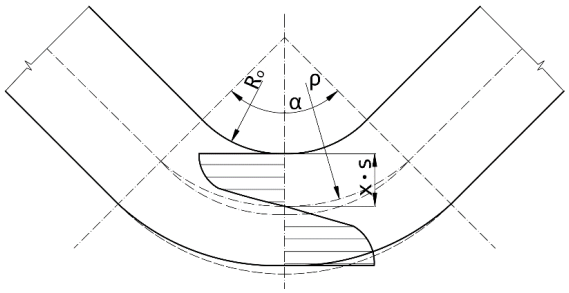


Obr. 17 Průřez ohybu [27]



Obr. 18 Napětí v průběhu ohybu [31]

Ve střední části průřezu jsou tahová a tlaková napětí malá a nedosahují meze kluzu. V přechodu těchto pásem jsou vlákna bez napětí a deformace. Vzniká zde tzv neutrální osa, která se neprodlužuje a ani nezkracuje. Během ohybu velkých poloměrů zaoblení vznikají pouze malé pružně plastické deformace a neutrální osa prochází středem tloušťky výchozího materiálu. V případě malých poloměrů zaoblení se posouvá ke středu ohybu (obr. 19). Pro výpočet poloměru neutrální osy se při ohýbání pásů používá vzorec:



Obr. 19 Posunutí neutrální osy [1]

$$\rho = R_o + x \cdot s \; [mm] \qquad (2.3)$$

kde: ρ – poloměr neutrální osy [mm],

R_o – poloměr ohybu [mm],

x – součinitel posunutí neutrální osy (Tab. 2) [-]

Tab. 2 Závislost součinitele x na R_o a s [1]

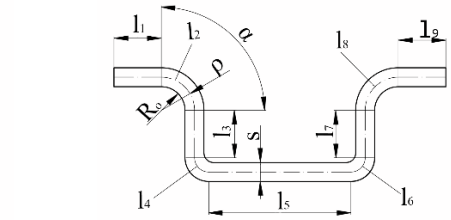
R_o/s	0,1	0,5	1	2	3	6	10
x	0,32	0,38	0,42	0,445	0,47	0,48	0,483

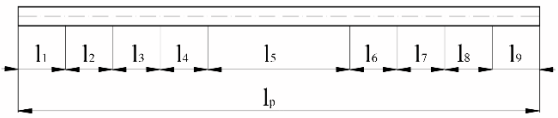
Pokud je však poměr mezi poloměrem ohybu a tloušťkou materiálu větší než dvanáct, platí pro poloměr neutrální osy vztah:

$$\rho = R_o \cdot \frac{s}{2} \; [mm] \qquad (2.4)$$

2.2.1 Rozvinutý tvar [1],[2],[31],[35],[38]

Velikost výchozího polotovaru pro ohýbání se určuje podle délky neutrální osy, která se během ohybu nemění. Při výpočtu je součást rozdělena na rovné a ohnuté úseky (obr. 20). Jejich délka je závislá na poloměrech a úhlech ohybu, tloušťce materiálu a posunutí neutrální osy.





Obr. 20 Stanovení délky polotovaru [2]

Délky ohnutých částí na neutrální ose se vypočtou podle:

$$l_o = \frac{\pi \cdot \gamma}{180} \cdot \rho \; [mm] \qquad (2.5)$$

kde: l_o – délka zahnuté části [mm],
γ – úhel ohnutého úseku ($\gamma = 180 - \alpha$) [°].

Dále pro zjištění rozvinu je potřeba provést součet jednotlivých délek úseků dle vztahu:

$$l_p = \sum_{i=1}^{u} l_{oi} + \sum_{j=1}^{m} l_{rj} \; [mm] \qquad (2.6)$$

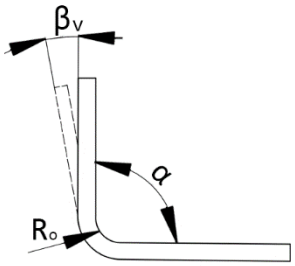
kde: l_p – celková délka rozvinu [mm],
l_{oi} – délka i-té zahnuté části [mm],
l_{rj} – délka j-té rovné části [mm],
u – počet zahnutých částí [-],
m – počet rovných částí [-].

2.2.2 Odpružení a poloměry ohybu [1], [13],[26],[27],[35],[38],[40]

Vlivem pružné deformace v místech kolem neutrální osy dochází po ukončení působení ohybové síly k odpružení. Materiál má snahu se vrátit do původního tvaru o úhel ´β_V´, který bývá 3 až 15° (obr. 21). Velikost úhlu je závislá na mechanických vlastnostech materiálu, způsobu jeho ohýbání, tloušťce plechu, poloměru a úhlu ohybu.

Úhel odpružení při ohýbání do tvaru V se vypočte podle vzorce:

$$tg\beta_v = 0{,}375 \cdot \frac{l_h \cdot R_e}{k \cdot s \cdot E} \qquad (2.7)$$



Obr.21 Odpružení [13]

kde: β_V – úhel odpružení ohybu ve tvaru V [°],
l_h - vzdálenost ohýbacích hran [mm],
R_e – mez kluzu [MPa],
E – modul pružnosti [MPa],
k – součinitel odpružení (tab. 3) [-].

Tab. 3 Závislost součinitele ´k´ na ´R_o´ a ´s´ [13]

R_o/s	0,5	1	2	3	4	5	10	15	20
k	0,62	0,58	0,54	0,53	0,52	0,52	0,51	0,5	0,5

Úhel odpružení lze eliminovat těmito způsoby:

- Materiál je ohnut více než o hodnotu úhlu odpružení, který je určen výpočty.
- Pomocí kalibrace, kdy je zvětšena lisovací síla na konci ohybu, dochází místě k plastické deformaci a odpružení se tak zmenší nebo úplně vymizí.
- Použitím prolisů v místě ohybu, tvořících zpevňující žebro.

Dále je důležité dodržet minimální a maximální velikost poloměru ohybu.

Minimální je nejmenší vnitřní poloměr, při kterém se ještě neporuší materiál a nedojde k trhlinám na vnější straně ohybu. Jeho velikost je možné vypočítat podle vzorce:

$$R_{min} = \frac{s}{2} \cdot \left(\frac{1}{\varepsilon_c} - 1\right) = o \cdot s[\text{mm}] \tag{2.8}$$

kde: ε_c - maximální prodloužení na mezi pevnosti [-],
o – součinitel u měkké oceli (0,4 až 0,8) [-]

Maximální je takový poloměr, u kterého v okrajových vláknech dochází k první plastické deformaci. Pokud k ní nedojde, materiál odpruží zpět do původního stavu a jeho velikost se dá zjistit podle:

$$R_{max} = \frac{s}{2} \cdot \left(\frac{E}{R_e} - 1\right) \approx \frac{s \cdot E}{2 \cdot R_e}\ [mm] \tag{2.9}$$

2.3 Síla a práce [1], [13],[21],[25],[26],[27],[28],[30],[31],[36],[40],[41]

Určení střižných a ohybových sil je rozhodující faktor pro volbu stroje a konstrukci nástrojů. Přestože každá výrobní technologie má jiný průběh síly, je zapotřebí provést jejich součet a zjistit tak celkovou tvářecí sílu:

$$F_c = F_s + F_o\ [\text{mm}] \tag{2.10}$$

kde: F_s – střižná síla [N],
F_o – ohybová síla [N].

Během vnikání nástroje do materiálu dochází k jeho zpevnění. Postupně se tak zvyšuje jeho odpor a tím i potřebná síla. Ta roste až do svého maxima (obr. 22), kdy dojde k překročení meze pevnosti. Poté začíná klesat v důsledku šíření trhliny, dokud nedojde k oddělní materiálu. V tento okamžik je síla nulová. Střižná síla se dá spočítat podle:

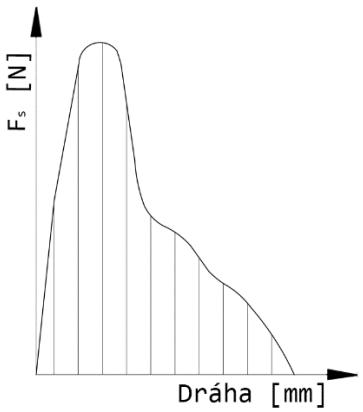
$$F_s = S \cdot \tau_s \cdot n\ [N] \tag{2.11}$$

kde: S – střižná plocha [mm^2]
n – součinitel otupení (n = 1,3 až 1,5) [-]

Práce potřebná ke stříhání je dána z plochy pod křivkou střižné síly:

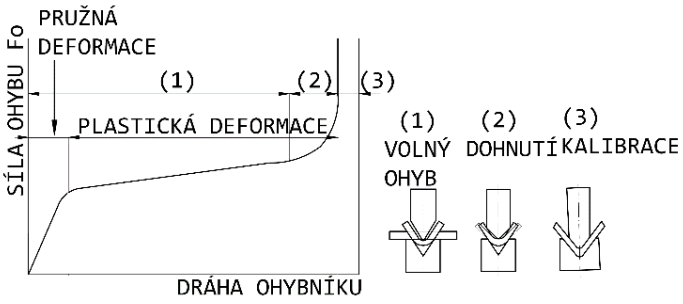
$$A_s = \lambda \cdot F_s \cdot s\ [\text{J}] \tag{2.12}$$

kde: λ – součinitel zaplnění pod křivkou [-].



Obr. 22 Průběh střižné síly [31]

Síla ohybu je ovlivněna několika činiteli, a to jeho úhlem, mezí kluzu, šířkou a tloušťkou materiálu a poloměrem neutrální osy. Její průběh je zobrazen na obrázku 23. Během operace se materiál deformuje nejen v místě ohybu ale i v celé části mezi podpěrami. Proto se v dokončovací fázi vyrovnávají ramena zvýšením síly a zároveň se kalibruje poloměr a úhel ohybu.



Obr. 23 Průběh ohybové síly [27],[30]

Síla ohybu tvaru „V“ se vypočítá podle vztahu:

$$F_{oV} = \frac{b \cdot s^2 \cdot R_e}{2 \cdot R_o} \cdot tg\left(\frac{\alpha}{2}\right) \text{[N]} \qquad (2.13)$$

kde: F_{oV} – ohybová síla do tvaru V [N],
α – úhel ohybu [°].

Práce potřebná k ohybu je potom určena vzorcem:

$$A_o = \psi \cdot F_o \cdot h \text{ [J]} \qquad (2.14)$$

kde: ψ – součinitel zaplnění pracovního diagramu [-],
h – délka pracovního zdvihu [mm].

2.3.1 Těžiště síly [28],[40]

Nástroj je konstruován tak, aby osa upínací stopky byla v působišti sil působících na nástroj, a tak, aby se síly rovnoměrně rozložily na všechny jeho činné části. Poloha působiště se řeší dvěma způsoby:

- Početně – vychází z podmínky rovnovážného stavu, kdy se součet momentů sil ke zvolené přímce rovná nule. Matematicky vyjádřeno:

$$F_x X = F_1 \cdot x_1 + F_2 \cdot x_2 + F_3 \cdot x_3 \qquad (2.15)$$

kde: F_x – výsledná síla v ose x ($F_x = F_1 + F_2 + F_3$) [N],
X – vzdálenost výslednice sil v ose x [mm],
x_1, x_2, x_3 – vzdálenosti sil v ose x [mm],
F_1, F_2, F_3 – jednotlivé síly v ose x [N].

Těžiště v ose X se dá vypočítat podle vzorce:

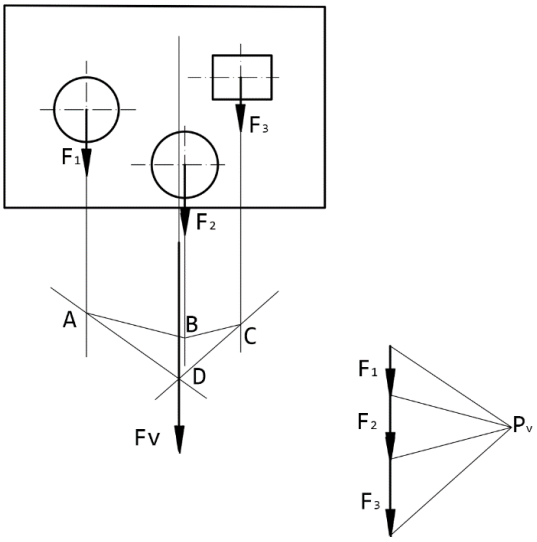
$$X = \frac{F_1 \cdot x_1 + F_2 \cdot x_2 + F_3 \cdot x_3}{F_1 + F_2 + F_3} \text{[mm]} \qquad (2.16)$$

V ose Y potom:

$$Y = \frac{F'_1 \cdot y_1 + F'_2 \cdot y_2 + F'_3 \cdot y_3}{F'_1 + F'_2 + F'_3} \text{[mm]} \qquad (2.17)$$

kde: y_1, y_2, y_3 – vzdálenosti sil v ose y [mm]

- Graficky – je ve srovnání s početním zdlouhavé a náročné, ale může sloužit k ověření hodnot. V půdorysu nástroje jsou vyobrazeny síly ve zvoleném měřítku rozložené do kolmých směrů. Na obrázku 24 je použito grafické řešení pro svislé síly F_1, F_2, F_3. Jako první je zvolen libovolný bod P_v. Potom se na libovolnou svislou přímku u tohoto bodu vynesou síly. Jejich počáteční a koncové body se spojí s bodem P_v. Vzniká tak tzv. pólový obrazec.
  Pod obrázek půdorysu se prodlouží nositelky sil a na první z nich se zvolí libovolný bod A. Tímto bodem je vedena rovnoběžka z pólového obrazce, vedoucí z koncového bodu síly F_1 a procházející bodem P_v. Ta protne prodlouženou čáru od F_2 v bodě B. Bod C je vytvořen obdobným způsobem. Z bodu C se následně vynese rovnoběžka protínající konce poslední síly a bod P_v v pólovém obrazci. Voleným bodem A prochází rovnoběžka vycházející z počátku první síly a bodem P_v. Průsečíkem D pak prochází nositelka výsledné síly pro vertikální směr.
  V horizontálním směru je zjištění nositelky výsledné síly provedeno stejným způsobem. Jejich průsečík v obou směrech je pak hledané těžiště.

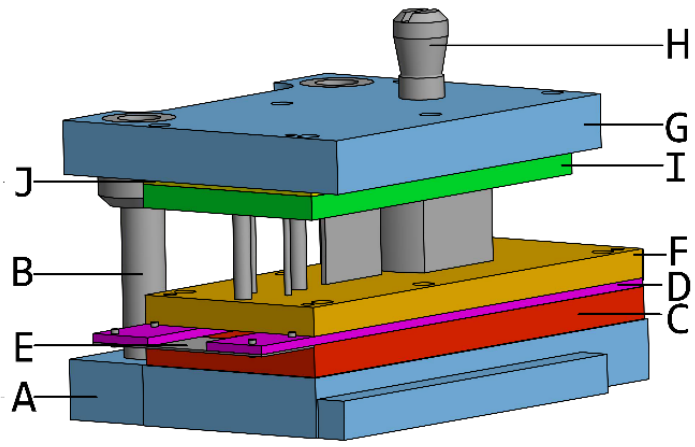


Obr. 24 Grafické řešení těžiště [28]

2.4 Nástroje [27],[28],[31],[33],[34],[37],[41],[42]

Postupové sdružené nástroje spojují několik pracovních úkonů různého druhu, v tomto případě stříhání a ohýbání. Vyžadují dokonalou přesnost výroby a pečlivou údržbu.

Postupový sdružený nástroj je zobrazen na obrázku 25 a v jeho spodní části se nachází základová deska (A) sloužící k jeho upevnění k pracovnímu stolu lisu. Skrz ni vedou otvory na propadávání odpadu ze střižnice nebo případných výlisků a je v ní zakotveno také sloupkové vedení (B). Dále jsou na ni umístěny střižnice a ohybnice (C), na které jsou přišroubovány a přikolíkovány vodící lišty (D), sloužící k vedení pásu nebo svitku v pracovním prostoru. Vzdálenost lišt je určena maximální šířkou polotovaru. Pro snadnější a přesnější zavedení materiálu se lišty na vstupní straně prodlužují a podkládají podpěrným plechem (E). Dále je na nich připevněna, nebo ke kotevní desce pružně připojena, vodící deska (F), která slouží k vedení střižníků a stírání materiálu z nich při zpětném



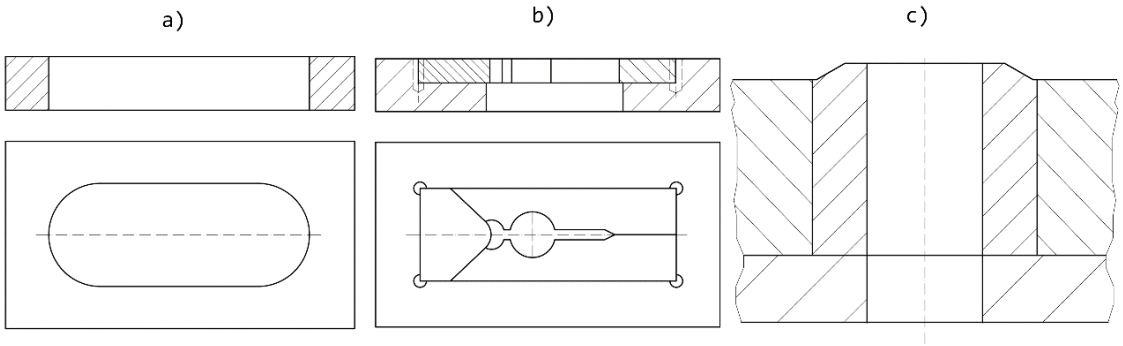
Obr. 25 Schéma střihadla

zdvihu. V ní potom mohou být kvůli zamezení zadření umístěny mazací drážky.

Horní část nástroje je složena z upínací desky (G), která je pomocí stopky (H) připevněna k beranu lisu. Slouží také k upevnění kotevní desky (I) a zapření nástrojů, případně k vedení vodících sloupků. Mezi upínací a kotevní bývá vložena ještě opěrná (J), zabraňující jejímu otlačení.

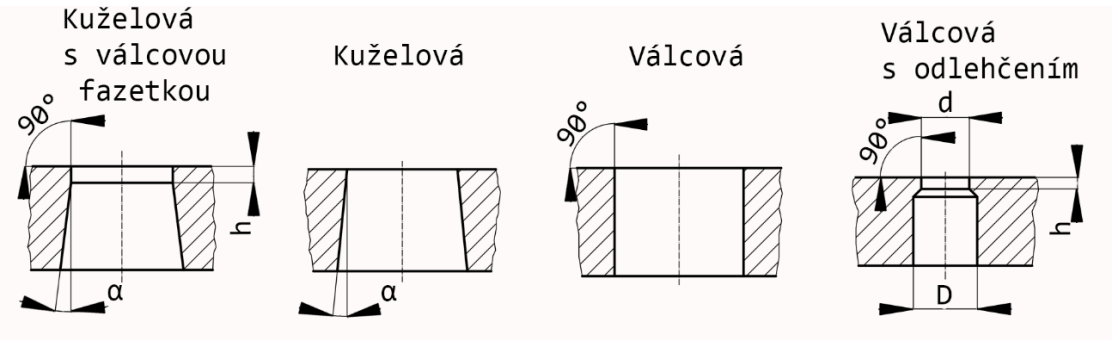
Ve sdruženém nástroji jsou dvě nejzákladnější funkční části:

- Střižné nástroje – činnou částí nástroje je pevná střižnice a pohyblivý střižník. Střižnice jsou provedeny jako celistvé (obr. 26 a), vyrobené z jednoho kusu nástrojové oceli, skládané (obr. 26 b), složené z částí vyrobených z nástrojové oceli vložené do pouzdra z konstrukční oceli, nebo vložkované (obr. 26 c), zhotovené z konstrukční oceli, do které je umístěna vložka z nástrojové oceli.



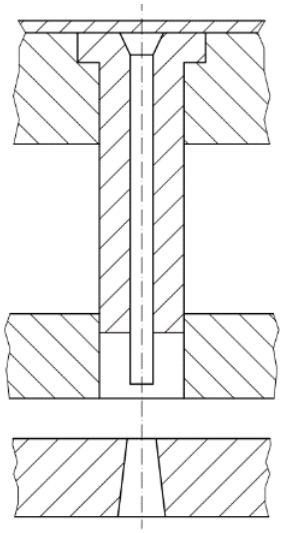
Obr. 26 Provedení střižnic [28], [41]

Geometrie střižnic je rozdělena na základě typu stříhání a požadované přesnosti. Kuželová s válcovou fazetkou je používána k vystřihovaní součástí se složitým obvodovým tvarem nebo s velkým požadavkem na přesnost. Kuželové slouží k vystřihování malých součástí střední přesnosti. Válcové jsou používány k vystřihování součástí, které budou vyhazovány zpět nebo pro rozměrné součásti. Válcové s odlehčením jsou určeny pro vystřihování malých dílů (obr. 27).

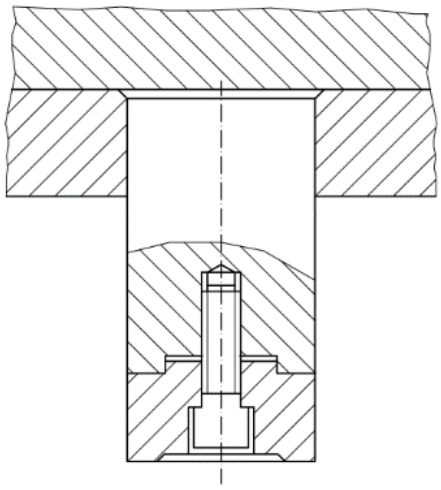


Obr. 27 Geometrie střižnic [34],[41]

Střižníky jsou provedeny jako celistvé pro stříhání kruhových, pravoúhlých a složitých tvarů. Pro stříhání malých otvorů jsou použity osazené, které jsou zesílené vedením po celé délce (obr. 28). Pro stříhání větších průměrů a nekruhových tvarů se používají skládané, kde je kotevní část zhotovena z konstrukční a funkční z nástrojové oceli zajištěné šrouby (obr. 29). Střižníky jsou v kotevní desce upevněny roznýtováním, šroubem, pomocí osazení, kolíkem nebo dalšími metodami.



Obr. 28 Střižník s vedením [41]

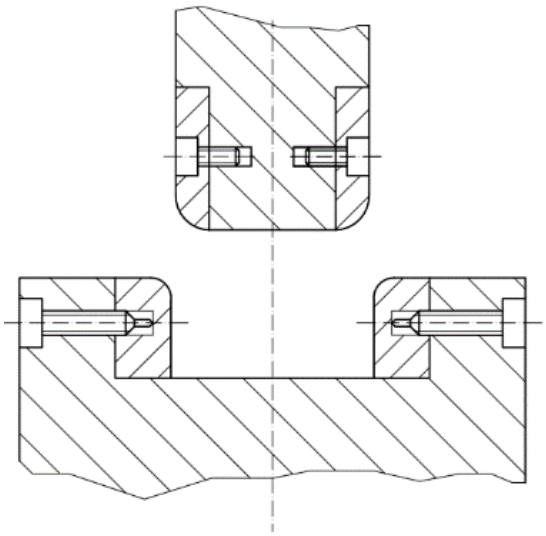


Obr. 29 Skládaný střižník [41]

- Ohýbací nástroje – činnou částí nástroje je pevná ohybnice a pohyblivý ohybník. Ohybnice jsou tvořeny buď celistvé, nebo častěji vložkované, kde je nosná část z konstrukční a funkční část z nástrojové oceli (obr. 30). Poloměr zaoblení jejich náběhových hran r_m ovlivňuje velikost ohýbací síly i jakost ohybu a je volen v rozmezí:

$$r_m = (2\ až\ 6) \cdot s \text{ [mm]} \quad (2.17)$$

U plechů větších tlouštěk se spíše používají náběhové hrany zkosené o 45° a přibližné výšce odpovídající poloměru zaoblení.
Ohybníky jsou v provedení jako celistvé nebo vložkované (obr. 30). Jejich šířka musí být stejná jako šířka tvářené součásti a stejně tak i poloměry zaoblení jsou totožné s poloměry ohybu součásti, případně jsou upraveny úhel odpružení.



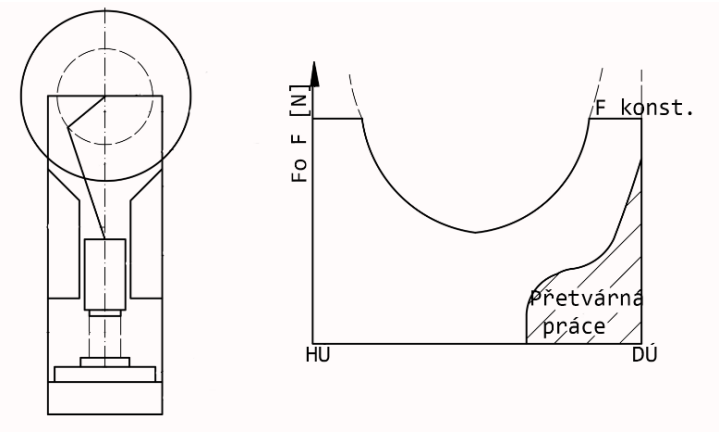
Obr. 30 Vložkovaný nástroj [42]

2.5 Stroje [43],[44],[45]

Tvářecí stroj generuje potřebnou sílu, která je přenášena beranem do nástroje vykonávajícím tvářecí operace. Hlavním kritériem během volby je jeho jmenovitá síla, která musí být větší než celková síla potřebná k tváření součásti. Nejčastěji jsou používané stroje s přímočarým vratným pohybem, kde se nástroje posouvají mezi horní a dolní úvratí.

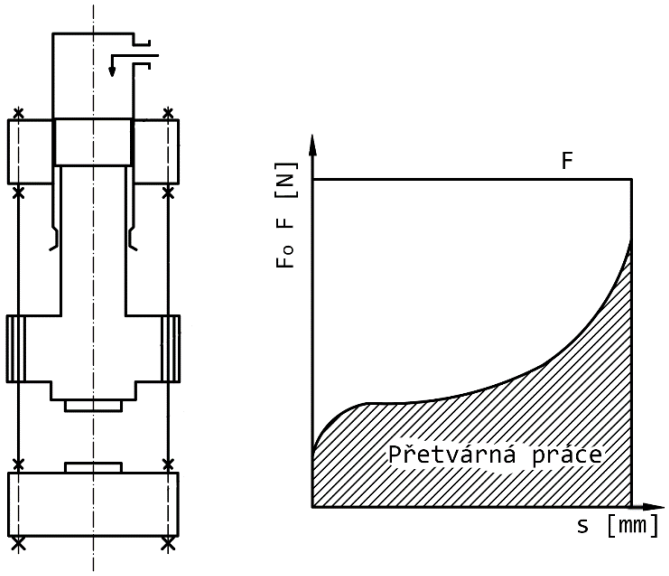
Tyto se dělí do dvou základních skupin:

- Mechanické – využívají k přenosu energie mechanických převodových systémů. Mohou být např. výstředníkové, klikové, kolenové apod. Mezi výhody patří jednodušší konstrukce a velká výrobnost. Nevýhodou je působení maximální síly až v místech dolní úvrati a nemožnost působit velkou silou na delší dráze. Stroj je pojištěn proti přetížení střižným kolíkem, nebo třecí spojkou. Výstředníkové lisy používají k přenosu sil hřídel, ojnice a beranu. Natočením výstředníkového pouzdra se dá upravit zdvih beranu. Lze je využít pro stříhání i ohýbání. Klikový lis k přenosu síly využívá klikového hřídele nebo kola, ojnice a beranu (obr. 31). Zdvih beranu je oproti výstředníkový lisům konstantní. Pohon je zajištěn elektromotorem roztáčející setrvačník, ve kterém je akumulována energie převáděná na samotný tvářecí proces a zajišťující plynulost chodu.



Obr. 31 Mechanický lis [45]

- Hydraulické – tvářecí síla na beranu je konstantní a nezávislá na zdvihu. Je vyvozená hydromotorem s energií akumulovanou v kapalině, kterou může být voda, emulze nebo olej (obr. 32). Předností hydraulického lisu je možnost dosahovat vysokých tvářecích sil s nastavením zdvihu v jeho libovolném místě. Dále má značný rozsah rychlostí s plynulou regulací. Je zde možné automatizovat provoz i pomocné operace. Mezi nedostatky patří složitější konstrukce oproti mechanickým lisům a vyšší pořizovací náklady při stejných lisovací silách. Dále mají horší účinnost a pomalejší chod beranu.



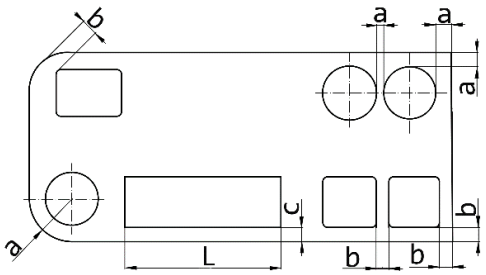
Obr. 32 Hydraulický lis [45]

2.6 Technologičnost [2],[21],[25],[26],[35],[46],[47]

Aby bylo dosaženo maximální hospodárnosti výroby, musí se brát ohled na technologičnost stříhání a ohýbání. Zejména na jejich procesní nedostatky.

Při stříhání je nutno zohlednit následující kritéria:

- vhodně volit rozměrovou toleranci. Výstřižky rozměrů menších než 150 mm jsou vyrobeny v toleranci IT 12 až IT 14, u stříhání s vodícími sloupky potom v toleranci IT 9 až IT 11.
- nepředepisovat drsnost střižné plochy, bývá Ra = 3,2 až 6,3.
- velikost stříhaných otvorů záleží na tloušťce a druhu materiálu. Dává se přednost kruhovým otvorům, kde nejmenší průměr otvoru může být až 1 mm. Vzdálenosti otvorů od okraje a mezi otvory pro polotvrdý plech jsou stanoveny podle obrázku 33 a jejich hodnoty jsou uvedeny v příloze 1.
- Šířka vyčnívajících částí, nebo štíhlých výstřižků nemá být menší než 1,5násobek tloušťky plechu.
- Výstřižky nemají mít ostré hrany v rozích, je potřeba je zaoblit nebo zkosit.



Obr. 33 Vzdálenosti [47]

- Nevhodné jsou plynulé přechody oblouků do přímkové části.
- Nevhodný je kruhový tvar výstřižku vzhledem k spotřebě materiálu. Ztráty až 30 %.
- Uspořádání výstřižků na plechu má být s co největším využitím materiálu.

Technologie ohýbání vyplývá z podmínek ohýbání a z vlastností materiálu:

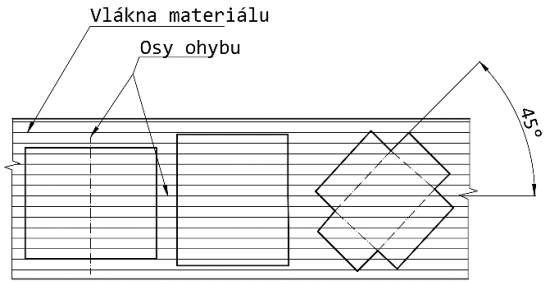
- Osa ohybu by měla být kolmá na směr vláken materiálu vzniklých při válcování (obr 34).
- Poloměr ohybu volit co nejmenší pro omezení odpružení a zároveň co největší, aby nedošlo k trhlinám a ztenčení materiálu.
- Používat vhodné úpravy funkčních částí ohýbacího nástroje tak, aby se zamezilo posunutí místa ohybu.
- Dodržovat minimální délky ohýbaného ramene určené vztahem:

$$(l = R_o + 3 \cdot s) \tag{2.18}$$

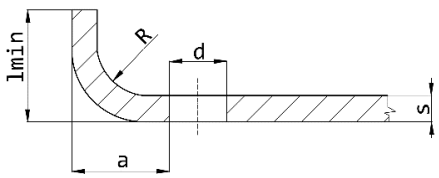
- Přesné otvory vystřihovat dodatečně po ohýbání, nebo umístit do dostatečné vzdálenosti od ohybu (obr.35) podle:

$$(a \geq R_o + 2 \cdot s) \tag{2.19}$$

- Osu ohybu směřovat kolmo k obrysu výlisku, aby se zamezilo posunutí dílu.
- Složitější výlisky tvarovat v jednom směru tak, aby byl co nejmenší počet ohybů.
- Ponechat netolerované rozměry všude, kde to funkce nevyžaduje.
- Ostré ohyby s minimálním poloměrem ohybu je možné dosáhnout dodatečným ražením.



Obr. 34 Vliv směru vláken na ohýbání [2]

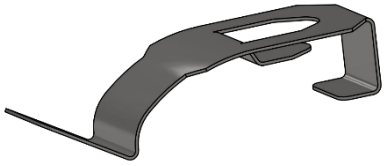


Obr. 35 Vzdálenost otvorů od ohybu [2]

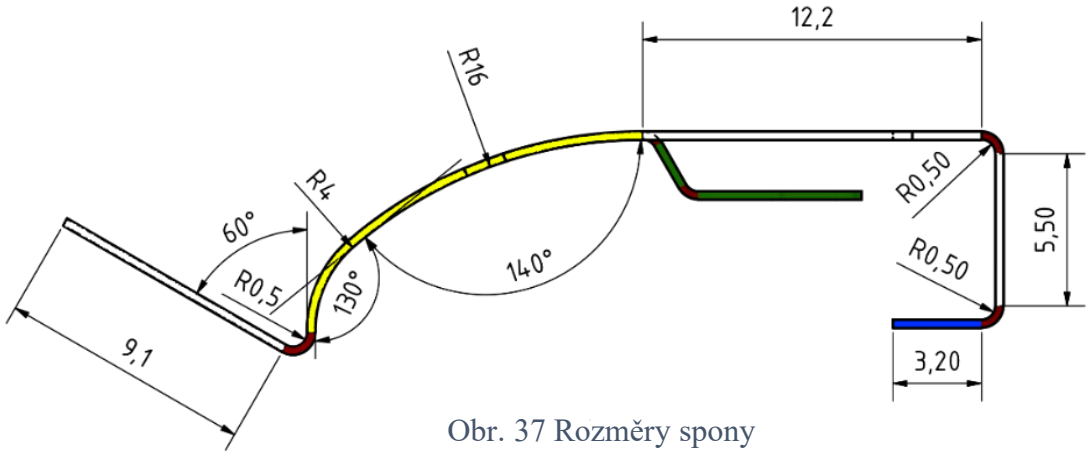
3 NÁVRH VÝROBY

Řešenou součástí je spona „clip“ rámečků (obr.36). Vyráběna bude z materiálu 51CrV4 o tloušťce 0,3 mm. Roční výrobní dávka byla stanovena na 300 000 ks. Nepředepsané mezní úchylky rozměrů spony jsou dány normou ČSN ISO 2768-1 se střední třídou přesnosti.

Důležité je zhodnocení technologičnosti při stříhání a ohýbání. Prolis je vlastně stříhaný otvor, který splňuje požadavek na minimální vzdálenost od okraje podle tabulky v příloze 1 a je zobrazen zeleně na obrázku 37.



Obr. 36 Model spony



Obr. 37 Rozměry spony

Je za potřebí zkontrolovat:

- Minimální šířka výstřižku je:

$$x > 1{,}5 \cdot s \tag{3.1}$$
$$7 > 1{,}5 \cdot 0{,}3$$
$$7 > 4{,}5$$

  Nejmenší šířka na součástce je 6 mm, v místě prolisu, a je tak větší než minimální dovolená.

- Minimální délka ramene podle vztahu (2.18) je:

$$l = R_o + 3 \cdot s = 0{,}5 + 3 \cdot 0{,}3 = 1{,}4 \text{ mm}$$

  Nejkratší je 3,2 mm (obr. 37 modře), délka vyhovuje.

- Minimální poloměr ohybu podle (2.8) je:

$$R_{min} = \frac{s}{2} \cdot \left(\frac{1}{\varepsilon_c} - 1\right) = o \cdot s = 0{,}6 \cdot 0{,}3 = 0{,}18\ mm$$

  kde koeficient c byl zvolen 0,6

  Nejmenší je 0,5 mm (obr. 37 červeně), poloměr vyhovuje.

  Dále je potřeba provést kontrolu minimálního poloměru v šikmém a podélném směru roviny ohybu vůči vláknům materiálu a to podle:

$$R_{minš} = 1{,}5 \cdot R_{min} = 1{,}5 \cdot 0{,}18 = 0{,}27\ mm \tag{3.2}$$

  kde: $R_{minš}$ – minimální poloměr v šikmém směru [mm].

$$R_{minp} = 2 \cdot R_{min} = 2 \cdot 0{,}18 = 0{,}36\ mm \tag{3.3}$$

  kde: R_{minp} – minimální poloměr v podélném směru [mm].

  Veškeré poloměry jsou větší, takže nedojde k porušení materiálu během šikmého a příčného ohybu

- Maximální poloměr ohybu je dle (2.9):

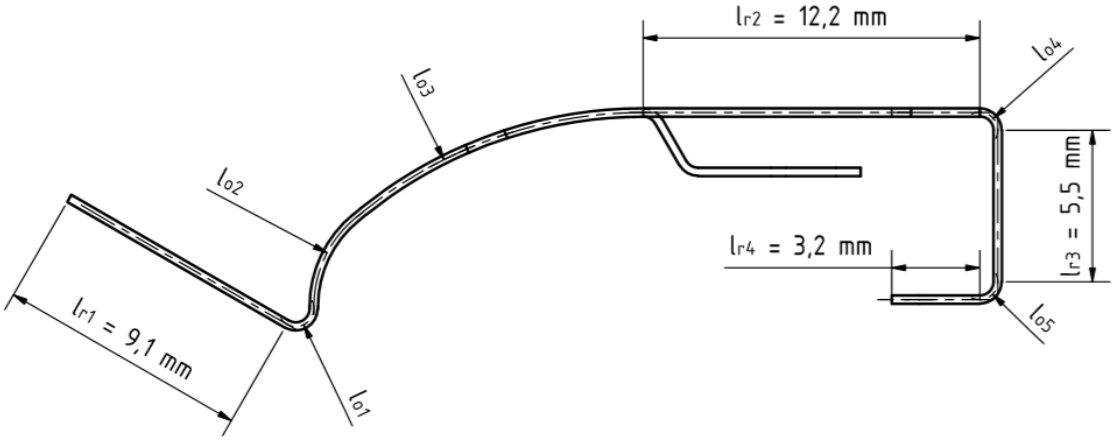
$$R_{max} = \frac{s}{2} \cdot \left(\frac{E}{R_e} - 1\right) \approx \frac{s \cdot E}{2 \cdot R_e} = \frac{0{,}3 \cdot 210 \cdot 10^3}{2 \cdot 550} = 57\ mm$$

Největší je 16 mm (obr. 37 žlutě), poloměr vyhovuje.

Všechny požadavky technologičnosti při stříhání a ohýbání byli na součásti splněny. Součást vyhovuje bez potřebných úprav.

3.1 Rozvinutý tvar

Při sestavování rozvinutého tvaru součásti se vychází z délky nulové osy. Během výpočtu se součást musí rozdělit na rovné a ohnuté části naznačeno na obrázku 38.



Obr. 38 Rozdělené na úseky

Nejprve se vypočtou délky neutrální osy zahnutých částí. Vzhledem k tomu, že je každý poloměr ohybu jiný, je potřeba pro každý z nich určit poloměr neutrální osy zvlášť. Pokud je poměr mezi poloměrem ohybu a tloušťkou materiálu větší než dvanáct, je použit zjednodušený vztah. Délka neutrální osy je potom podle vztahu (2.5):

$$l_{o1} = \frac{\pi \cdot \gamma_1}{180} \cdot \rho_{0,5} = \frac{\pi \cdot (180 - 60)}{180} \cdot 0{,}63 = 1{,}32\ mm$$

$$kde: \rho_{0,5} = R_{o0,5} + x_{0,5} \cdot s = 0{,}5 + 0{,}438 \cdot 0{,}3 = 0{,}63\ mm$$

kde: $R_{o0,5}$ = 0,5 mm

$x_{0,5} = 0{,}438$ (poměr $\frac{R_{o0,5}}{s} = \frac{0{,}5}{0{,}3} = 1{,}66\ z\ tab.1$)

$$l_{o2} = \frac{\pi \cdot \gamma_2}{180} \cdot \rho_4 = \frac{\pi \cdot (180 - 130)}{180} \cdot 4{,}15 = 3{,}62\ mm$$

$$kde: \rho_4 = R_{o4} + \frac{s}{2} = 4 + \frac{0{,}3}{2} = 4{,}15\ mm$$

kde: R_{o4} = 4 mm

$$l_{o3} = \frac{\pi \cdot \gamma_3}{180} \cdot \rho_{16} = \frac{\pi \cdot (180 - 140)}{180} \cdot 16{,}15 = 11{,}27\ mm$$

$$kde: \rho_{16} = R_{o16} + \frac{s}{2} = 16 + \frac{0{,}3}{2} = 16{,}15\ mm$$

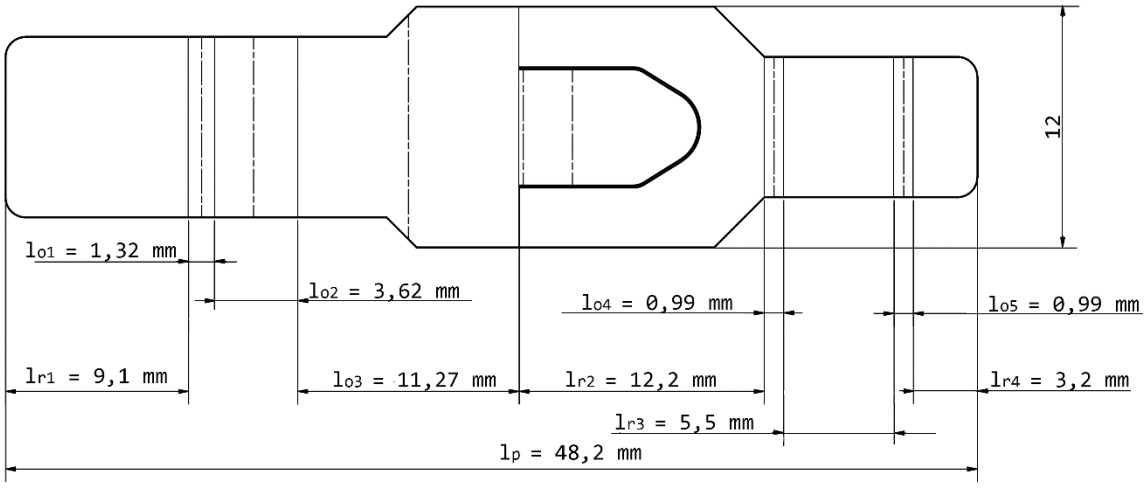
kde: R_{o16} = 16 mm

$$l_{o4} = \frac{\pi \cdot \gamma_4}{180} \cdot \rho_{0,5} = \frac{\pi \cdot (180 - 90)}{180} \cdot 0{,}63 = 0{,}99\ mm$$
$$l_{o5} = \frac{\pi \cdot \gamma_5}{180} \cdot \rho_{0,5} = \frac{\pi \cdot (180 - 90)}{180} \cdot 0{,}63 = 0{,}99\ mm$$

Následně je potřebné provést součet rovných a ohnutých části podle vzorce (2.6):

$$l_p = \sum_{i=1}^{n} l_{oi} + \sum_{j=1}^{m} l_{rj} = l_{o1} + l_{o2} + l_{o3} + l_{o4} + l_{o5} + l_{r1} + l_{r2} + l_{r3} + l_{r4}$$
$$= 1{,}32 + 3{,}62 + 11{,}27 + 0{,}99 + 0{,}99 + 9{,}1 + 12{,}2 + 5{,}5 + 3{,}2 = 48{,}19\ mm$$

Celková rozvinutá délka spony byla zaokrouhlena na 48,2 mm. Na obrázku 39 jsou zakótované jednotlivé úseky včetně celkové rozvinuté délky a šířky.

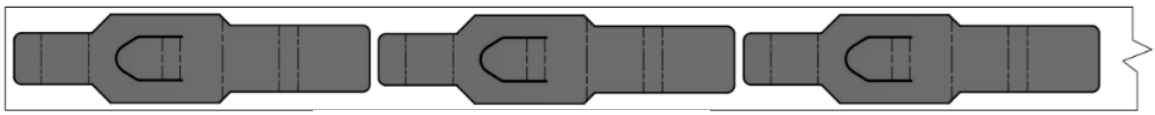


Obr. 39 Rozvinutý tvar spony

3.2 Rozmístění součásti

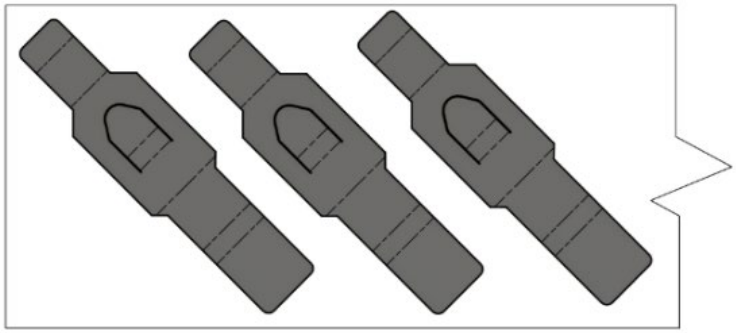
Během návrhu rozložení součástí na polotovar se vychází z tvaru, velikosti a množství vyrobených dílů. Existuje řada způsobů a je potřeba zvolit ten optimální. Součásti jsou rozmisťovány na polotovar s můstky a bočními přídavky. Vzhledem k jejímu tvaru je uvažováno jednořadé uspořádání. Použity mohou být následující varianty:

- Varianta 1 – podélně - všechny osy ohybu umístěny kolmo ke směru posuvu a také kolmo ke směru vláken (obr. 40). To je výhodu s ohledem na technologičnost ohybu. Problém však tvoří konstrukce nástroje, který by byl kvůli umístění a charakteru ohybů velmi složitý a obtížně vyrobitelný. Ohyby také velmi komplikují posun polotovaru v nástroji.



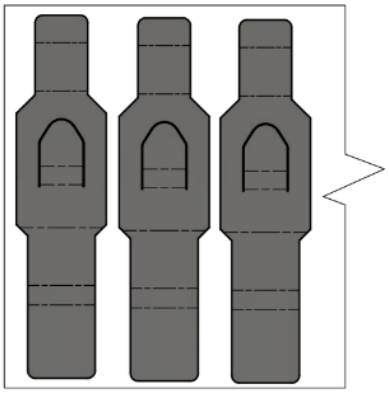
Obr. 40 Podélné umístění

- Varianta 2 – šikmo - osy ohybů součástí jsou v této variantě pootočeny o 45° a zároveň tak pootočeny vůči vláknům materiálu (obr. 41), kde poloměry ohybu splňují požadavky a během ohybu se tak neporuší. Konstrukce ohybového nástroje by v této variantě byla náročná a boční ostřih by musel být složený z více částí, zajišťujících krok a dodatečný ostřih tvaru.



Obr. 41 Šikmé umístění

- Varianta 3 – příčně - osy ohybů jsou rovnoběžné se směrem posunu materiálu i vlákny (obr. 42). To se může projevit na kvalitě ohybu, vznikem nežádoucích trhlin, které však v tomto případě nenastanou, protože byla splněna podmínka minimálního poloměru. Konstrukce nástrojů a geometrie bočního ostřihu k zajištění kroku je v této variantě výrazně snazší než v předchozích případech.



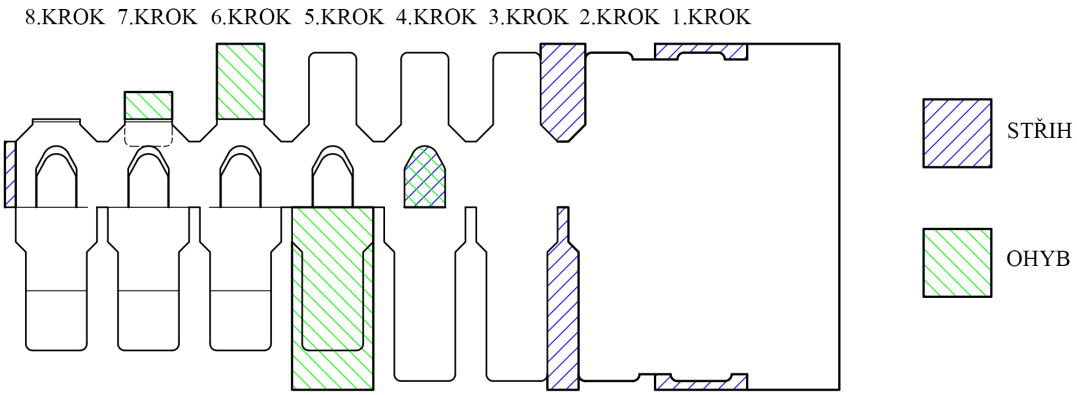
Obr. 42 Příčné umístění

Po zvážení všech výhod a nevýhod se jeví jako nejvýhodnější varianta 3. Její předností je snazší konstrukce a geometrie nástrojů. Nenastanou zde ani možné problémy s podélnou rovinou ohybu.

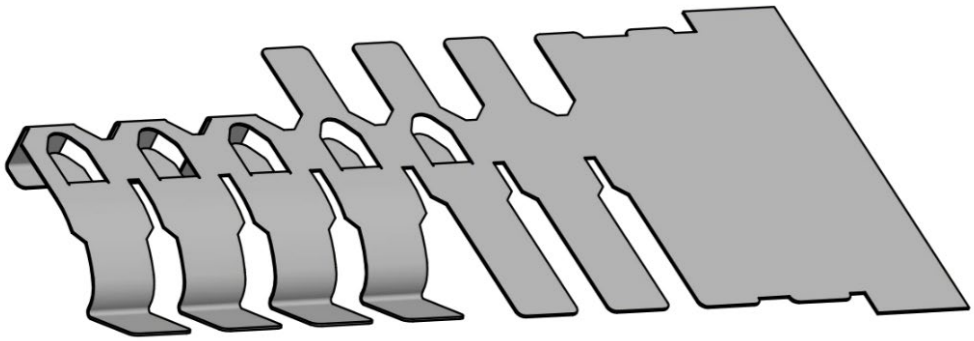
3.2.1 Výrobní postup

Po zvolení nejvhodnějšího rozmístění součástí je možné uvažovat o výrobním postupu. Pro výrobu součásti jsou použity technologie stříhání a ohýbání. S ohledem na velkou výrobní sérii musí být tyto uspořádány tak, aby obsahovaly co nejmenší počet operací. Ve všech variantách je krok zajištěn bočním ostřihem:

- Varianta 1 (obr. 43) a její 3D model (obr. 44) - součást je zhotovena v osmi krocích. Nejprve je proveden boční ostřih zajišťující krok. Dále je vystřihován obvod součásti s nastřižením místa v oblasti můstku k zajištění následujícího ohybu. Poté je uskutečněno prostřižení a ohnutí prolisu ve střední části následované ohnutím zajišťujícího ramene. Výroba pokračuje ohýbáním opěrného ramene ve dvou po sobě jdoucích krocích. Ve finální operaci dojde k ustřižení můstku a odpadá hotová součást.



Obr. 43 Postup výroby - varianta 1



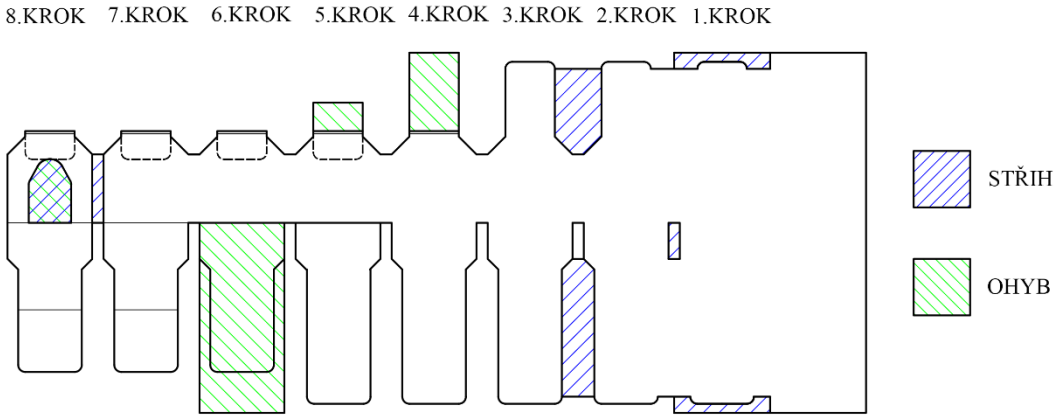
Obr. 44 3D model - varianta 1

Postup je znázorněn v následujících bodech:

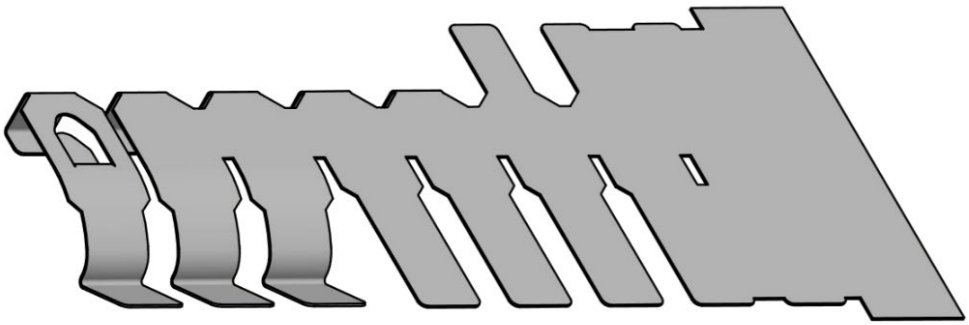
- 1. krok – ostřižení bočního odpadu,
- 2. a 3. krok – vystřižení obvodu součásti,
- 4. krok – prostřižení a ohnutí prolisu,
- 5. krok – ohyb zajišťujícího ramene,
- 6. krok – první ohyb opěrného ramene,
- 7. krok – druhý ohyb opěrného ramene,
- 8. krok – ustřižení můstku hotové součásti.

Výhodou této varianty je nižší počet nástrojů. Nevýhodou je složitý střižník mezi druhým a třetím krokem. Operace ve čtvrtém kroku bude velmi obtížná v návaznosti na další posouvání pásu, kde může docházet k zaražení prolisu o hranu nástroje, pokud nebude zavedeno nadzdvihávání pasu. Dalšími problémy by mohly být případné zapříčení ohybu z pátého kroku při jeho dalším posouvání.

- Varianta 2 (obr. 45) a její 3D model (obr. 46) – obdobně jako v předchozí variantě je součást vyrobena v osmi krocích. Rozdíl je v oddělení nastřižení můstku od vystřižení obrysu a jeho zařazení do kroku s bočním ostřihem. Dále je proveden ohyb opěrného ramene ve dvou krocích následované ohybem zajišťujícího ramene. V posledním kroku dochází k prostřižení a ohybu prolisu následované ustřižením můstku.



Obr. 45 Postup výroby - varianta 2



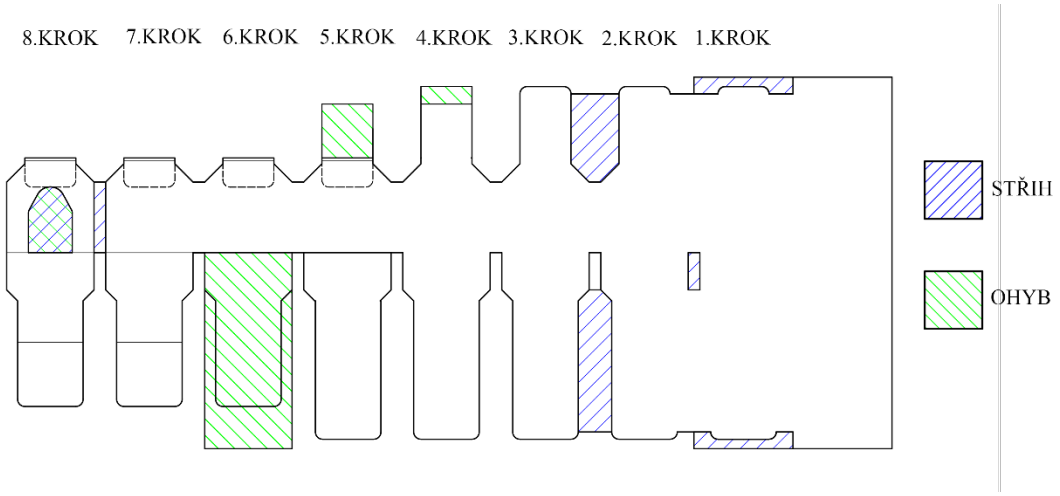
Obr. 46 3D model - varianta 2

Jednotlivé kroky jsou znázorněny v těchto bodech:

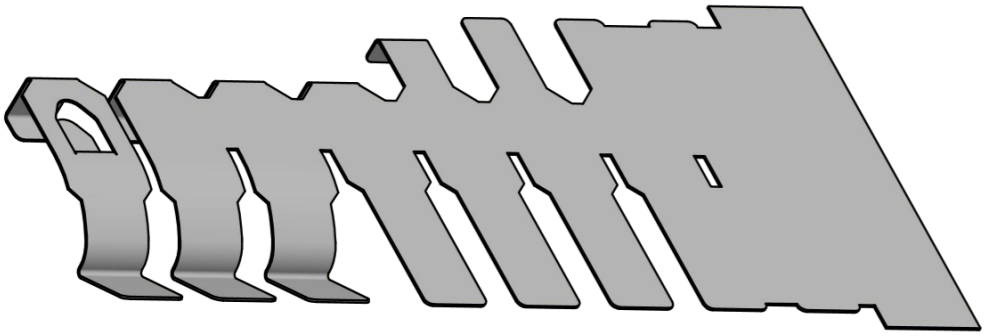
- 1. krok – ostřižení bočního odpadu,
- 1.a 2. krok – vystřižení otvoru vedle můstku,
- 2. a 3. krok – vystřižení obrysu součásti,
- 4. krok – první ohyb opěrného ramene,
- 5. krok – druhý ohyb opěrného ramene,
- 6. krok – ohyb zajištujícího ramene,
- 7.a 8. krok –ustřižení můstku hotové součásti,
- 8. krok – prostřižení a ohyb prolisu.

Výhodou jsou jednodušší střižné nástroje, kratší dráha posouvání zajišťujícího ramene, a navíc dochází k dokonalé ustřižení součásti bez případného zasekávání o prolis. Velkou nevýhodou je zde ale složité přepákování ohybové síly pro uskutečnění druhého ohybu opěrného ramene.

- Varianta 3 (obr 47.) a její 3D model (obr. 48) – také zde je součást zhotovena v osmi krocích. Oproti předchozí variantě je změněno pořadí ohybu opěrného ramene, zbývající operace se nemění.



Obr. 47 Postup výroby - varianta 3



Obr. 48 3D model - varianta 3

Kroky jsou sepsány v těchto bodech:

- 1. krok – ostřižení bočního odpadu,
- 1.a 2. krok – vystřižení otvoru vedle můstku,
- 2. a 3. krok – vystřižení obrysu součásti,
- 4. krok – první ohyb opěrného ramene,
- 5. krok – druhý ohyb opěrného ramene,
- 6. krok – ohyb zajišťujícího ramene,
- 7.a 8. krok –ustřižení můstku hotové součásti,
- 8. krok – prostřižení a ohyb prolisu.

Tato varianta má obdobné výhody jako předchozí, ale navíc má jednodušší ohýbání opěrného ramene bez potřeby přepáhování ohybové síly.

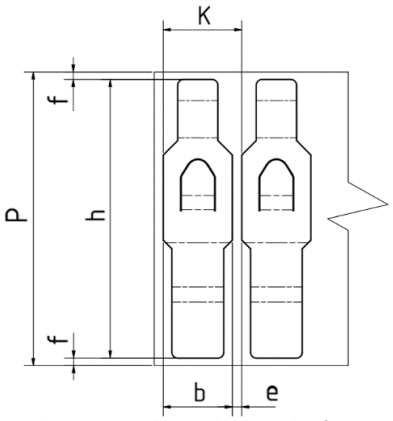
Na základě zhodnocení všech variant, jejich složitosti vystřižení obrysu, případných zapříčení zajišťujícího ramene, možného zaseknutí prolisu, složitého přepákování ohybové síly a nedostatečného ustřižení můstku, vychází třetí řešení jako nejlepší. Součást bude zhotovena v osmi operacích. Krok bude zajištěn pomocí bočního ostřihu.

3.3 Volba polotovaru [47],[48],[49],[50]

Pro navržení správného polotovaru je potřeba určit velikost rozěmrů podle obrázku 49. Je zde naznačena šířka pásu, kterou lze vypočítat dle vztahu:

$$P = 2 \cdot f + hv = 2 \cdot 2{,}6 + 48{,}2 = 53{,}4mm \qquad (3.2)$$

kde: f – velikost bočního odpadu
(z tabulky v příloze dvě se f = 1,3 mm,
z důvodu bočnímu ostřihu,
je použita hodnota dvojnásobná) [mm],
hv – délka výstřižku [mm].



Obr. 49 Rozmístění součásti

Dále je zde zobrazena velikost kroku určená podle:

$$K = b + e = 12 + 1{,}6 = 13{,}6\ mm \qquad (3.3)$$

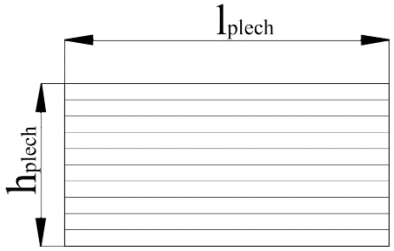
kde: b – šířka výstřižku [mm],
e – velikost můstku (z tabulky v příloze 2
e = 1,6 mm) [mm].

Polotovar na vyráběnou součást je možné zajistit dvěma způsoby, a to vystřižením pásu z tabule plechu nebo ze svitku. U první možnosti se musí počítat s dělením tabulí a při druhé variantě je potřeba zajistit odvíjení a rovnání plechu. Pro oba způsoby je potřeba zjistit jejich využití:

- Tabule plechu varianty A podélně (obr 50). Jako polotovar byla zvolena tabule o rozměru 0,3 x 1000 x 2000 (s x h_{plech} x l_{plech}):
  - Počet pásů z jedné tabule je podle vztahu:

$$n_p = \frac{h_{plech}}{P} = \frac{1000}{53{,}4} = 18{,}73 \qquad (3.4)$$

Počet pásů je zaokrouhlen na 18, protože je možné vyrobit pouze celé pásy



Obr. 50 Varianta A

  - Počet výstřižků z pásu je:

$$n_{vp} = \frac{l_{plech}}{K} = \frac{2000}{13{,}6} = 147{,}06 \qquad (3.5)$$

Počet výstřižků je zaokrouhlen na 147, je možné vystřihnout pouze celé výstřižky.

  - Počet výstřižků z jedné tabule je podle:

$$n_{vt} = n_p \cdot n_{vp} = 18 \cdot 147 = 2646 \qquad (3.6)$$

  - Počet tabulí pro 300 000 výstřižků je podle vztahu:

$$n_{tab} = \frac{300\,000}{n_{vt}} = \frac{300\,000}{2646} = 113{,}38 \qquad (3.7)$$

Počet tabulí je zaokrouhlen na 114, protože lze použít pouze celé tabule.

  - Využití tabule plechu potom je:

$$V_{tab} = \frac{S_{vtab}}{S_{tab}} \cdot 100 = \frac{1217318{,}76}{2 \cdot 10^6} \cdot 100 = 60{,}86\ \% \qquad (3.8)$$

$$kde: S_{tab} = h_{plech} \cdot l_{plech} = 1000 \cdot 2000 = 2 \cdot 10^6\ mm^2 \qquad (3.9)$$

$$S_{vtab} = n_{vt} \cdot S_{výs} = 2646 \cdot 460{,}06 = 1217318{,}76\ mm^2 \qquad (3.10)$$

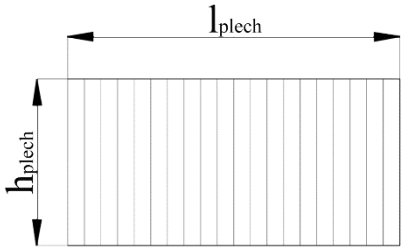
kde: S_{tab} - plocha tabule [mm^2],
S_{vtab} - plocha výstřižků z tabule [mm^2],
$S_{výs}$ – plocha výstřižku (zjištěna pomocí Autocad Inventor 2020) [mm^2].

Využití pásu při podélném dělení tabule je 60,86 %, což je menší než optimální hodnota 70 %.

- Tabule plechu varianty B napříč (obr.51):
  - Počet pásů z jedné tabule je podle vztahu (3.4):

$$n_p = \frac{l_{plech}}{P} = \frac{2000}{53{,}4} = 37{,}45$$

Počet pásů je zaokrouhlen na 37, protože je možné vyrobit pouze celé pásy



Obr. 51 Varianta B

  - Počet výstřižků z pásu je dle (3.5):

$$n_{vp} = \frac{h_{plech}}{K} = \frac{1000}{13{,}6} = 73{,}53$$

Počet výstřižků je zaokrouhlen na 73, protože je možné vystřihnout pouze celé výstřižky.

  - Počet výstřižků z jedné tabule následně je dle (3.6):

$$n_{vt} = n_p \cdot n_{vp} = 37 \cdot 73 = 2701$$

  - Počet tabulí pro 300 000 výstřižků je podle (3.7):

$$n_{tab} = \frac{300\,000}{n_{vt}} = \frac{300\,000}{2701} = 111{,}07$$

Počet tabulí je zaokrouhlen na 112, protože lze použít pouze celé tabule.

  - Využití tabule plechu potom je stanoveno (3.8):

$$V_{tab} = \frac{S_{vtab}}{S_{tab}} \cdot 100 = \frac{1242622{,}06}{2 \cdot 10^6} \cdot 100 = 62{,}13\ \%$$

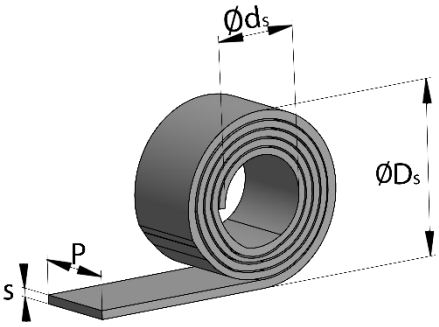
$$kde: S_{vtab} = n_{vt} \cdot S_{výs} = 2701 \cdot 460{,}06 = 1242622{,}06\ mm^2$$

Využití pásu při příčně dělené tabule je 62,13 %, je také menší než optimální hodnota.

- Svitek plechu a jeho rozměry jsou vyobrazeny na obrázku 52 a rozepsané v tabulce 4

Tab.4 Rozměry svitku

Rozměr	Označení	Hodnota [mm]
Vnitřní průměr	d_{sk}	500
Vnější průměr	D_{sk}	800
Šířka	P	53,4
Tloušťka	s	0,3



Obr. 52 Svitek plechu

Využití svitku je potom vypočteno:

  - Hmotnost svitku je podle vztahu:

$$m_{sk} = \frac{D_{sk}^2 - d_{sk}^2}{4} \cdot \pi \cdot P \cdot \rho_o \qquad (3.11)$$

$$m_{sk} = \frac{800^2 - 500^2}{4} \cdot \pi \cdot 53{,}4 \cdot 7{,}85 \cdot 10^{-6}$$

$$m_{sk} = 128{,}4\ kg$$

kde: ρ_o – hustota oceli = 7850 $kg \cdot m^{-3}$

- Délka rozvinu svitku je následně:

$$l_{sk} = \frac{m_{sk}}{\rho_o \cdot s \cdot P} = \frac{128{,}4}{7{,}85 \cdot 10^{-6} \cdot 0{,}3 \cdot 53{,}4} = 1\,021\,016 mm \quad (3.12)$$

- Počet výstřižků ze svitku je podle:

$$P_{vsv} = \frac{l_{sk}}{K} = \frac{1\,021\,016}{13{,}6} = 75\,074{,}76 \quad (3.13)$$

Počet výstřižků byl zaokrouhlen na 75 075, protože je možné vystřihnout pouze celé výstřižky.

- Počet svitků na 300 000 výstřižků potom je:

$$P_{sks} = \frac{300\,000}{P_{vsv}} = \frac{300\,000}{75\,075} = 3{,}99 \quad (3.14)$$

Počet svitků byl zaokrouhlen na 4, protože lze použít jen celé svitky.

- Využití svitku potom je (3.10):

$$V_{sk} = \frac{S_{vsv}}{S_{sv}} \cdot 100 = \frac{34\,539\,004{,}5}{54\,522\,254{,}4} \cdot 100 = 63{,}35\ \%$$
$$kde: S_{sv} = P \cdot l_{sk} = 53{,}4 \cdot 1\,021\,016 = 54\,522\,254{,}4\ mm^2 \quad (3.15)$$
$$S_{vsv} = S_{výs} \cdot P_{vsv} = 460{,}06 \cdot 75\,075 = 34\,539\,004{,}5\ mm^2$$

Využití pásu ze svitku je 63,35 % a nejvíce se blíží optimální hodnotě.

V tabulce 5 je uvedeno využití jednotlivých variant polotovaru. Jako nejvýhodnější varianta polotvaru pro výrobu s bočním ostřihem vyšel svitek s využitím materiálu 63,35 %. Odvíjení a rovnání pásu je zajištěno stroji, které jsou již ve vlastnictví firmy. Z těchto důvodů byla tato varianta zvolena jako polotovar pro výrobu dané součásti.

Tab.5 Využití polotovaru

Varianta polotvaru	Tabule plechu		Svitek
	Varianta A	Varianta B	
Využití [%]	60,86	62,13	63,35

3.4 Síla a práce

Pro jednotlivé operace je potřeba vypočítat jejich tvářecí sílu a práci. Tyto hodnoty budou řešeny zvlášť pro:

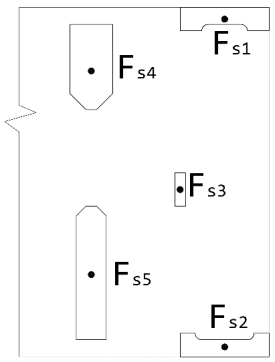
- Střih – délka střižných hran byla stanovena za pomoci programu Autodesk Inventor 2020.a velikost jednotlivých střižných sil je vypočtena na základě vztahu (2.11):
  - Boční ostřih 1.krok (obr. 53):

$$F_{s1} = F_{s2} = o_1 \cdot s \cdot 0{,}8 \cdot Rm \cdot n$$
$$= 19{,}77 \cdot 0{,}3 \cdot 0{,}8 \cdot 700 \cdot 1{,}5 = 4982{,}04\ N$$

kde: Rm (z tab.1 Rm = 700 MPa)
n – součinitel zvolen 1,5
z rozsahu n = (1,3 až 1,5)

  - Děrovací střih 1.a 2.krok:

$$F_{s3} = o_2 \cdot s \cdot 0{,}8 \cdot Rm \cdot n$$
$$= 13{,}4 \cdot 0{,}3 \cdot 0{,}8 \cdot 700 \cdot 1{,}5$$
$$= 3376{,}8\ N$$



Obr. 53 Střižné síly 1 až 5

- Obvodový střih 2. a 3. krok:

$$F_{s4} = o_3 \cdot s \cdot 0{,}8 \cdot Rm \cdot n = 27{,}88 \cdot 0{,}3 \cdot 0{,}8 \cdot 700 \cdot 1{,}5 = 7025{,}76\ N$$

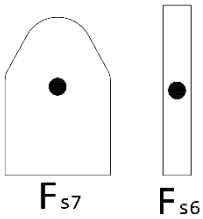
$$F_{s5} = o_4 \cdot s \cdot 0{,}8 \cdot Rm \cdot n = 40{,}2 \cdot 0{,}3 \cdot 0{,}8 \cdot 700 \cdot 1{,}5 = 10130{,}4\ N$$

- Odstřižení 8. krok (obr. 54):

$$F_{s6} = o_5 \cdot s \cdot 0{,}8 \cdot Rm \cdot n = 19{,}38 \cdot 0{,}3 \cdot 0{,}8 \cdot 700 \cdot 1{,}5 = 4883{,}76\ N$$

- Děrovací střih 8. krok:

$$F_{s7} = o_6 \cdot s \cdot 0{,}8 \cdot Rm \cdot n = 20{,}93 \cdot 0{,}3 \cdot 0{,}8 \cdot 700 \cdot 1{,}5 = 5274{,}36\ N$$



Obr. 54 Střižné síly 6 a 7

Celková střižná síla:

$$F_s = F_{s1} + F_{s2} + F_{s3} + F_{s4} + F_{s5} + F_{s6} + F_{s7} = 4982{,}04 + 4982{,}04 + 3376{,}8 + 7025{,}76 + 10130{,}4 + +5274{,}36 + 4883{,}76 = 40\,655{,}16\ N$$

Celková střižná práce je podle vztahu (2.12):

$$A_s = \lambda \cdot F_s \cdot s = 0{,}6 \cdot 40655{,}16 \cdot 0{,}3 = 7317{,}93\ J$$

kde: λ součinitel je volen 0,6.

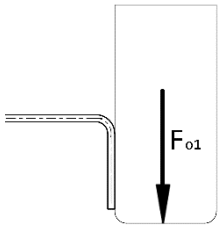
- Ohyb – velikost jednotlivých ohybových sil je vypočtena podle vztahu (2.13):
  - Ohybová síla první části opěrného ramene ve 4. kroku je podle (obr. 55):

$$F_{o1} = \frac{b_1 \cdot s^2 \cdot Re}{2 \cdot R_{o1}} tg\left(\frac{\alpha_1}{2}\right) = \frac{7 \cdot 0{,}3^2 \cdot 550}{2 \cdot 0{,}5} tg\left(\frac{90}{2}\right) = 577{,}5\ N$$

Práce potřebná k ohybu první části opěrného ramene je podle vztahu (2.14):

$$A_{o1} = \psi \cdot F_{o1} \cdot h_1 = 0{,}8 \cdot 577{,}5 \cdot 4{,}3 = 1986{,}6\ J$$

kde: součinitel ψ je zvolen 0,8



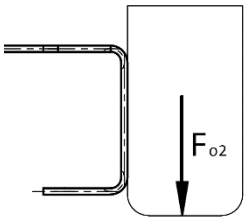
Obr. 55 Ohybová síla 1

  - Ohybová síla druhé části opěrného ramene 5. krok (obr.56):

$$F_{o2} = \frac{b_1 \cdot s^2 \cdot R_e}{2 \cdot R_{o1}} tg\left(\frac{\alpha_1}{2}\right) = \frac{7 \cdot 0{,}3^2 \cdot 550}{2 \cdot 0{,}5} tg\left(\frac{90}{2}\right) = 346{,}5\ N$$

Práce k vykonání ohybu druhé části opěrného ramene:

$$A_{o2} = \psi \cdot F_{o2} \cdot h_2 = 0{,}8 \cdot 346{,}5 \cdot 9{,}97 = 2763{,}68\ J$$

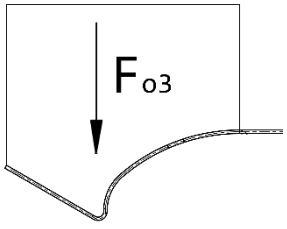


Obr. 56 Ohybová síla 2

  - Ohyb zajišťujícího ramene 6. krok (obr.57):

$$F_{o31} = \frac{b_2 \cdot s^2 \cdot Re}{2 \cdot R_{o2}} tg\left(\frac{\alpha_2}{2}\right) = \frac{12 \cdot 0{,}3^2 \cdot 550}{2 \cdot 16} tg\left(\frac{140}{2}\right) = 51N$$

$$F_{o32} = \frac{b_3 \cdot s^2 \cdot Re}{2 \cdot R_{o3}} tg\left(\frac{\alpha_3}{2}\right) = \frac{9 \cdot 0{,}3^2 \cdot 550}{2 \cdot 4} tg\left(\frac{130}{2}\right) = 119{,}42\ N$$



Obr. 57 Ohybová síla 3

$$F_{o33} = \frac{b_3 \cdot s^2 \cdot Re}{2 \cdot R_{o4}} tg\left(\frac{\alpha_4}{2}\right) = \frac{9 \cdot 0{,}3^2 \cdot 550}{2 \cdot 0{,}5} tg\left(\frac{60}{2}\right) = 257{,}21\ N$$

Celková ohybová síla 6. kroku:

$$F_{o3} = F_{o31} + F_{o32} + F_{o33} = 51 + 119{,}42 + 257{,}21 = 427{,}63\ N$$

Potřebná práce k ohybu zajišťujícího ramene:

$$A_{o3} = \psi \cdot F_{o3} \cdot h_3 = 0{,}8 \cdot 427{,}63 \cdot 9{,}3 = 3151{,}57\ J$$

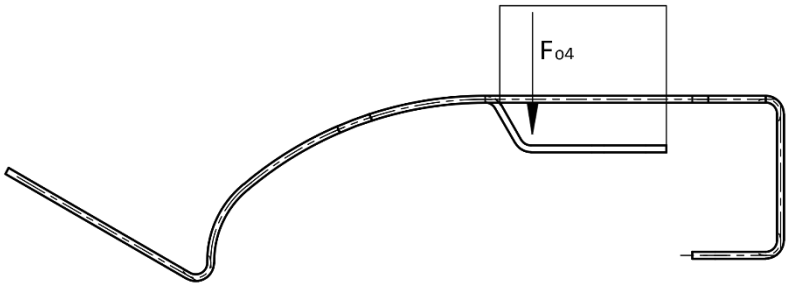
- Ohyb prolisu 8. krok (obr. 58):

$$F_{o41} = F_{o42} = \frac{b_1 \cdot s^2 \cdot Re}{2 \cdot R_{o1}} tg\left(\frac{\alpha_5}{2}\right) = \frac{6 \cdot 0{,}3^2 \cdot 550}{2 \cdot 0{,}5} tg\left(\frac{120}{2}\right) = 514{,}42\ N$$

$$F_{o4} = F_{o41} + F_{o42} = 514{,}42 + 514{,}42 = 1028{,}84\ N$$

Ohybová práce v osmém kroku:

$$A_{o4} = \psi \cdot F_{o4} \cdot h_4 = 0{,}8 \cdot 1028{,}84 \cdot 2{,}16 = 1777{,}83\ J$$



Obr. 58 Ohybová síla 4

Celková ohybová síla:

$$F_o = F_{o1} + F_{o2} + F_{o3} + F_{o4} = 346{,}5 + 427{,}63 + 1028{,}84 + 577{,}5 = 2380{,}47\ N$$

Celková ohybová práce:

$$A_o = A_{o1} + A_{o2} + A_{o3} + A_{o3} = 2763{,}68 + 3151{,}57 + 1777{,}83 + 1986{,}6 = 8049{,}68\ J$$

Celková tvářecí síla podle vztahu (2.10):

$$F_c = F_s + F_o = 40\,655{,}16 + 2380{,}47 = 43\,035{,}63\ N$$

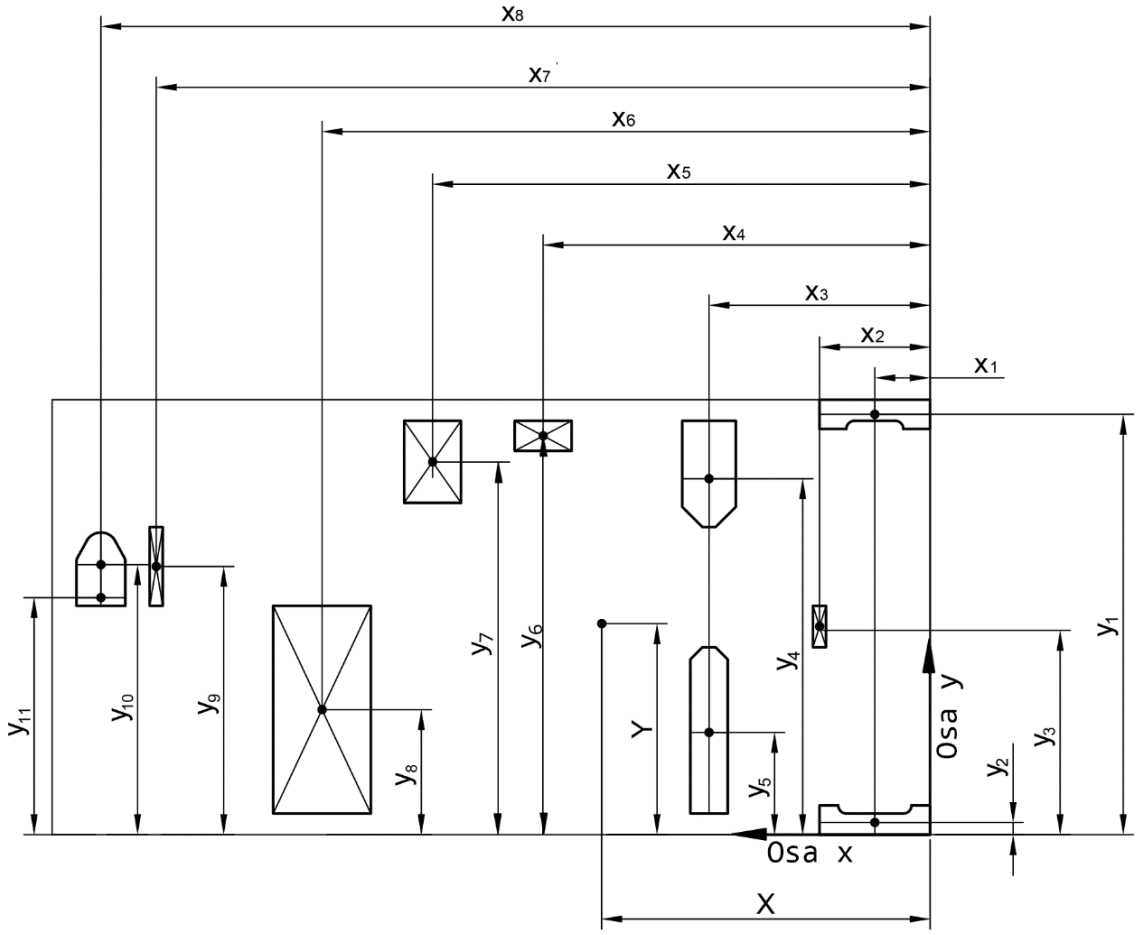
Celková tvářecí práce

$$A_c = A_s + A_o = 7317{,}93 + 8049{,}68 = 15\,347{,}61 J \qquad (3.18)$$

Celková tvářecí síla potřebná k vytvoření spony je 43 kN a z toho vycházející práce je 15 kJ.

3.4.1 Těžiště sil

Při určení polohy stopky je potřeba znát polohu těžiště sil působících v nástroji (obr. 59). Kdyby stopka byla mimo těžiště, byl by lis zatížen momenty, nedocházelo by k plnému přenosu výkonů a snížila by se životnost nástrojů. Na základě charakteru rozmístění střihu a ohybu bude výpočet proveden v obou osách. Pozice těžišť jednotlivých nástrojů byly určeny pomocí Autocad Inventor 2020 a zaznamenány do tabulky 6.



Obr. 59 Určení těžiště

Tab. 6 Polohy působiště sil jednotlivých nástrojů

Pořadí	Krok	Oprace	Síla [N]	Poloha v ose x_i [mm]	Poloha v ose y_i [mm]
1	1.	Ostřihování	4982,0	6,8	51,8
2	1.	Ostřihování	4972,0	6,8	1,5
3	1. a 2.	Vystřihování	3376,8	13,6	25,4
4	2. a 3.	Vystřihování	7025,8	27,2	44,7
5	2. a 3.	Vystřihování	10130,4	27,2	12,6
6	4.	Ohyb	577,5	47,6	49,2
7	5.	Ohyb	346,5	61,2	45,2
8	6.	Ohyb	427,6	74,8	15,3
9	7. a 8.	Ustřižení	4883,8	95,2	32,8
10	8.	Prostřižení	5274,4	102,0	32,0
11	8.	ohyb	514,4	102,0	28,9

Těžiště v ose X je podle vztahu (2.16):

$$X = \frac{F_{s1}\cdot x_1 + F_{s2}\cdot x_1 + F_{s3}\cdot x_2 + F_{s4}\cdot x_3 + F_{s5}\cdot x_3 + F_{01}\cdot x_4 + F_{o2}\cdot x_5 + F_{o3}\cdot x_6 + F_{s6}\cdot x_7 + F_{s7}\cdot x_8 + F_{o4}\cdot x_8}{F_{s1} + F_{s2} + F_{s3} + F_{s4} + F_{s5} + F_{o1} + F_{o2} + F_{o3} + F_{s6} + F_{s7} + F_{o4}} = \frac{4982\cdot 6{,}8 + 4982\cdot 6{,}8 + 3376{,}8\cdot 13{,}6 + 4982 + 4982 + 3376{,}8 + 7028{,}8\cdot 27{,}2 + 10130{,}4\cdot 27{,}2 + 346{,}5\cdot 47{,}6 + 577{,}5\cdot 61{,}2 + 427{,}6\cdot 74{,}8 + 7028{,}8 + 10130{,}4 + 346{,}5 + 577{,}5 + 427{,}6 + 4883{,}8\cdot 95{,}2 + 5274{,}4\cdot 102 + 514{,}4\cdot 102}{4883{,}8 + 5274{,}4 + 514{,}4} = 40{,}44\ mm$$

Poloha v ose X je zaokrouhlena na 40,4 mm.

Těžiště v ose Y je podle vztahu (2.17):

$$Y = \frac{F_{s1}\cdot y_1 + F_{s2}\cdot y_2 + F_{s3}\cdot y_3 + F_{s4}\cdot y_4 + F_{s5}\cdot y_5 + F_{o1}\cdot y_6 + F_{o2}\cdot y_7 + F_{03}\cdot y_8 + F_{s6}\cdot y_9 + F_{s7}\cdot y_{10} + F_{o4}\cdot y_{11}}{F_{s1} + F_{s2} + F_{s3} + F_{s4} + F_{s5} + F_{o1} + F_{o2} + F_{o3} + F_{s6} + F_{o4}} = \frac{4982\cdot 51{,}8 + 4982\cdot 1{,}5 + 3376{,}8\cdot 25{,}4 + 4982 + 4982 + 3376{,}8 + 7025{,}8\cdot 44{,}7 + 10130{,}4\cdot 12{,}6 + 346{,}5\cdot 41{,}1 + 577{,}5\cdot 50{,}9 + 427{,}6\cdot 15{,}3 + 7025{,}8 + 10130{,}4 + 346{,}5 + 577{,}5 + 427{,}6 + 4883{,}8\cdot 32{,}8 + 5274{,}4\cdot 32 + 514{,}4\cdot 28{,}9}{4883{,}8 + 5274{,}4 + 514{,}4} = 27{,}92\ mm$$

Poloha v ose Y je zaokrouhlena na 28 mm.

Poloha těžiště, a tedy i stopky je vzdálená od okraje plechu v ose X je 40,4 mm a v ose Y je 28 mm.

3.5 Volba stroje [51],[52]

Během volby stroje je nejdůležitějším faktorem celková tvářecí síla $F_c = 43\,035{,}63\ N$ a volený stroj musí mít jmenovitou sílu větší. Dalšími faktory pro výběr jsou rozměry upínacího stolu, sevření a zdvih. Na základě těchto parametrů byl zvolen jako vhodný univerzální hydraulický lis CUPS 6,3 DEU od firmy HŠV stroje a.s. (obr.60).

Hydraulický agregát je umístěný ve stojanu stroje. Stroj se vyznačuje kompaktní konstrukcí, malými rozměry a jednoduchou obsluhou, kterou zvládne jeden zaměstnanec. Může být umístěn na pevném stole nebo na speciálním podstavci dodávaným výrobcem. Rychlost beranu se dá nastavit ve třech stupních. Regulace tlakové síly je plynulá. Nastavit a vyhodnotit se dají i další parametry.

Obr. 60 Lis CUPS 6,3 DEU [51]

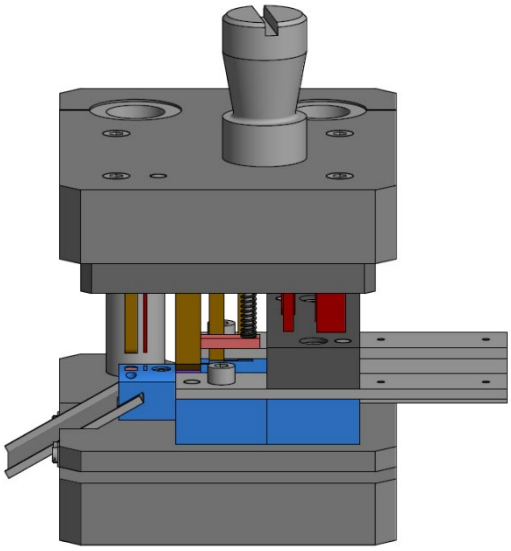
Základní technické údaje jsou uvedeny v tabulce 7. Zbylé informace o lisu včetně jeho rozměrů jsou uvedeny v příloze 3.

Tab.7 Technické údaje lisu CUPS 6,3 DEU [51],[52]

Parametry stroje		Parametry beranu	
Jmenovitá síla [kN]	63	Zdvih beranu [mm]	160
Sevření [mm]	315	Upínací plocha [mm]	160x250
Vyložení [mm]	160	Tvářecí rychlost [mm/s]	30/20/8
Upínací plocha [mm]	240x320	Rychloposuv [mm/s]	75/55/20
Propad ve stole [mm]	90		

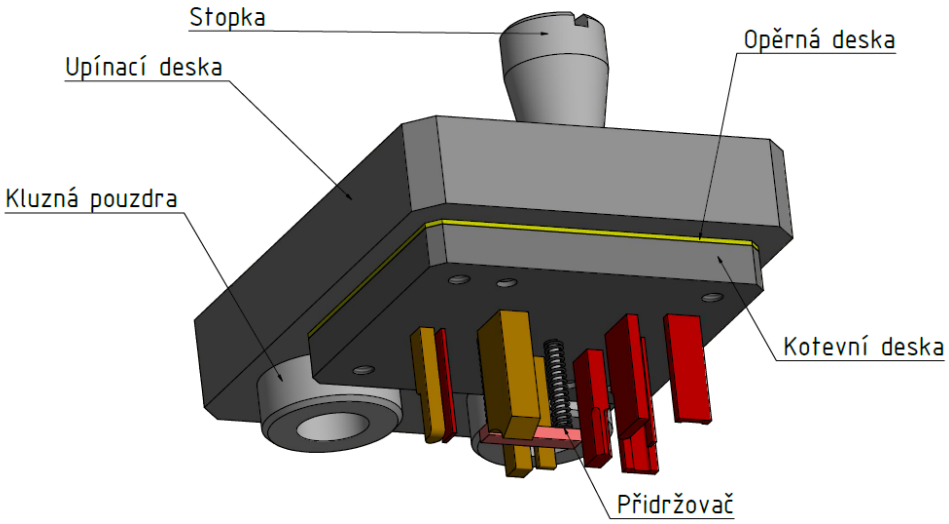
3.6 Popis nástroje [27],[28],[34],[47],[53]

Na výrobu spony byl navržen postupový sdružený nástroj (obr.61) zhotovující součást v osmi krocích kombinujících střih a ohyb. Mezi vodící lišty nástroje se zavádí z odvíjecího stroje, spojeného s rovnacím a podávacím zařízením, polotovar v podobě svitku. Horní část nástroje se během pracovního pohybu zdvihá maximálně o 10 mm. Při posuvu dolů, aby nedocházelo k pohybu materiálu ve vertikálním směru během ohýbání, dosedá v nástroji jako první pružinový přidržovač. Následně dochází k ohybům, poté teprve ke střihům. Nejdelší volná část jednotlivých nástrojů mimo kotevní desku a spodní nástroj je 42 mm. Odpad propadá skrz střižnici a základovou desku otvorem ve stole stroje. Hotová součást je po odstřižení můstku vysunuta z nástroje polotovarem posunutým o další krok, kde přes skluz padá do přistavené přepravky.

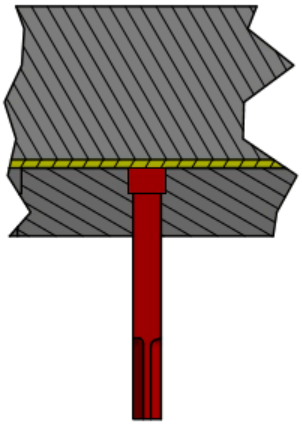


Obr. 61 Složený nástroj

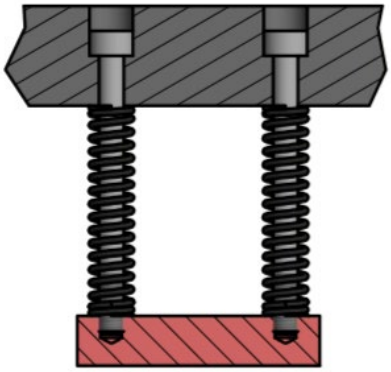
Základem horní části (obr. 62) je upínací deska, která je pomocí přišroubované stopky zajištěna v beranu stroje. Pro lepší vedení během pohybu nástroje jsou v ní nalisována vodící kluzná pouzdra sloupků. Aby během pohybu docházelo k odvzdušnění v prostoru mezi sloupkem a čelem beranu, jsou v upínací desce vyfrézovány drážky. Dále je k ní upevněna pomocí šroubů a kolíků kotevní a ke snížení otlačení je mezi ně vložena opěrná deska. Střižníky a ohybníky z důvodu menších rozměrů jsou v kotevní desce zajištěny pouze osazením, jejich příklad je na obrázku 63. Mezi ohybníky je na dvou odpružených šroubech upevněn již zmíněný pružinový přidržovač, vyobrazený na obrázku 64.



Obr. 62 Horní část

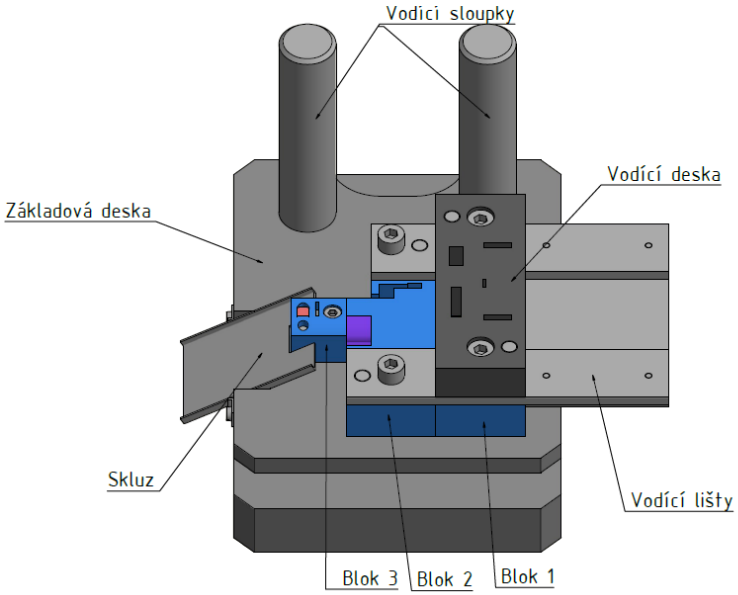


Obr. 63 Uložení nástrojů

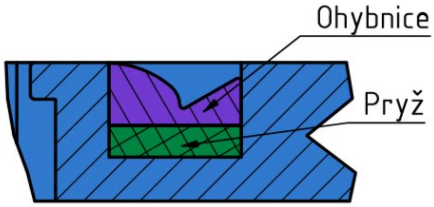


Obr. 64 Přidržovač

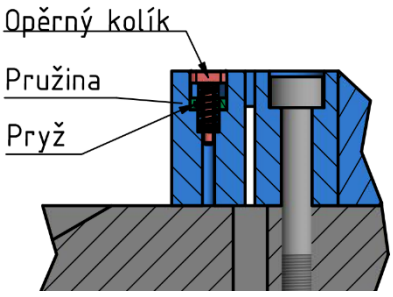
Spodní část (obr. 65) je složena ze základové desky, do níž jsou nalisovány vodící sloupky a pomocí kolíků a šroubů jsou k ní upevněny tři nástrojové bloky. První je tvořen střižnicemi bočního ostřihu a vystřižení obrysu součásti. Nad tento blok je ještě také umístěna vodící deska. Druhý je složen z ohybnic, kde v poslední z nich je vložená pryžový blok ke kalibraci ohybu zajišťovacího ramene (obr. 66). Třetí blok je tvořen střižnicí na odstřižení můstku a nástroje pro vytvoření prolisu (obr. 67). Při zasouvání podpěrného kolíku dojde nejprve k prostřižení a následnému ohybu prolisu. Poté dojde k dosednutí kolíku na pryžový bloček a kalibraci ohybu.



Obr. 65 Spodní část



Obr. 66 Ohybnice zajišťovacího ramene



Obr. 67 Nástroj na prolis

3.6.1 Kontrola funkčních částí nástroje [28],[47],[54]

Pro správné fungování nástrojů je potřeba zjistit jejich kritické hodnoty, při kterých dochází k jejich poškození nebo přímo k znehodnocení. Během konstrukce nástroje se musí brát ohled na následující hodnoty:

- Kontrola střižníků na otlačení – pro konstrukci je důležité zjistit napětí na dosedací ploše. V případě překročení dovolené hodnoty $\sigma_{dov} = 180\ MPa$, je potřeba mezi upínací a kotevní desku vložit kalenou opěrnou, která rozkládá napětí a zabraňuje vtlačení střižníků. Výpočet je proveden na nejmenším střižníku v 2. kroku a na největším v 3. až 4. kroku. Jejich plochy jsou vypočteny pomocí programu Autocad Inventor 2020:
  - Kontrola nejmenšího střižníku

$$\sigma_{dm} = \frac{F_{s3}}{S_{d1}} = \frac{3376{,}8}{8{,}16} = 413{,}82\ MPa \tag{3.18}$$

kde: σ_d – dovolené napětí [MPa],
S_d – dosedací plocha [mm^2].

  - Kontrola největšího střižníku dle vztahu

$$\sigma_{dv} = \frac{F_{s5}}{S_{d2}} = \frac{10130{,}4}{95{,}5} = 106{,}07\ MPa \tag{3.19}$$

Během kontroly nejmenšího střižníku byla překročena dovolená hodnota napětí, tudíž je za potřebí vložit opěrnou desku.

- Kontrola střižníku na vzpěr – kdyby během konstrukce došlo k překročení dovolené hodnoty, došlo by k jeho prohnutí a byla by porušena stabilita. Kontrola je prováděna na nejmenším střižníku z 2. kroku podle vztahu:

$$l_k = \sqrt{\frac{2 \cdot \pi^2 \cdot E \cdot I}{\mu \cdot F_{s3}}} = \sqrt{\frac{2 \cdot \pi^2 \cdot 2{,}1 \cdot 10^5 \cdot 17{,}6868}{2 \cdot 3376{,}8}} = 104{,}2\ mm \tag{3.20}$$

kde: l_k – kritická délka [mm],
μ – součinitel bezpečnosti zvolen 2 z rozsahu $\mu = (1{,}5\ až\ 2)$[-].
I – moment setrvačnosti průřezu [mm^4],

$$kde: I = \frac{b_s \cdot {h_s}^3}{12} = \frac{1{,}6 \cdot 5{,}1^3}{12} = 17{,}6868\ mm^4 \tag{3.21}$$

kde: b_s – šířka průřezu střižníku [mm],
h_s – délka průřezu střižníku [mm].

Podle výpočtu vyšlo, že kritická délka je 141,41 mm. Největší délky mimo upínací desku je 42 mm, nástroj vyhovuje

- Kontrola výšky střižnice – během provozu je střižnice namáhána na tlak, aby nedocházelo k jejímu prohnutí, je během konstrukce nezbytné dodržet její minimální tloušťku, kterou je možné určit podle vztahu:

$$H_s = \sqrt[3]{F_{smax}} = \sqrt[3]{10130{,}4} = 21{,}64\ mm \tag{3.22}$$

kde: H_s – tloušťka střižnice [mm].

Během konstruování musí být výška střižnice větší než 21,64 mm. Nástroj vyhovuje, střižnice je 22 mm vysoká.

4 ZÁVĚRY

V rámci práce byl vytvořen pracovní postup pro výrobu spony, která je spojujícím prvkem tzv. „clip“ rámečku, umožňující také jeho následné zavěšení na zeď. Jako vhodný materiál na výrobu součásti je zvolena pružinová nízkolegovaná ocel 51CrV4 v podobě plechu o tloušťce 0,3 mm. Z rozvahy vhodných technologií výroby a s přihlédnutím k velikosti série 300 000 ks za rok vyplynulo, že na výrobu je optimální postupový sdružený nástroj.

Součást splňuje technologičnost pro stříhání i ohýbání a není tak potřeba upravovat její rozměry. Na základě posouzení konstrukce nástroje, využití materiálu a velikosti výrobní série, bylo rozhodnuto o příčném uspořádání, pro které byl navržen vhodný výrobní postup o osmi krocích. Z navržených variant polotovaru vyšel jako nejvýhodnější svitek s využitím materiálu 63,35 %. Dále byly provedeny výpočty tvářecích sil, jejich působišť včetně těžiště výsledné síly a prací. Celková tvářecí síla vyšla 43 kN a práce 15 kJ.

Pro výrobu, se zhodnocením rozměrů součásti byl zvolen univerzální hydraulický lis CUPS 6,3 DEU, který disponuje dostatečnou jmenovitou silou 63 kN. Nakonec byl zkonstruován postupový sdružený nástroj vycházející z velikosti série, potřebných výpočtů, výrobního postupu a vybraného stroje.

SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

1. DVOŘÁK, Milan, František GAJDOŠ a Karel NOVOTNÝ. *Technologie tváření: plošné a objemové tváření*. Vyd. 5., V Akademickém nakladatelství CERM 3. vyd. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2013. ISBN 9788021447479.
2. HLUCHÝ, Miroslav, Jan KOLOUCH a Rudolf PAŇÁK. *Strojírenská technologie 2*. 2., upr. vyd. Praha: Scientia, 2001. ISBN 8071832448.
3. Co je to strojírenství. *MSC metpro a.s.* [online]. [cit. 2020-05-08]. Dostupné z: http://www.mscmetpro.cz/clanky/co-je-to-strojirenstvi
4. TOUHIA 10 Pcs 14 mm Length Stainless Steel Solar Panel Double-Wire Clips Frame Wire Clips. *Amazon* [online]. [cit. 2020-05-08]. Dostupné z: https://www.amazon.com/TOUHIA-Sunrunner-Cable-Clips/dp/B07YRP49DL
5. Půjčovna kol kabelová svorka fix rám brzdy rychlost linky klip z nerezové oceli 4 velikostiClips. *Chinaexpress* [online]. [cit. 2020-05-08]. Dostupné z: http://www.chinaexpress.cz/cs/item/Bicycle-Bike-Cable-Clamp-Fix-Frame-Brake-Speed-Line-Clip-Stainless-Steel-4-Sizes/32841748890.html
6. H245. *Omega Moulding Company* [online]. [cit. 2020-05-08]. Dostupné z: https://www.omegamoulding.com/product/detail/metal-frame-hardware-snap-hanger-bulk-set-100-frames-incl-backplate2C-tapped-corner2C-spring-clip-h245-91131
7. Konzola pro doraz Cais PARK pro samonosnou bránu. *IVrata* [online]. [cit. 2020-05-08]. Dostupné z: https://www.ivrata.cz/174,konzola-pro-doraz-cais-park-pro-samonosnou-branu.html
8. ŘASA, Jaroslav a Josef ŠVERCL. *Strojnické tabulky 1: pro školu a praxi*. Praha: Scientia, 2004. ISBN 8071833126.
9. 51crv4 Spring Steel Wire. *FRIEND METAL: Oil quecching alloy springsteel metal* [online]. [cit. 2020-05-26]. Dostupné z: http://cz.55crsi.com/spring-steel-wire/51crv4-spring-steel-wire.html
10. 51CrV4 (1.8159). *SteelNumber: European Steel and Alloy Grades / Numbers* [online]. [cit. 2020-05-26]. Dostupné z: http://www.steelnumber.com/en/steel_composition_eu.php?name_id=198
11. 51CrV4: Quenched and tempered steels. *SALZGITTER FLACHSTAHL: A member of the Salzgitter Group* [online]. [cit. 2020-05-26]. Dostupné z: https://www.salzgitter-flachstahl.de/fileadmin/footage/MEDIA/gesellschaften/szfg/informationsmaterial/produktinformationen/warmgewalzte_produkte/eng/51crv4.pdf
12. Korozní zkoušky elektrolyticky vyloučených povlaků niklu. *MM Spektrum* [online]. [cit. 2020-05-08]. Dostupné z: https://www.mmspektrum.com/clanek/korozni-zkousky-elektrolyticky-vyloucenych-povlaku-niklu.html
13. ŘASA, Jaroslav a Josef ŠVERCL. *Strojnické tabulky 2: pro školu a praxi*. Praha: Scientia, 2007. ISBN 9788086960203.

14. EN 10132-4: Pružinové oceli. *BILSTEIN CEE* [online]. [cit. 2020-05-26]. Dostupné z: http://www.bilstein-cee.cz/produkty/sortiment-bilstein-group/pruzinove-oceli/

15. SIQUAL 8159 Steel. *Sij group* [online]. [cit. 2020-05-26]. Dostupné z: https://steelselector.sij.si/steels/VCV150.html

16. Tlakové lití. *Silesia-Tech s.r.o.* [online]. [cit. 2020-05-08]. Dostupné z: http://www.silesia-tech.cz/tlakove-liti

17. SADÍLEK, Marek. *Nekonvenční metody obrábění I*. Ostrava: VŠB - Technická univerzita Ostrava, 2009. ISBN 9788024821078.

18. SERIÁL NA TÉMA LASERY - LASEROVÉ ŘEZÁNÍ (LASER CUTTING). *LAO - Lasery a Optika* [online]. [cit. 2020-05-08]. Dostupné z: http://www.lao.cz/lao-info-49/serial-na-tema-lasery---laserove-rezani-laser-cutting-129

19. Ohýbání. *TRUMPF* [online]. [cit. 2020-05-08]. Dostupné z https://www.trumpf.com/cs_CZ/pouziti/ohybani/

20. Výroba na ohraňovacím lisu - CNC ohraňování plechů na Vysočině. *EVROPSKÁ DATABANKA* [online]. [cit. 2020-05-08]. Dostupné z: https://nabidky.edb.cz/Nabidka-41333-Vyroba-na-ohranovacim-lisu-CNC-ohranovani-plechu-Vysocina

21. Akademie tváření: Stříhání. *MM Spektrum* [online]. [cit. 2020-05-08]. Dostupné z https://www.mmspektrum.com/clanek/akademie-tvareni-strihani.html

22. Možnosti využití nástrojů MATE – eliminace sekundárních operací. *Protech SpT s.r.o.* [online]. [cit. 2020-05-08]. Dostupné z: https://www.protech-spt.cz/moznosti-vyuziti-nastroju-mate-eliminace-sekundarnich-operaci/

23. VYSEKÁVÁNÍ PLECHŮ NA CNC VYSEKÁVACÍCH LISECH. *ALFEX INDUSTRY s.r.o* [online]. [cit. 2020-05-08]. Dostupné z: https://alfex-industry.cz/template/item/260-vysekavani-plechu-na-cnc-vysekavacich-lisech

24. CNC vysekávací a kombinovaná laserová centra. *MM Spektrum* [online]. [cit. 2020-05-08]. Dostupné z: http://firmy.mmspektrum.com/clanek/cnc-vysekavaci-a-kombinovana-laserova-centra.html

25. Technologie plošného tváření - stříhání. *Technologie II* [online]. [cit. 2020-05-08]. Dostupné z: http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta_tkp/sekce/06.htm

26. Technologie plošného tváření - ohýbání. *Technologie II* [online]. [cit. 2020-05-08]. Dostupné z: http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta_tkp/sekce/07.htm

27. HRIVŇÁK, Andrej, Michal PODOLSKÝ a Vuko DOMAZETOVIČ. *Teória tvárnenia a nástroje*. Bratislava: Alfa, 1992. ISBN 800501032x.

28. NOVOTNÝ, Josef a Zdeněk LANGER. *Stříhání a další způsoby dělení kovových materiálů*. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1980.

29. Postupové sdružené nástroje. *Fam Tools* [online]. [cit. 2020-06-25]. Dostupné z: https://www.citacepro.com/dok/QDOIQ0Lf6qsMFCuz

30. BLAŠČÍK, František, Josef ADAMKA, Stanislav PILÁRIK, Jiří PROCHÁZKA, Marcel ŽITŇANSKÝ, Karel ZEMAN a Karol POLÁK. *Technológia tvárnenia, zlievárenstva a zvárania: celoštátna vysokoškolská učebnica pre stroj. fak. vys. škôl*. Bratislava: Alfa, 1988.

31. FOREJT, Milan a Miroslav PÍŠKA. *Teorie obrábění, tváření a nástroje*. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2006. ISBN 8021423749.

32. HOSFORD, William F. a Robert M. CADDELL. *Metal forming: mechanics and metallurgy*. 3rd ed. New York, NY: Cambridge University Press, 2007. ISBN 9780521881210.

33. SUCHY, Ivana. *Handbook of die design*. 2nd ed. New York: McGraw-Hill, c2006. ISBN 0071462716.

34. KOTOUČ, Jiří, Jan ŠANOVEC, Jan ČERNÁK a Luděk MÁDLE. *Tvářecí nástroje*. Praha: České vysoké učení technické, 1993. ISBN 80-01-01003-1.

35. DOUBRAVSKÝ, Miroslav. *Vybrané statě z tváření III.: Ohýbání a tažení plechů*. Brno: Ediční středisko VUT Brno, 1971.

36. PROCHÁZKA, Jiří, Miroslav ZAPOTIL, Milan NĚMEČEK a Jiljí NOVOTNÝ. *Technologie slévání, tváření a svařování*. 2. vyd. Praha: ČVUT, 1986.

37. BLAŠČÍK, František a Ján KMEC. *Automatizácia technologických pracovíck v tvárnení /*. Bratislava: Alfa, 1989. ISBN 8005000553.

38. ČADA, Radek. *Technologie I: plastická deformace kovů, objemové tváření zastudena, tažení plechu, ohýbání*. Ostrava: VŠB - Technická univerzita Ostrava, 2009. ISBN 9788024821085.

39. AKADEMIE TVÁŘENÍ: OHÝBÁNÍ. *MM Spektrum* [online]. [cit. 2020-05-08]. Dostupné z: https://www.mmspektrum.com/content/100716_Akademie_tvaC599eni_ohC3BDbC3A1nC3AD.pdf?fbclid=IwAR3kfxZpPfBiouL_fZHE3reAy9DmTplGANx1kzx54LJYquB9IRc2yMZfr9o

40. KREIBICH, Viktor, Milan NĚMEC, Jiří DUNOVSKÝ, Mirko KRÁL, Josef STEIDL, Miroslav KAUFMAN, Emil POLÍVKA a Zdeněk HUŠKA. *Strojírenská Technologie IV*. Praha: SNTL, 1988.

41. ZEMAN, Karel. *Přípravky, obráběcí a tvářecí nástroje: nástroje pro tváření*. 2. vyd. Praha: ČVUT, 1988.

42. NOVOTNÝ, Karel. *Tvářecí nástroje*. Brno: Vysoké učení technické, 1992. ISBN 80-214-0401-9.

43. MAŇAS, Stanislav. VÝROBNÍ STROJE A ZAŘÍZENÍ: Část: TVÁŘECÍ STROJE. *DocPlayer.cz* [online]. [cit. 2020-05-08]. Dostupné z: http://docplayer.cz/1999676-Vyrobni-stroje-a-zarizeni.html

44. 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. Učební texty vysokých škol.

45. KOUKAL, Jaroslav a Richard BŘEZINA. *Výrobní stroje tvářecí a svářecí*. Ostrava: VŠB-Technická univerzita, 1999. ISBN 8070785896.

46. Akademie tváření: Technologičnost konstrukce při ohýbání. *MM Spektrum* [online]. [cit. 2020-05-08]. Dostupné z: https://www.mmspektrum.com/clanek/akademie-tvareni-technologicnost-konstrukce-pri-ohybani.html

47. BOBČÍK, Ladislav. *Střižné nástroje pro malosériovou výrobu*. Praha: SNTL, 1983.

48. PRUŽINOVÉ OCELI. *MONTAN OCEL* [online]. [cit. 2020-05-08]. Dostupné z: https://www.montanocel.cz/pruzinove/

49. PROVEDENÍ: Úprava svitku. *BILSTEIN CEE* [online]. [cit. 2020-05-26]. Dostupné z: http://www.bilstein-cee.cz/produkty/provedeni/uprava-svitku/

50. PRUŽINOVÉ OCELI. *MONTAN OCEL* [online]. [cit. 2020-05-08]. Dostupné z: https://www.montanocel.cz/pruzinove/

51. Univerzální hydraulické lisy. *HŠV Polička* [online]. [cit. 2020-05-08]. Dostupné z: https://www.hsvpolicka.cz/cs/lisy/univerzalni-hydraulicke-lisy

52. HŠV stroje, a.s. hydraulické lisy elektrické lisy jednoúčelové stroje konstrukční kancelář strojní výroba. *DocPlayer.cz* [online]. [cit. 2020-05-08]. Dostupné z: https://docplayer.cz/151894968-Hsv-stroje-a-s-hydraulicke-lisy-elektricke-lisy-jednoucelove-stroje-konstrukcni-kancelar-strojni-vyroba.html

53. KEJVAL, Zdeněk. *Tváření plechu IV: Nástroje pro zpracování plechu II. Nástroje pro tažení, tváření a ražení*. Praha: SNTL, 1962.

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

SEZNAM POUŽITÝCH ZNAKŮ A SYMBOLŮ

Označení	Legenda	Jendotka
A_c	Celková práce	[J]
A_o	Ohybová práce	[J]
A_s	Střižná síla	[J]
b	Šířka plechu	[mm]
b_s	Šířka průřezu	[mm]
c	Součinitel střižné vůle	[-]
D_{sk}	Vnější průměr svitku	[mm]
d_{sk}	Vnitřní průměr svitku	[mm]
E	Modul pružnosti	[MPa]
e	Velikost můstku	[mm]
$F_{1,2,3}$	Jednotlivé síly v ose y	[N]
F_c	Celková síla	[N]
F_o	Ohybová síla	[N]
F_{oV}	Ohybová síla do tvaru V	[N]
F_s	Střižná síla	[N]
F_X	Výsledná síla v ose x	[N]
f	Velikost bočního odpadu	[mm]
h	Délka pracovního zdvihu	[mm]
h_{plech}	Šířka plechu	[mm]
H_s	Tloušťka střižnice	[mm]
h_s	Délka průřezu střižníku	[mm]
h_v	Délka výstřižku	[mm]
I	Moment setrvačnosti	[mm^4]
K	Krok	[mm]
k	Součinitel odpružení	[-]
l_h	Vzdálenost ohýbacích hran	[mm]
l_k	Kritická délka	[mm]
l_o	Délka zahnuté části	[mm]
l_{oi}	Délka i-té zahnuté části	[mm]
l_p	Celková délka rozvinu	[mm]
l_{plechu}	Délka plechu	[mm]
l_{rj}	Délka j-té rovné části	[mm]
l_{sk}	Délka rozvinutého svitku	[mm]
m	Počet rovných částí	[-]
m_{sk}	Hmotnost svitku	[kg]
n	Součinitel otupení	[-]
n_p	Počet pásu z jedné tabule	[-]
n_{tab}	Počet tabulí pro 300 000 kusů	[-]
n_{vp}	Počet výstřižků z pásu	[-]
n_{vt}	Počet výstřižků z jedné tabule	[-]
o	Součinitel měkké oceli	[-]
P	Šířka pásu	[mm]
P_{sks}	Počet svitků na 300 000 kusů	[-]
P_{vsv}	Počet výstřižků ze svitku	[-]
R_e	Met kluzu	[MPa]
R_m	Mez pevnosti	[MPa]

Označení	Legenda	Jendotka
R_{max}	Maximální poloměr	[mm]
R_{min}	Minimální poloměr	[mm]
R_{minp}	Minimální poloměr v podélném směru	[mm]
$R_{minš}$	Minimální poloměr v šikmém směru	[mm]
R_o	Poloměr ohybu	[mm]
S	Střižná plocha	$[mm^2]$
s	Tloušťka materiálu	[mm]
S_d	Dosedací plocha	$[mm^2]$
S_o	Celková plocha výstřižku	$[mm^2]$
S_p	Plocha pásu plechu	$[mm^2]$
S_{sv}	Plocha svitku	$[mm^2]$
S_{tab}	Plocha tabule	$[mm^2]$
S_{vsv}	Plocha výstřižků na svitku	$[mm^2]$
S_{vtab}	Plocha tabule	$[mm^2]$
$S_{výs}$	Plocha výstřižku	$[mm^2]$
u	Počet zahnutých částí	[-]
v	Střižná vůle	[mm]
V_{sk}	Využití svitku	[%]
V_{tab}	Využití tabule	[%]
X	Vzdálenost výslednice sil od osy x	[mm]
x	Součinitel posunutí neutrální osy	[mm]
$x_{1,2,3}$	Vzdálenost v ose x	[mm]
$y_{1,2,3}$	Vzdálenost v ose y	[mm]
z	Střižná mezera	[mm]
α	Úhel ohybu	[°]
β_V	Úhel odpružení ohybu ve tvaru V	[°]
γ	Úhel ohnutého úseku	[°]
ε_c	Maximální prodloužení na mezi pevnosti	[-]
η	Využití materiálu	[%]
λ	Součinitel zaplnění pod křivkou	[-]
μ	Součinitel bezpečnosti	[-]
ρ	Poloměr neutrální osy	[mm]
ρ_o	Hustota oceli	$[kgmm^{-3}]$
σ_d	Dovolené napětí	[MPa]
τ_s	Pevnost materiálu ve střihu	[MPa]
ψ	Součinitel zaplnění pracovního diagramu	[-]

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1 Příklady součástí vyrobených plošným tváření [4], [5], [6], [7] 9
Obr. 2 Spona 10
Obr. 3 umístění spony 10
Obr. 4 sestava rámečku 10
Obr. 5 Spona s rozměry 10
Obr. 6 Tlakové lití [2] 11
Obr. 7 Řezání laserem [18] 11
Obr. 8 Ohraňovací lis [20] 12
Obr. 9 Vysekávání [23] 12
Obr. 10 Ohýbání na vysekávacím stroji [24] 12
Obr. 11 Střižný nástroj [2] 12
Obr. 12 Ohýbací nástroj [2] 12
Obr. 13 Postupový sdružený nástroj [29] 13
Obr. 14 Fáze střižného procesu [31] 13
Obr. 15 Střižná vůle [28] 14
Obr. 16 Způsoby rozmístění výstřižků [28], [34] 14
Obr. 17 Průřez širokého ohybu [27] 15
Obr. 18 Napětí v průběhu ohybu [31] 15
Obr. 19 Posunutí neutrální osy [1] 15
Obr. 20 Stanovení délky polotovaru [2] 16
Obr. 21 Odpružení [13] 16
Obr. 22 Průběh střižné síly [31] 17
Obr. 23 Průběh ohybové síly [27], [30] 18
Obr. 24 Grafické řešení těžiště [28] 19
Obr. 25 Schéma střihadla 19
Obr. 26 Provedení střižnic [28], [41] 20
Obr. 27 Geometrie střižnic [34], [41] 20
Obr. 28 Střižník s vedením [41] 21
Obr. 29 Skládaný střižník [41] 21
Obr. 30 Vložkovaný ohybový nástroj [42] 21
Obr. 31 Mechanický lis [45] 22
Obr. 22 Hydraulický lis [45] 22
Obr. 33 Vzdálenost otvorů od okraje a mezi sebou [47] 23
Obr. 34 Vliv směru vláken na ohýbání [2] 23
Obr. 35 Vzdálenost otvorů od ohybu [2] 23
Obr. 36 Model spony 24
Obr. 37 Rozměry spony 24
Obr. 38 Rozdělení na úseky 25
Obr. 39 Rozvin součásti 26
Obr. 40 Podélné umístění 26
Obr. 41 Šikmé umístění 27
Obr. 42 Příčné umístění 27
Obr. 43 Postup výroby - varianta 1 28
Obr. 44 3D model – varianta1 28
Obr. 45 Postup výroby - varianta 2 29
Obr. 46 3D model – varianta2 29
Obr. 47 Postup výroby - varianta 3 30

Obr. 48 3D model – varianta3 30
Obr. 49 Rozmístění součásti 31
Obr. 50 Varianta A 31
Obr. 51 Varianta B 32
Obr. 52 Svitek plechu 32
Obr. 53 Střižné síly 1 až 5 33
Obr. 54 Střižné síly 6 a 7 34
Obr. 55 ohybová síla 1 34
Obr. 56 ohybová síla 2 34
Obr. 57 ohybová síla 3 34
Obr. 58 ohybová síla 4 35
Obr. 59 Určení těžiště 36
Obr. 60 Univerzální hydraulický lis CUPS 6,3 DEU [51] 37
Obr. 61 Složený nástroj 38
Obr. 62 Horní část 38
Obr. 63 Uložení nástrojů 39
Obr. 64 Přidržovač 39
Obr. 65 Spodní část 39
Obr. 66 Ohybnice zajišťovacího ramene 39
Obr. 67 Nástroj na prolis 39

SEZNAM TABULEK

Tab. 1 Základní mechanické vlastnosti a chemické složení [10],[11],[14],[15]. 11
Tab. 2 Závislost součinitele x na R_o a s [1] 15
Tab. 3 Závislost součinitele k na R_oa s [13] 16
Tab. 4 Rozměry svitku 32
Tab. 5 Využití polotovaru 33
Tab. 6 Polohy působiště sil jednotlivých nástrojů 36
Tab. 7 Technické parametry lisu CUPS 6,3 DEU [51], [52] 37

SEZNAM PŘÍLOH

Příloha 1 Vzdálenost kruhových a obdélníkových od okraje výstřižku [45]
Příloha 2 Stanovení šíře odpadu u výstřižků [45]
Příloha 3 Technické parametry lisu CAPS 6,3 DEU [49]

SEZNAM VÝKRESŮ

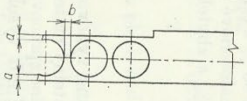
SPONA	192782_BP_2020_SPO
POSTUPOVÝ SDRUŽENÝ NÁSTROJ	192782_BP_2020_SES
KUSOVNÍK	192782_BP_2020_KUS
STŘIŽNICE	192782_BP_2020_SCE
STŘIŽNÍK	192782_BP_2020_STR

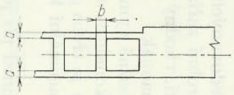
Tab. 15. Vzdálenost kruhových a obdélníkových otvorů od okraje výstřižku (podle obr. 11)

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

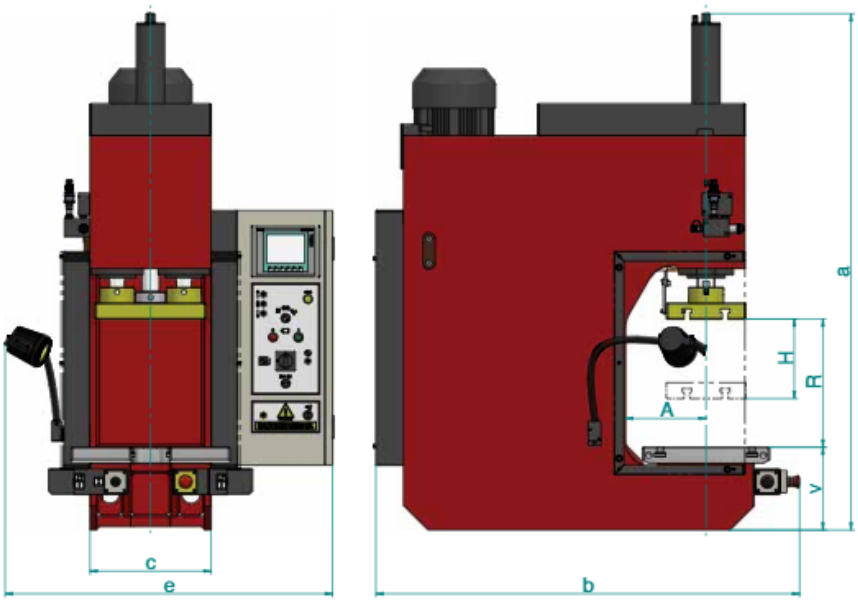
28

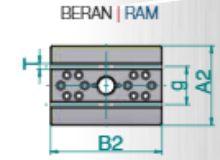
Tab. 10. Stanovení šíře odpadu u výstřižků

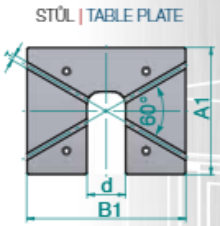




Tloušťka materiálu (mm)	Šířka/pásu (mm)												Šířka pásu (mm)											
	do 15		15 až 50		50 až 100		100 až 200		200 až 300		nad 300		do 15		15 až 50		50 až 100		100až200		200až300		nad 300	
	Rozměr *a*, *b* (mm)												Rozměr *a*, *b* (mm)											
	a	*b*	*a*	*b*	*a*	*b*	*a*	*b*	*a*	*b*	*a*	*b*	*a*	*b*	*a*	*b*	*a*	*b*	*a*	*b*	*a*	*b*	*a*	*b*
0,1 až 0,2	1	1,2											1	1,2										
0,3 až 0,4	1	1,2	1,3	1,6									1	1,2	1,3	1,6								
0,4 až 0,6	1	1,2	1,3	1,6	1,6	2							1	1,2	1,3	1,6	1,6	2	2,5					
0,7 až 0,9	1	1,2	1,3	1,6	1,6	2	2	3					1	1,2	1,3	1,6	1,6	2	3	3,2				
1	1	1,2	1,3	1,6	1,6	2	2	3,8	2,5	5,2	3	6,6	1,3	1,6	1,6	2	2	2,5	3,5	3,7	4	4,8	4,8	6
1,3	1,1	1,4	1,6	2	2,1	2,5	3,1	3,8	4	5,3	5	6,7	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	1,2	1,5	1,7	2,2	2,2	2,7	3,2	4	4,3	5,4	5,4	6,8	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	1,4	1,8	1,8	2,2	2,3	2,8	3,3	4,2	4,4	5,6	5,5	7	1,8	2,2	2,2	2,8	2,5	3,1	4	4,3	4,7	5,6	5,8	7
2	1,5	2	2	2,5	2,5	3,1	3,5	4,5	4,5	5,8	5,7	7,2	2	2,5	2,5	3,1	3	3,7	4,2	5	5	6	6	7
2,2	1,6	2	2,2	2,7	2,6	3,2	3,6	4,5	4,6	6	5,8	7,3	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	1,7	2,2	2,3	2,8	2,7	3,4	3,7	4,7	4,7	6	5,8	7,4	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	1,8	2,2	2,4	3	2,8	3,5	3,8	4,7	5	6,2	6	7,5	2,8	3,5	3	3,7	3,2	4	4,5	5,2	5,4	6,3	6,5	7,3
3	2	2,5	2,5	3	3	3,7	4	5	5	6,3	6,2	7,7	3	3,7	3,2	4	3,5	4,3	5	5,5	5,5	6,5	6,6	7,5
3,5			2,7	3,5	3,2	4	4,2	5,2	5,2	6,5	6,3	8			3,5	4,3	4	5	5,5	6	6	7	7	8,5
4			3	3,8	3,5	4,3	4,5	5,6	5,6	6,8	6,5	8,2			3,7	4,5	4,5	5,5	5,5	6,5	6,7	8	8	9,3
4,5			3,2	4	3,7	4,6	4,7	5,8	5,7	7,2	6,8	8,7			4	4,8	4,5	5,7	5,5	6,8	7	8,3	8,3	9,8
5			3,5	4,2	4	5	5	6,2	6	7,7	7	9,2			4,5	5	5	6	6	7	7,3	8,5	8,7	10







CUPS xx DEU | CMS xx D

TECHNICKÉ PARAMETRY | TECHNICAL PARAMETERS

Velikost	Size		t	6,3	16	25	40	63	80	100
Jmenovitá síla	Nominal power		kN	63	160	250	400	630	800	1000
Rychlost beranu	Ram speed	↓↓	mm/s	75 / 55 / 20	80 / 50 / 25	90 / 60 / 25	70 / 50 / 20	75 / 50 / 35	100 / 70 / 55	85 / 60 / 45
		↓	mm/s	30 / 20 / 8	25 / 15 / 10	25 / 15 / 8	25 / 15 / 8	20 / 12 / 8	25 / 15 / 10	20 / 15 / 8
		↑	mm/s	50 / 35 / 10	35 / 20 / 15	35 / 25 / 10	40 / 25 / 10	80 / 50 / 40	90 / 60 / 40	80 / 50 / 40
Rozevření	Opening	R	mm	315	350	400	450	500	650	650
Zdvih beranu	Ram stroke	H	mm	160	200	250	250	250	300	300
Vyložení	Gap	A	mm	160	200	250	315	315	350	350
Stůl	Bench table	A1xB1	mm	240 x 320	320 x 400	400 x 500	480 x 600	480 x 660	500 x 750	500 x 750
Beran	Ram	A2xB2	mm	160 x 250	180 x 280	250 x 350	250 x 470	250 x 530	400 x 600	400 x 600
Výška	Height	a	mm	1270	1425	1765	1875	2090	2730	2730
Hloubka	Depth	b	mm	1110	1160	1390	1505	1595	1830	1830
Šířka stojanu	Column width	c	mm	300	308	380	530	590	720	730
Propad ve stole	Bench sink	d	mm	90	100	120	120	120	150	150
Šířka lisu	Press width	e	mm	885	895	965	1085	1185	1315	1315
Výška stolu	Bench height	v	mm	230	265	400	455	465	590	590
T-drážka	T-groove	T	mm	14	18	18	22	22	22	22
Rozteč drážek	Groove spacing	g	mm	90	100	120	150	150	250	250
Hmotnost	Mass		kg	500	700	1100	1800	2600	4000	4600
Objem nádrže	Tank capacity		ℓ	25	35	80	100	175	220	220
Příkon	Input		kW	2	4,5	6	8	8	16	16
Hlučnost	Noiseless		dB	max 85						

Vyhrazujeme si právo změn technických informací v souvislosti s vývojem výrobku.
HŠV reserves the right to alter the specifications given in this publication in line with policy of continuous improvement.