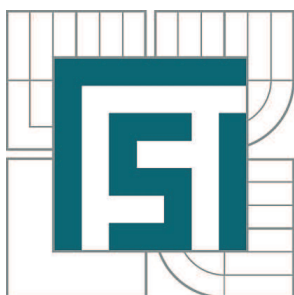


VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING
INSTITUTE OF MANUFACTURING TECHNOLOGY

VÝROBA MONTÁŽNÍHO PÁSKU

MANUFACTURING OF STRAP ASSEMBLY

DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. MICHAL FURCH

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. KAMIL PODANÝ, Ph.D.

BRNO 2013

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Ústav strojírenské technologie
Akademický rok: 2012/2013

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

student(ka): Bc. Michal Furch

který/která studuje v **magisterském navazujícím studijním programu**

obor: **Strojírenská technologie (2303T002)**

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 diplomové práce:

Výroba montážního pásku

v anglickém jazyce:

Manufacturing of strap assembly

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Jedná se o návrh technologie výroby montážního pásku používaného v automobilech pro připevnění kabelů. Součástka je z ocelového plechu, prostorového nepravidelného tvaru s otvory a bude vyráběna technologií stříhání a ohýbání. Na tuto problematiku bude také zaměřena literární studie.

Cíle diplomové práce:

Práce bude obsahovat rozbor současného stavu, porovnání možných způsobů výroby se zhodnocením jejich vhodnosti a nevhodnosti. Pro zvolenou technologii bude provedena aktuální literární studie, následovat bude návrh výroby doložený nezbytnými technologickými a kontrolními výpočty. Součástí řešení bude i návrh sestavy nástroje, konstrukční dokumentace, technicko-ekonomické hodnocení a závěry.

Seznam odborné literatury:

1. MARCINIAK, Zdislaw, J.L. DUNCAN and S.J. HU. Mechanics of Sheet Metal Forming. 2.ed. Oxford: Butterworth-Heinemann, 2002. 211 s. ISBN 07-506-5300-00.
2. FOREJT, Milan a Miroslav PÍŠKA. Teorie obrábění, tváření a nástroje. 1. vyd. Brno: Akademické vydavatelství CERM, s. r. o., 2006. 217 s. ISBN 80-214-2374-9.
3. 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.
4. NOVOTNÝ, Karel. Tvářecí nástroje. 1. vyd. Brno: Nakladatelství VUT v Brně, 1992. 186 s. ISBN 80-214-0401-9.
5. FREMUNT, P., J. KREJČÍK a T. PODRÁBSKÝ. Nástrojové oceli (odborná kniha). 1. vyd. Brno: Dům techniky. 1994. 230 s.
6. HOSFORD, William F. and Robert M. CADDEL. Metal Forming: Mechanics and Metalurgy. 3th ed. New York: Cambridge University Press, 2007. 365 s. ISBN 978-0-521-88121-0.
7. NOVOTNÝ, J. a Z. LANGER. Strihání a další způsoby dělení kovových materiálů. 1. vyd. Praha: SNTL, Redakce báňské a strojírenské literatury, 1980. 216 s. L 13–B3-IV- 41/22674.

Vedoucí diplomové práce: Ing. Kamil Podaný, Ph.D.

Termín odevzdání diplomové práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2012/2013.

V Brně, dne 20.11.2012

L.S.

prof. Ing. Miroslav Píška, CSc.
Ředitel ústavu

prof. RNDr. Miroslav Doupovec, CSc., dr. h. c.
Děkan fakulty

ABSTRAKT

FURCH Michal: Výroba montážního pásku

Montážní pásek slouží k upevnění ventilačního potrubí. Použitý materiál je feritická korozivzdorná ocel 1.4510 (ČSN 17 041) o tloušťce 1,27mm. Z možných variant výroby s ohledem na výrobní sérii 120000ks/rok vybrána technologie stříhání a ohýbání. Na základě konstrukčních výpočtů byly navrženy nástroje a zvoleny stroje. Práce obsahuje výkresovou dokumentaci vybraných částí nástrojů a kompletní sestavy. Stříhání probíhá v plně automatizované lince, ohýbání je obsluhováno pracovníkem. Ekonomickými propočty byly vypočítány náklady na jednu součást 8,12Kč.

Klíčová slova: stříhání, ohýbání, montážní pásek, ocel 17 041

ABSTRACT

FURCH Michal: Manufacturing of strap assembly

The strap assembly serves to fix the ventilation duct. The used material is a ferritic stainless steel 1.4510 (DIN 17041) of unusual thickness 1.27 mm. As a production method from possible variations with regard to the production run 120000 pcs a year was selected the technology of shearing and bending. On the basis of structural calculations the tools were designed and the equipment chosen. The work includes drawings of selected parts of tools and complete sets. The cutting takes place in a fully automated line, the bending is controlled by employee. Costs were counted by economic calculations CZK 8.12 per part.

Keywords: cutting, bending, strap assembly, steel 17 041

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

FURCH, Michal. *Výroba montážního pásku*. Brno, 2013. 52 s, 8 příloh, 8 výkresů, CD. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství. Ústav strojírenské technologie, Odbor technologie tváření kovů a plastů. Vedoucí práce Ing. Kamil Podaný, Ph.D.

ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

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

V Brně dne 23.5.2013

.....
Podpis

PODĚKOVÁNÍ

Tímto děkuji panu Ing. Kamil Podaný, Ph.D. za cenné připomínky a rady týkající se zpracování diplomové práce.

OBSAH

Zadání

Abstrakt

Bibliografická citace

Prohlášení

Poděkování

Obsah

ÚVOD	- 10 -
1 ROZBOR SOUČASNÉHO STAVU	- 11 -
1.1 Výrobní možnosti	- 12 -
2 TECHNOLOGIE STŘÍHÁNÍ A OHÝBÁNÍ.....	- 14 -
2.1 Stříhání	- 14 -
2.1.1 Střížná vůle	- 16 -
2.1.2 Střížná síla a práce	- 17 -
2.1.3 Technologičnost výstřížků	- 19 -
2.1.4 Nástřihový plán.....	- 21 -
2.2 Ohýbání	- 22 -
2.2.1 Odpružení při ohybu	- 23 -
2.2.2 Minimální a maximální poloměr ohybu	- 24 -
2.2.3 Určení velikosti polotovaru.....	- 25 -
2.2.4 Ohýbací síla a práce	- 26 -
2.2.5 Technologičnost ohýbaných součástí	- 28 -
2.3 Nástroje pro stříhání a ohýbání	- 30 -
2.3.1 Střížné nástroje.....	- 32 -
2.3.2 Ohýbací nástroje	- 35 -
2.4 Materiály nástrojů	- 36 -
2.5 Stroje	- 38 -
3 NÁVRH TECHNOLOGIE VÝROBY	- 39 -
3.1 Rozvinutý tvar součásti	- 39 -
3.2 Volba nástřihového plánu.....	- 42 -
3.3 Výpočty střížné části nástroje	- 42 -
3.4 Výpočty ohýbací části nástroje	- 44 -
3.5 Popis nástroje	- 46 -
3.6 Volba strojů	- 47 -
4 TECHNICKO-EKONOMICKÉ HODNOCENÍ.....	- 49 -
4.1 Přímé náklady.....	- 49 -
4.2 Nepřímé náklady	- 51 -
4.3 Celkové náklady.....	- 51 -
5 ZÁVĚRY.....	- 52 -

Seznam použitých zdrojů

Seznam použitých značek a symbolů

Seznam použitých obrázků

Seznam použitých tabulek

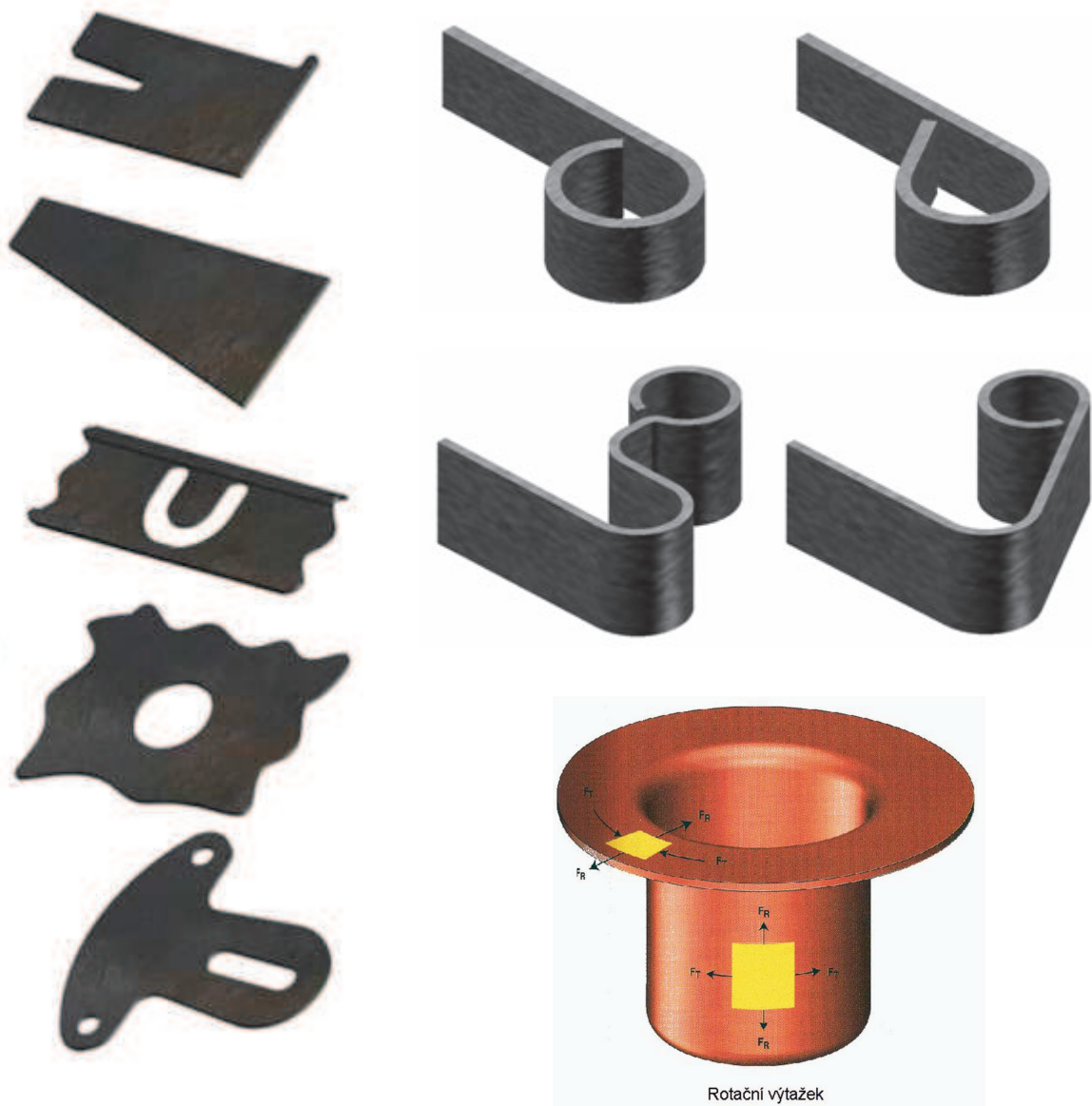
Seznam příloh

Seznam výkresů

ÚVOD [16]

V současné době je hlavním záměrem firem snižování výrobních nákladů, které se týká především zjednodušením výroby, zrychlením výrobních časů, zvyšováním automatizace. Tento požadavek nejlépe splňují objemové, zejména plošné technologie tváření.

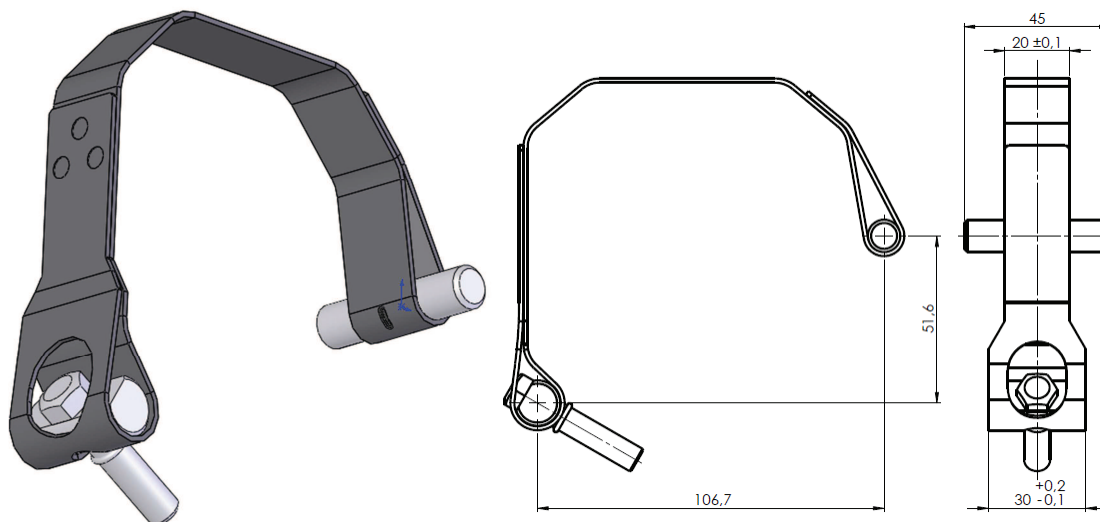
Plošné technologie tváření patří mezi nejpoužívanější a nejefektivnější metody výroby. Mezi ně se řadí například stříhání, ohýbání a tažení. Součásti jsou zhotovovány pomocí působení vnějších sil. Jedná se o beztržkové technologie. Tudíž ve srovnání s třískovým obráběním, kde třísky tvoří odpad, je u plošného tváření velká úspora materiálu. Technologie tváření jsou známy již dlouho dobu. Avšak s příchodem moderních, především počítačem řízených strojů je využito automatických výrobních linek se sdruženými nástroji. Ty v sobě kombinují více technologií, například stříhání a ohýbání. Tím dochází ke snížení počtu jednotlivých nástrojů, strojů, zrychlení výroby a snížení manuální obsluhy. Součásti vyrobené plošným tvářením mají uplatnění téměř ve všech strojírenských oblastech. Na obr. 1 jsou znázorněny některé příklady součástí vyrobených plošným tvářením.



Obr. 1 Součásti zhotovené plošným tvářením [15,16]

1 ROZBOR SOUČASNÉHO STAVU [4]

Montážní pásek znázorněný na obr. 2 slouží k uchycení ventilačního potrubí v nákladních automobilech. Pásek bude vyráběn ve výrobní sérii 120 000ks/rok. S ohledem na rozměrovou přesnost je součást vyrobitelná běžnými způsoby tváření.



Obr. 2 Montážní pásek

Na žádost zákazníka bude součást vyráběna z oceli 1.4510 (17041) o neobvykle tloušťce 1,27mm. Jedná se feritickou korozivzdornou ocel stabilizovanou titanem. Značení oceli je znázorněno v tabulce 1. Montážní pásek pracuje v prostředí, kde by mohlo dojít ke korozi, z toho důvodu je vyráběn z korozivzdorné oceli s obsahem 16 – 18% chromu. Dále je třeba, aby byla zaručená svařitelnost materiálu. Materiál má obsah uhlíku maximálně do 0,05%, tím je zaručena svařitelnost. Chemické složení oceli 1.4510 uvádí tabulka 2. Mechanické vlastnosti materiálu jsou uvedeny v tabulce 3.

Tab.1 Značení oceli 1.4510 [4]

Feritická korozivzdorná ocel stabilizovaná Ti – 1.4510		
Označení oceli	ČSN	DIN
	17 041	X3CrTi17

Tab.2 Chemické složení oceli 1.4510 [4]

Feritická korozivzdorná ocel stabilizovaná Ti – 1.4510							
Chemické složení	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ti
	max 0,05	max 1	max 1	max 0,04	max 0,015	16-18	0,15 - 0,8

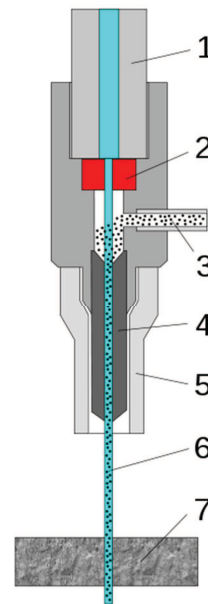
Tab.3 Mechanické vlastnosti oceli 1.4510 [4]

Mechanické vlastnosti	$R_{p0,2}$ [MPa]	R_m [MPa]	R_e [MPa]	A_5 [%]
	240	420 – 600	270	23

1.1 Výrobní možnosti [5,6,14,16,19, 20,26,]

Na výrobu součástí plošným tvářením jsou použitelné různé metody dělení materiálu. Dělí se na konvenční a nekonvenční. Mezi konvenční metody patří například stříhání. Nekonvenční metody jsou založeny na základě netradičního zdroje energie. Patří sem řezání laserem, plasmou, či vodním paprskem. K výrobě montážního pásku je třeba v prvním kroku provést střížnou, popřípadě řeznou operaci. Následujícím krokem bude ohýbání. Metody zaměřené na vystříhnutí, či vyříznutí součásti jsou:

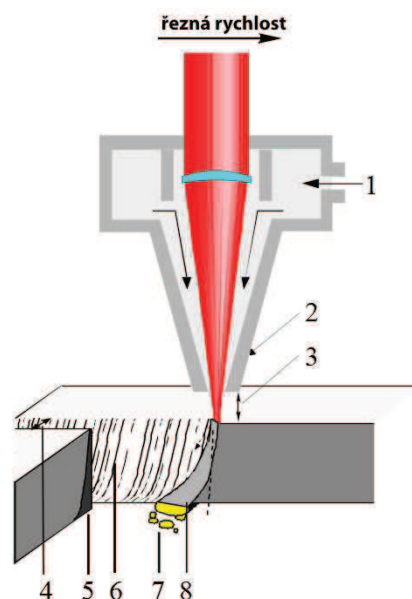
- ❖ Řezání vodním paprskem – princip řezání spočívá v obrušování děleného materiálu tlakem vodního paprsku (obr. 3), který dosahuje až 400MPa. Paprsek vzniká v hlavě zakončené tryskou. Zdrojem tlakové energie jsou speciální vysokotlaká čerpadla. Proces je stejný jako u vodní eroze, jen značně zrychlený a soustředěný do jednoho místa. Při řezání měkkých materiálů se používá čistý vodní paprsek, pro jiné případy se využívá abrazivní paprsek. Vhodným abrazivem je olivín nebo granát. Touto metodou lze dělit nejrůznější materiály, například oceli, slitiny titanu, hliníku, mědi, niklu a apod., kompozit, plast mramor, podlahové krytiny, těsnění. Výjimkou je tvrzené sklo. Při řezání tvrzeného skla, by došlo k roztržení na kousky. Při řezání nedochází k tepelnému ovlivnění materiálu tzv. studený řez. Nevýhodou je nevyhnutelný kontakt s vodou, sešikmený řez a vyšší pořizovací cena stroje.



1. Přívod technologického plynu
2. Řezací tryska
3. Pracovní vzdálenost trysky
4. Šířka řezu
5. Tepelně ovlivněná oblast
6. Stopy po paprsku laseru
7. Odtavený materiál
8. Tavenina

Obr. 4

- ❖ Řezání laserem – tepelné dělení materiálu. Univerzální metoda řezání materiálu, možnost řezat i nekovové materiály, např. dřevo, plast a jiné. Schéma řezání laserem je znázorněno na obr. 4. Nejpoužívanější lasery, kterými je možno řezat konstrukční oceli do tloušťky 20 mm jsou kontinuální CO2 lasery. Řezání laserem může být sublimační, tavné a řezání plamenem. Výhodou oproti stříhání je řezání větších tloušťek materiálu, téměř neomezený obrys součásti a malá řezná mezera. Nevýhodou je tepelně

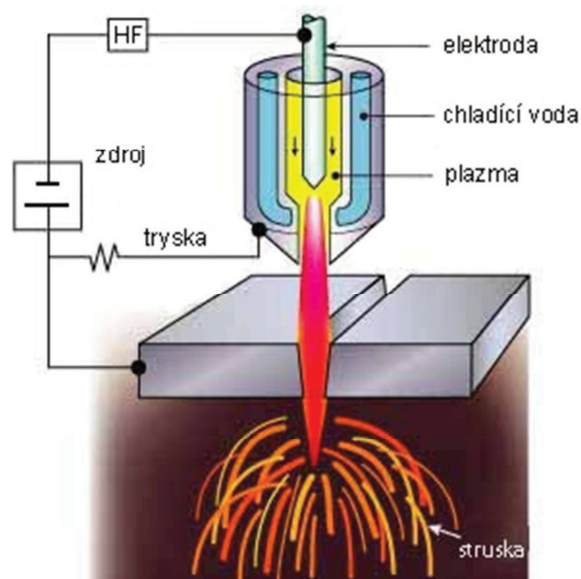


1. Vysokotlaký přívod vody
2. Rubínová či diamantová tryska
3. Abrazivo
4. Směšovací trubička
5. Držák
6. Paprsek
7. Materiál

Obr. 3 Řezání laserem [14]

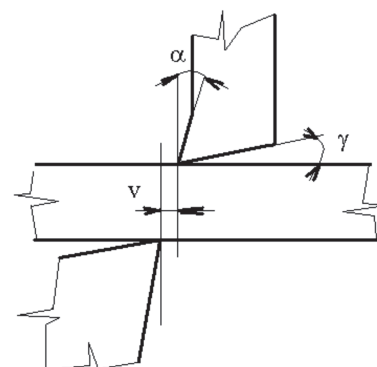
ovlivněná oblast řezaného materiálu (až 0,2mm), kvalita řezné plochy dosahuje Ra 6,3 – 12,5 provozní a investiční náklady jsou vysoké.

❖ Řezání plasmou – elektrický oblouk vzniká mezi tryskou plasmového hořáku a řezaným materiálem. Z trysky vysokou rychlostí vylétává velmi horký ionizovaný plyn (obr. 5), který je do trysky vháněn z tlakových nádob a tím dochází k řezání. Složení plynu, který proudí do trysky a je ohříván obloukem se liší dle použití. Nejčastěji používanými plyny jsou argon, vodík, dusík, kyslík a jejich směsi. Plazma dosahuje až rychlosti zvuku, a teplota plazmatu opouštějící trysku může dosahovat teplot až 20 000°C. Tryska musí být po celou dobu chlazená kolující vodou. Voda plní funkci ochrany trysky před roztečením, zabraňuje hluku a dýmu. V některých případech je řezaný materiál umístěn pod vodní hladinu. Nevýhodou je úkos na řezné hraně, širší řezná spára, zaoblení horní hrany, možnost řezat pouze elektricky vodivé materiály.



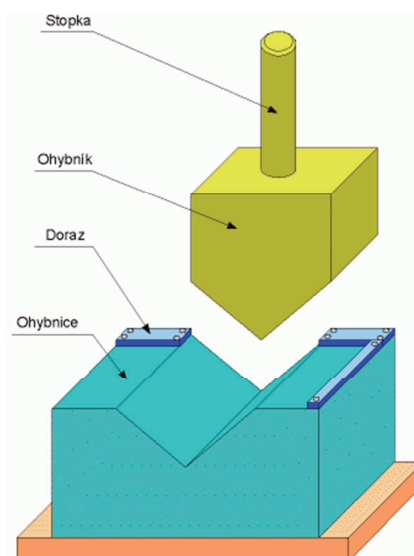
Obr. 5

❖ Stříhání – oddělování materiálu protilehlými břity nožů způsobujících smykové napětí v řezné rovině (obr. 6). Jedná se o metodu, u které nedochází k tepelnému ovlivnění materiálu. Mezi nejdůležitější faktory patří způsob stříhání, velikost střížné mezery, kvalita nástroje, vlastnosti stříhaného materiálu, atd. Kvalita a přesnost střížné plochy je dána mnoha faktory. Úpravami střížného nástroje, zvláště vhodnou volbou způsobu stříhání lze ovlivnit průběh operace, aby se zabránilo nekvalitní střížné ploše, širokému pásmu utržení a deformaci výstřížku. Nedodržení podmínek může mít za následek vylomení břitů nebo zničení celého stroje. Nevýhodou jsou vysoké nároky na velikost sil a strojů.



Obr. 6 Stříhání [19]

❖ Ohýbání – princip spočívá v trvalé deformaci materiálu, ke které dochází vlivem působení ohybového momentu od ohybové síly. K deformaci dochází mezi ohybníkem a ohybnicí (obr. 7). Napětí v krajních vláknech jsou opačného smyslu (tah, tlak). Velikost deformace je ovlivněna kvalitou materiálu, tloušťkou v místě ohybu, orientací směrem ke směru válcování. Ohýbání probíhá ve většině případů za studena u součástí z plechů, tyčí a drátů. Lze dosahovat přesných rozměrů. Nevýhodou je velké riziko vzniku trhlin.



Obr. 7

Vzhledem k vybavenosti firmy, velikosti série a vhodnosti byla zvolena technologie postupového stříhání s následným ohýbáním. Z důvodu složitosti a obsáhlosti operací vedoucích k úplné výrobě, je práce zaměřena pouze na stříhání a ohýbání.

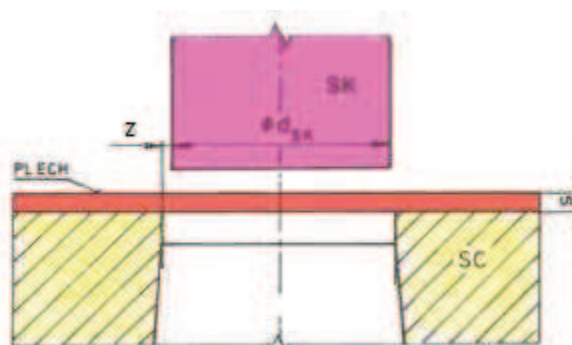
2 TECHNOLOGIE STŘÍHÁNÍ A OHÝBÁNÍ [14]

Plošné tváření, zvláště stříhání a ohýbání, jsou problematikou výrobních technologií, které vedou k výrobě zadané součásti. U plošného tváření je důraz kladen především na vliv geometrického faktoru a kvality povrchu. Dochází k získání požadovaného tvaru (převážně z plechu) za působení sil, bez podstatné změny tloušťky nebo průřezu výchozího materiálu. Výhodou je vysoká produktivita práce, vysoká produktivita práce a mechanické vlastnosti se nemění. Nevýhodou je vysoká pořizovací cena nástrojů a strojů.

2.1 Stříhání [2,3,6,7,8,15,23]

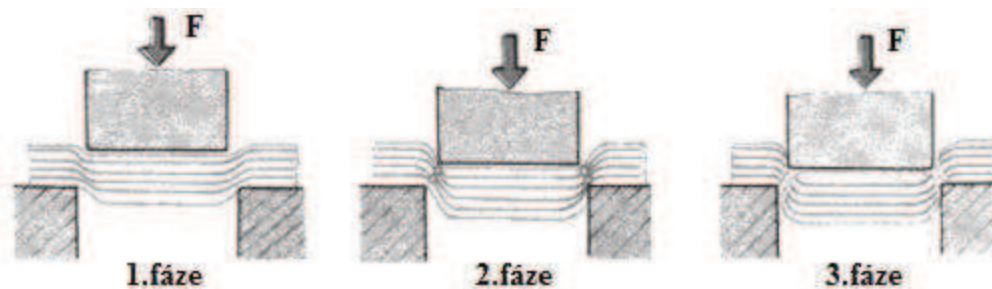
Technologie stříhání je nejrozšířenějším způsobem zpracování plechu. Princip spočívá v oddělování materiálu působením protilehlých řezných hran způsobující smykové napětí v řezné rovině, která nenastává v přesně žádaném místě. Způsobuje to tvárnost a elasticita materiálu. Střížný proces se víceméně přibližuje k čistému smyku (obr. 8). Celý průběh stříhání je rozdělen do tří fází znázorněných na obr. 9.

V první fázi dochází k pružné deformaci stříhaného materiálu. Střížník vniká do stříhaného materiálu. Velikost hloubky vniku střížníku závisí zvláště na mechanických vlastnostech materiálů a bývá 5 – 8 % jeho tloušťky. V důsledku silových dvojic, vznikajících mezi hranami střížníku a střížnice nastává nežádoucí ohyb.



SC – Střížnice, SK - Střížník

Obr. 8 Schéma stříhání [23]



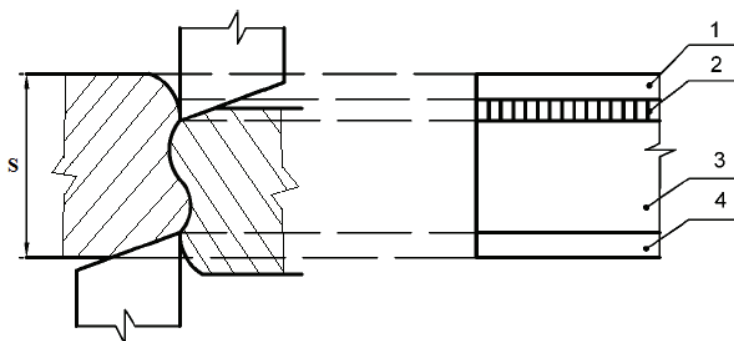
Obr. 9 Fáze při stříhání [15]

Ve druhé fázi je napětí ve směru vnikání nástroje větší než mez kluzu σ_K kovu, tím nastává trvalá plastická deformace. Podle materiálu a jeho mechanických vlastností je hloubka plastického vniknutí 10 – 25% jeho tloušťky. Na konci této fáze materiál dosahuje hodnoty pevnosti ve stříhu.

Ve třetí fázi dochází k namáhání materiálu nad mez pevnosti ve stříhu τ_S . Začíná vznik trhlinek v oblasti hran střížníku a střížnice, tzv. nástřih, tj. vznik trhlinek, které je podporováno normálovým napětím ve směru vláken. Trhlinky se rychle zvětšují, až dojde k oddělení výstřížku. Rychlost vzniku a šíření trhlinek je dáno mechanickými vlastnostmi stříhaného materiálu a velikostí střížné vůle mezi střížníkem a střížnicí $v = 2z$.

Popsané tři fáze zanechají na materiálu střižnou plochu, která vznikne důsledkem vnikání střižných hran střižníku a střižnice. Typický tvar střižné plochy je znázorněn na obr. 10.

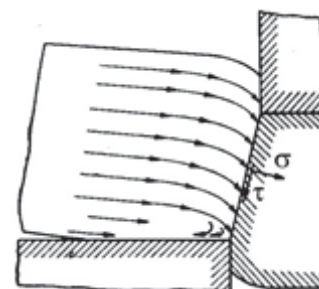
- pásmo zaoblení (elastická deformace) – (5 – 8%) tloušťky materiálu, oblast pružné deformace
- pásmo vlastního stříhu – (10 – 25%) tloušťky materiálu, oblast plastické deformace
- pásmo utržení – Nejširší oblast střižné plochy. S tvrdostí a křehkostí materiálu dochází ke zvětšování šířky pásma, až dojde k úplnému oddělení materiálu
- pásmo otláčení – otláčení od spodního nože, v závislosti na velikosti střižné vůle a vlastnostech stříhaného materiálu může dojít v pásmu otláčení ke vzniku ostřin



1. Pásmo zaoblení
2. Pásmo vlastního stříhu
3. Pásmo utržení
4. Pásmo otláčení

Obr. 10 Střižná plocha [15]

Střižný odpor je schopnost materiálu se bránit proti svému oddělení. Závisí na mnoha činitelích, například na vlastnostech stříhaného materiálu a jeho tloušťce, tvaru, křivce stříhu, střižná vůle, konstrukci nástroje, podmínkách stříhání. Jeho velikost určují vlastnosti stříhaného materiálu. S narůstající tvrdostí a zmenšující se tvárností materiálu roste střižný odpor. K jeho snižování dochází s narůstající tloušťkou materiálu a s narůstající velikostí křivky stříhu. Velký vliv má také střižná vůle. Při optimální vůli se dá dosáhnout nejnižších hodnot střižného odporu. Hloubka vniku střižníku do stříhaného materiálu do okamžiku tvorby nástříhu h_s je vhodným ukazatelem tvárnosti stříhaného materiálu. Poměrné hloubky vniku střižníku do materiálu h_s/s jsou uvedeny v tabulce 4. Značný vliv udávají střižné podmínky, tzn. rychlost stříhání, velikost mazání, tření, chlazení, stav střižných hran nástroje. Například při mazání střižný odpor klesá, a naopak s rostoucí rychlostí stříhu roste. Schéma přemístování materiálu znázorněno na obr. 11, kde je v určitém místě $\tau = 0$, v tomto místě nedochází k posunutí.



Obr. 11 Průběh napětí na střižnici [2]

Tab.4 Poměrná hloubka vniku [2]

Stříhaný materiál	Tloušťka materiálu s [mm]			
	< 1	1 - 2	2 - 4	> 4
Ocel (do 350MPa)	0,75 – 0,7	0,7 – 0,65	0,65 – 0,55	0,5 – 0,4
Ocel (do 500MPa)	0,65 – 0,6	0,6 – 0,55	0,55 – 0,48	0,45 – 0,35
Ocel (do 700MPa)	0,5 – 0,47	0,47 – 0,45	0,44 – 0,38	0,35 – 0,25
Měď, hliník	0,8 – 0,75	0,75 – 0,7	0,7 – 0,6	0,65 – 0,6

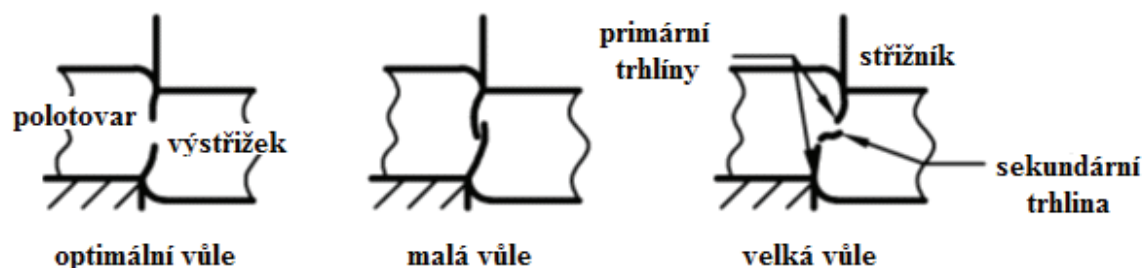
Vlivem rozdílného působení mnoha činitelů je přesné stanovení velmi obtížné. V praxi však stačí jeho přibližná hodnota, která je dána vztahem:

$$k_s = \frac{F_{stř}}{S_S} \quad [N \cdot mm^{-2}], \quad (2.1)$$

kde: $F_{stř}$... střižná síla [N]
 S_S ... plocha stříhu [mm²]

2.1.1 Střižná vůle [1,2,3,6,16,17,19]

Rozdíl mezi pracovní částí střižnice a střižníku se nazývá střižná vůle. Její polovina se nazývá střižná mezera. Při optimální vůli se trhlínky od střižných hran setkají a tím dochází k dělení materiálu (obr. 12), při použití minimální střižné síly. Ke snižování kvality střižné plochy dochází při malé či velké střižné vůli.



Obr. 12 Vliv střižné vůle na tvorbu střižné plochy [19]

Velký význam má střižná vůle na trvanlivost stříhadla. Velikost střižné vůle se určuje z normogramu (příloha 1). Střižná mezera musí být stejná a rovnoměrná ve všech místech křivky stříhu. V první řadě je její velikost závislá na druhu a tloušťce stříhaného materiálu. Zmenšování střižné mezery vede k nárůstu střižné síly a práce. Přírůstek střižné síly je zanedbatelný, ale přírůstek střižné práce je velký a může být až 40%.

Vzhledem k požadovanému rozměru výstřížku se volí střižná vůle na úkor střižnice a střižníku. Střižná vůle při děrování vzniká zvětšováním rozměru střižnice, naopak je tomu při stříhání vnějšího obvodu, kde je dána zmenšováním rozměru střižníku.

Při nestejném rozložení střižné vůle vznikají po obvodu materiálu povrchové vady a ostřiny – střižná plocha není kvalitní. Jsou-li břity funkčních částí tupá, dochází též k povrchovým vadám. Střižná vůle se obvykle stanoví v % tloušťky stříhaného materiálu.

Pro různé materiály lze nalézt velikost střižné vůle v tabulkách či normách.

Určení střižné vůle:

$$v = 2 \cdot z \quad [mm], \quad (2.2)$$

kde: z – střižná mezera [mm]

Pro materiál tloušťky $s \leq 3mm$

$$v/2 = z = 0,32c \cdot s \cdot \sqrt{\tau_{ps}} \quad [mm] \quad (2.3)$$

Pro materiál tloušťky $s > 3mm$

$$v/2 = z = 0,32 \cdot (1,5 \cdot c \cdot a - 0,0015) \cdot \sqrt{\tau_m} \quad [mm], \quad (2.4)$$

kde: c – (0,005 – 0,035) součinitel závislý na kvalitě stříhání, lepší střižná plocha = menší hodnoty, menší střižná síla = vyšší hodnoty

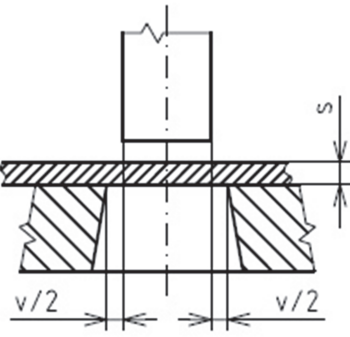
τ_{ps} - pevnost ve stříhu stříhaného materiálu [MPa]

v – střižná vůle [mm]

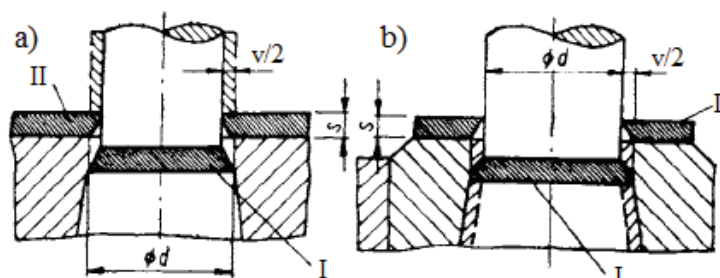
s – tloušťka materiálu [mm]

Čím tlustší a měkčí materiály jsou stříhány, tím menší vůle se volí. S rostoucí tvrdostí a tloušťkou stříhaného materiálu se velikost střížné vůle zvětšuje. Menších vůlí se oproti normálnímu stříhání používá u dostřihování, a přesném stříhání. Velikost střížné vůle se během stříhání vlivem opotřebení nástroje mění, zhotovují se nové nástroje s minimální střížnou vůlí. Velikost střížné vůle lze orientačně určit dle tabulky 5.

Tab.5 Velikost střížné vůle [3]

	Druh materiálu	Střížná vůle (% s)	
		do 2,5 mm	2,5 - 6 mm
	Ocel měkká	5	7 - 8
	Ocel středně tvrdá	6	6 - 8
	Ocel tvrdá	7- 9	7 - 10
	Hliník	4 - 7	5 - 9
	Dural	7 - 8	7 - 10
	Měď měkká	4 - 5	5 - 6
	Měď tvrdá	6 - 7	6 - 7
	Papír, lepenka	2 - 3	3

U vystřihování znázorněného na obr.13a, je výrobkem výstřížek, kde je součást označená „I“ a odpad označený „II“. Rozměr se získá podle rozměru střížnice, z toho důvodu se technologická střížná vůle konstruuje na úkor střížníku, který je o příslušnou vůli menší.

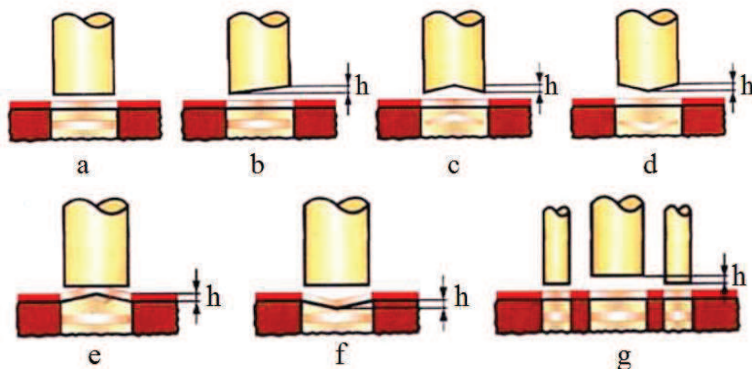


Obr. 13 Schéma střížné vůle [19]

Při děrování znázorněného na obr.13b je otvor výrobkem a výstřížek odpadem, kde součást má označení „II“ a odpad označení „I“, dostává vystřihovaný otvor svoje rozměry od střížníku. Technologická střížná vůle je konstruována na úkor rozměru otvoru střížnice.

2.1.2 Střížná síla a práce [1,2,3,13,15,16,17,19]

Na výrobu výstřížku je potřeba znát průběh a velikost střížné síly, z důvodu volby vhodného stříhadla a lisu. Při stříhání nesmí být překročena jmenovitá síla lisu. Při jejím překročení by mohlo dojít k poškození lisu. Síla se v průběhu pracovního zdvihu mění. Součin střížné plochy a střížného odporu určuje velikost střížné síly. U křehkých materiálů k ustřížení materiálu dochází již po nepatrném proniknutí střížníku do materiálu. U měkkých materiálů k ustřížení dochází až po hlubším průniku střížníku. Při stříhání nedochází k čistému stříhu, ale ke kombinovanému namáhání. Z důvodu přidavných napětí se uvažuje síla o 20 – 50% větší. Velikost střížné síly se dá ovlivnit úpravou střížných hran znázorněných na obrázku 14. Úprava střížníků se provádí také v případě dlouhých tvarových stříhů, kde by docházelo ke značným rázům, zvlnění materiálu a rychlejšímu otupení nástrojů. Tvarovou úpravou nástroje lze dosáhnout snížení střížné síly o 30 - 40%.



- a) přímý stříh
 b) pro pravoúhlé výstřížky při jednostranném zkosení
 c,d,e,f) pro pravoúhlé výstřížky při oboustranném zkosení
 g) stupňovitě uspořádané výstřížky pro postupné stříhání

Obr. 14 Úprava střížných hran ke zmenšení střížné síly [19]

Výpočet střížné síly je založen na materiálových vlastnostech, chování výstřížku po oddělení, a kvalitě střížné hrany.

Pro výpočet střížné síly lze napsat vztah:

$$F_S = n_s \cdot O \cdot s \cdot \tau_s \quad [N], \quad (2.5)$$

kde: $n_s = (1,1 - 1,3) \dots$ koeficient, zahrnuje vliv vnějších podmínek stříhání, nerovnoměrnost napjatosti, tloušťky, zhoršení kvality hran [-]

$O \dots$ střížný obvod

[mm]

$\tau_s \dots$ napětí ve stříhu ($\tau_s = 0,8 \cdot R_m$)

[MPa]

(2.6)

Pro výpočet síly potřebné k setření materiálu platí vztah:

$$F_u = k_{eu} \cdot F_S \quad [N], \quad (2.7)$$

kde: $k_{eu} \dots$ koeficient, závisí na druhu střížných nástrojů a druhu stříhaného materiálu ($k_{eu} = 0,1 - 0,13$ pro ocel)

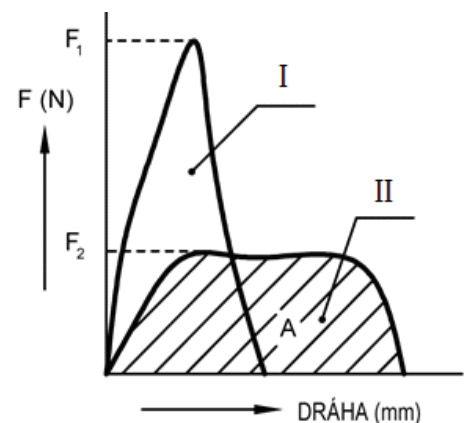
Výpočet síly potřebné pro vysunutí výstřížku ze střížnice:

$$F_v = k_{ev} \cdot F_S \cdot n \quad [N], \quad (2.8)$$

kde: $k_{ev} \dots$ koeficient, závisí na tloušťce a druhu stříhaného materiálu ($k_{ev} = 0,05$ pro ocel)

$n \dots$ počet výstřížků ve válcové části střížnice

Práce potřebná k vystřížení součásti je přímo úměrná střížné síle a hloubce vtažení střížníku. Střížná práce je dána plochou pod křivkou znázorňující průběh síly v závislosti na střížné dráze. Z obr. 15 vyplývá, že při stříhání materiálu stejné tloušťky a délce stříhu, při stříhání rovnoběžnými noži znázorněná na (obr. 15-I) je střížná síla větší než při stříhání skloněnými noži (obr. 15-II), při zachování střížné práce. Stříhaný materiál má určitou pevnost a toleranci, tak výpočet střížné práce nebude zcela přesný. Z toho důvodu je potřeba počítat s jistou rezervou. Rezerva může být až 10%. V případě použití stírače či odpruženého vyhazovače, u kterého musí být síla navýšena o sílu potřebnou ke stlačení pružin, se rezerva dává obvykle až 20%.



Obr. 15 Průběh síly a dráhy při stříhání [15]

Střížná práce se vypočítá následujícím vztahem:

$$A = \frac{k \cdot F_S \cdot s}{1000} [J], \quad (2.9)$$

kde: A – střížná práce [J]

s – tloušťka materiálu [mm]

k – koeficient (0,4 – 0,7), závisí na tloušťce a druhu materiálu (přesnější hodnoty, viz tabulka 6)

Pro běžnou velikost střížné vůle platí údaje koeficientu hloubky vtláčení v tabulce 6. U malých střížných vůlí se součinitel hloubky vtláčení zvětšuje.

Tab.6 Hodnoty koeficientu „k“ [2]

Stříhaný materiál	Tloušťka materiálu s [mm]			
	< 1	1 - 2	2 - 4	> 4
Ocel (do 350MPa)	0,7 – 0,65	0,65 – 0,6	0,6 – 0,5	0,45 – 0,35
Ocel (do 500MPa)	0,6 – 0,55	0,55 – 0,5	0,5 – 0,42	0,4 – 0,4
Ocel (do 700MPa)	0,45 – 0,42	0,42 – 0,38	0,38 – 0,33	0,3 – 0,2
Měď, hliník	0,75 – 0,7	0,7 – 0,65	0,65 – 0,55	0,5 – 0,5

2.1.3 Technologičnost výstřížků [2,3,13]

Soubor prvků zaručující nejvhodnější a nejehospodárnější výrobu výstřížků je označován jako technologičnost výroby. Volba technologie výroby lze shrnout do řady hledisek:

- tvar součástí vyráběných pouze stříháním, je stříhán v postupových nástrojích v jedné nebo více řadách. Polotovarem je přístřih (pás) nebo svitek, umožňující ruční či automatické podávání
- počet a sled střížných a ostatních operací na součásti vyráběné ve více operacích, například stříh, ohyb, tah, se zařazuje na první místo stříhání, sloužící k vystřížení otvoru funkčních či technologických (pro hledáčky, atd.)
- jako polotovar lze použít pás či svitek, mimo to lze i zpracovatelný odpad. V případě použití svitku nebo pásu se volí technologie výroby v postupových či sloučených nástrojích v jedné nebo více řadách vedle sebe
- sériovost je značně ovlivněná použitou technologií. Pro malé série – nástroje jednoduché, jednooperační, bez mechanizace. U více operačních dílů je možno spojovat jednooperační nástroje s univerzálními dopravními systémy. Pro velké série – postupové nástroje, popřípadě postupově sdružené, kde velikost dávky se většinou rovná životnosti nástroje mezi dvěma ostřeními
- ke snížení pracnosti je používáno postupových a postupových sdružených nástrojů s mechanickým podáváním, popřípadě řady jednooperačních nástrojů spojených transferovou linkou, u které stačí k obsluze menší počet pracovníků. Řada technologií snižujících pracnost není pouze v lisovně, ale zvláště v tepelném zpracování, svařování, povrchových úpravách. Zde jsou úspory značné, i kvalita výrobku je vyšší
- kvality střížné plochy lze dosáhnout za předpokladu dosažení změny napěťových a deformačních stavů v plastické oblasti (přesné stříhání). Dále dvoufázovým tvářením, kdy po stříhu následuje třískové obrábění.

Hlavní ukazatele technologičnosti výroby:

- nejmenší počet operací, zvláště těch pracných
- nejmenší množství potřebných strojů
- nejnižší pořizovací náklady na nářadí
- dostatečná živostnost nářadí
- vysoká produktivita práce
- nízká kvalifikace pracovníků.

Splnění těchto požadavků zaručuje technologičnost a hospodárnost výroby. Úspěch je ovšem založen také na dokonale vypracovaném technologickém postupu. Z důvodu vysokých nákladů na nástroje, je potřeba technologický postup vypracovat pečlivě.

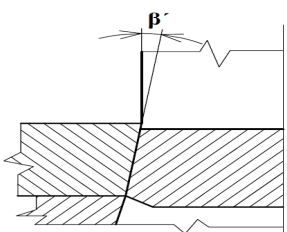
U běžného způsobu stříhání se nedosahuje zvláštní kvality povrchu. Povrch výstřížku bývá s mírně zkosenou hranou, drsným povrchem a ostřinou. V oblasti kolem čáry stříhu dochází ke zpevnění materiálu. Při stříhání se obvykle dosáhne střední aritmetické úchytky povrchu $R_a = 3,2 - 6,3$. Přesnost a kvalita povrchu při stříhání závisí na:

- vlastnostech stříhaného materiálu
- velikosti střížné mezery
- druhu a stavu nástroje
- charakteru geometrického tvaru stříhaného obrazce
- kvalitě povrchu a přesnosti činných částí střížníku a střížnice.

Střížná mezera značně ovlivňuje hloubku nerovnosti plochy stříhu. S rostoucí velikostí střížné mezery také narůstá velikost nerovnosti plochy. Dalším ovlivňujícím faktorem kvality je tvar střížné plochy. S rostoucí velikostí střížné mezery a malou tvárností materiálu klesá zaoblení hrany.

U pozitivního zakřivení stříhaného tvaru je zaoblení větší než u negativního zakřivení. Při velkém negativním zakřivení můžou být u materiálů s velkou tvárností a normální střížnou vůlí místa usmyknutí zcela odstraněna. Tabulka 7 udává velikost úhlu usmyknutí v závislosti na kvalitě stříhaného materiálu.

Tab.7 Úhel usmyknutí β' ocelových materiálů při stříhání [3]

Úhel usmyknutí β'		
	Druh oceli	Úhel (°)
	Měkká ocel	5 – 6
	Středně tvrdá ocel	4 – 5
	Tvrdá ocel	4

Na střížné ploše při stříhání vznikají ostřiny. Dle stavu střížných elementů je ovlivněna výška ostřin. Dále jsou ostřiny závislé na rychlosti stříhání – čím větší rychlost stříhání, tím menší výška ostřin. Stříhání bez ostřin je technicky nemožné.

Kolem čáry stříhu nastává zpevňování materiálu, které je významnou složkou střížného procesu. Kov v pásmu stříhu zvyšuje odpor vůči pokračování plastické deformace a dochází ke zpevnění. Tím nastává změna mechanických vlastností materiálu, které se projeví zvýšením pevnosti, meze kluzu a snížením tažnosti.

2.1.4 Nástřihový plán [13,15]

Při stříhání je velmi důležité rozmístit výstřižky tak, aby byl co nejmenší odpad materiálu. Odpad je nedílnou součástí stříhání. Na rozmístění výstřižků je kladen velký důraz, protože materiál tvoří zhruba 70% celkových nákladů. Při volbě nástřihových plánů je kladen důraz zvláště na:

- úsporu materiálu - hlavním hlediskem při volbě nástřihového plánu je úspora materiálu. Využívá se víceřadých nástřihových plánů, šikmých nástřihů, jednořadým střídáním a podobně. Velikost odpadu při u jednořadého nástřihu dosahuje průměrně 21%, třířadý nástřih 14%, šestiřadý nástřih 12%. Ovšem s víceřadým nástřihem vzrůstá cena a údržba nástrojů, tonáž lisu a klesá jednotkový čas. Velký význam na využití materiálu má stříhání bez bočních můstek, při zachování přírodních hran pásů a svitků. Při návrhu šířky pásu se u řady součástí vychází z volné míry, u které se přidávají dvě šířky můstek. Volné míry součásti umožňují stříhat součásti z pásů bez postranních můstek.
- úsporu pracnosti - požadavek snížení pracnosti vede k nástřihovým plánům, u kterých je součást udržována v pásu co nejdéle a k uvolnění součásti probíhá v předposledním či posledním kroku.
- napětovou vyváženost při následných operacích - nástřihový plán musí brát v úvahu následující operaci. U tvarově složitých součástí, zvláště v případě, kdy následuje tažení, musí deformace probíhat pouze z okraje (zmenšování příruby) nebo z volných povrchů uvnitř plechu.
- mechanizovatelnosti procesu – nejčastěji souvisí se stříháním do řetízku. Tímto uspořádáním je dovolen snadný transport materiálu, snadná manipulace s materiálem.

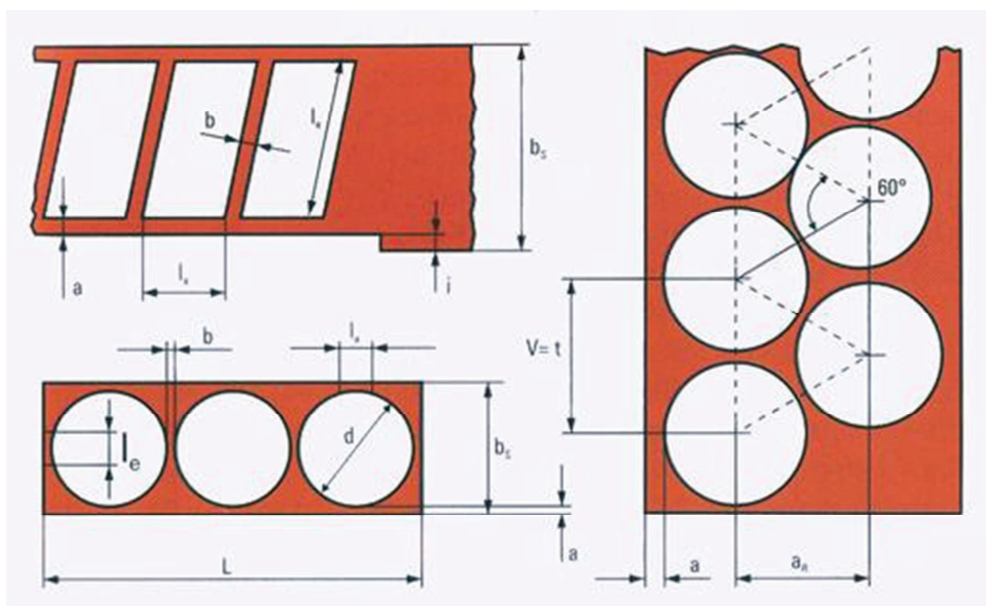
Součinitel využitelnosti materiálu charakterizuje hospodárnost stříhání, lze určit z následujícího vztahu:

$$\eta = \frac{S_o}{S_p} \cdot 100 \quad [\%], \quad (2.10)$$

kde S_o ... celková plocha výstřižků [mm^2]

S_p ... plocha pásu plechu [mm^2]

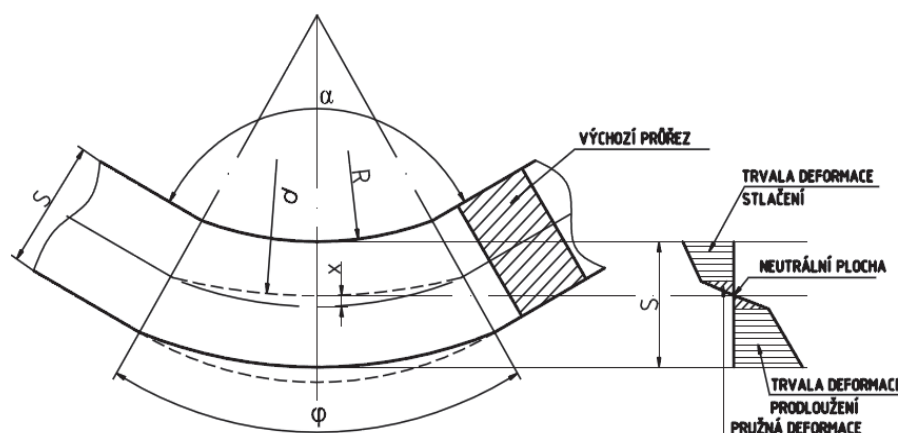
Příklady nástřihových plánů jsou znázorněny na obr.16



Obr. 16 Příklady nástřihových plánů [15]

2.2 Ohýbání [1,6,7,8,13]

Ohýbání je technologická operace, neboli trvalé přetvoření materiálu, při kterém se vlivem lokálních sil nebo ohybových momentů součást z plechů, pásů, tyčí buď rovná, nebo ohýbá. Při ohýbání dochází k pružně-plastické deformaci materiálu.



Obr. 17 Rozložení a velikost napětí v materiálu [15]

Ohýbáním se zmenšuje poloměr zakřivení až do minimální přípustné hodnoty mezní deformace za studena, nebo se poloměr zakřivení zvětšuje a dochází k rovnání. U tvrdých a křehkých materiálů dochází k ohýbání kovářskými způsoby za tepla. Kvalita materiálu, tloušťka v místě ohybu, poloměr ohybu, orientace ohybu vzhledem k válcování jsou faktory ovlivňující velikost deformace při ohýbání.

Charakteristickým znakem ohýbání je změna tvaru plochy ohýbané součásti tzv. neutrální plocha. Napětí v oblasti neutrální plochy mění svoji velikost skokem (+, -). Důsledkem změny průběhu napětí tlakového a tahového při ohýbání je i deformace v příčném průřezu znázorněná na obr. 17.

Při ohybu dochází k posunutí neutrální osy směrem k vnitřnímu poloměru. Velikost posunutí je závislá na relativním poloměru zaoblení ohýbací čelisti r/s a úhlu α . Tabulka 8 udává velikost posunutí neutrální osy vztahenou k tloušťce ohýbaného pásu.

Tab.8 Posunutí neutrální osy [1]

Mez pevnosti R_m [MPa]	poměr r_1/s											
	0,1	0,2	0,25	0,3	0,4	0,5	0,6	0,8	1,0	1,2	1,5	2,0
do 400	0,25	0,30	0,32	0,34	0,36	0,37	0,38	0,40	0,41	0,42	0,44	0,45
nad 400									0,35	0,36	0,37	0,38
Mez pevnosti R_m [MPa]	poměr r_1/s											
	3,0	4,0	5,0	6,0	7,0	8,0	9,0	10	11	12	13	15
do 400	0,46	0,47	0,48	0,49		0,50						
nad 400	0,40	0,42	0,43	0,44	0,45	0,46	0,47	0,48	0,49			

2.2.1 Odpružení při ohybu [1,6,7,8]

Významným průvodním jevem při ohýbání je odpružení. Při ohýbání dochází k odpružení, znázorněným na obr. 18, které způsobuje změnu rozměru, která neodpovídá rozměrům daným nástrojem. Ohyb je pružně-plastickou deformací materiálu, při kterém nedochází k překročení meze pevnosti. Po odlehčení zatížení se projeví pružná deformace a tím dochází ke změně úhlu ohybu. Velikost odpružení β je rozdíl mezi požadovaným úhlem α_1 a skutečným úhlem ohybu α_2 .

Na velikost úhlu odpružení má vliv:

- druh ohýbaného materiálu – jeho pružné vlastnosti
- poloměr ohybu – s rostoucím poloměrem ohybu roste i úhel odpružení
- tloušťka ohýbaného materiálu – s rostoucí tloušťkou materiálu klesá úhel odpružení
- úhel ohybu – s rostoucím úhlem ohybu roste i úhel odpružení
- použitá technologie – vhodnou technologií lze úhel eliminovat
- anizotropie materiálu – úhel odpružení při ohýbání ve směru válcování je rozdílný než při ohýbání ve směru kolmém na směr válcování.

Z diagramu odpružení na obr. 19 lze orientačně stanovit velikost odpružení. Výpočtem lze stanovit úhel odpružení následovně:

- při ohýbání do tvaru „V“

$$\beta = \operatorname{arctg} 0,0375 \cdot \frac{l_V}{(1-x) \cdot s} \cdot \frac{R_e}{E} [\text{rad}] \quad (2.11)$$

- Při ohýbání do tvaru „U“

$$\beta = \operatorname{arctg} 0,075 \cdot \frac{l_U}{(1-x) \cdot s} \cdot \frac{R_e}{E} [\text{rad}] \quad (2.12)$$

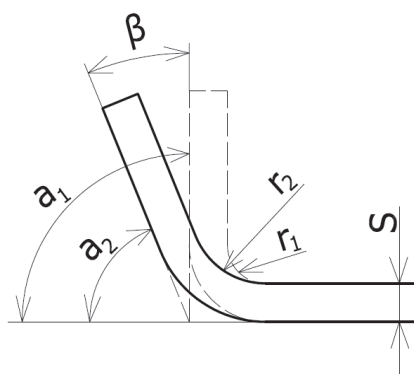
kde: l_V ... vzdálenost mezi podpěrami při ohybu do „V“ [mm]

l_U ... vzdálenost mezi podpěrami při ohybu do „U“ [mm]

x ... koeficient posunutí neutrální osy [-]

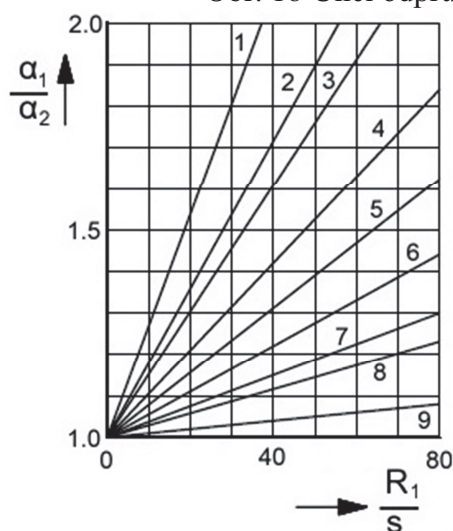
R_e ... mez kluzu [MPa]

E ... modul pružnosti v tahu [MPa]



- r_1 – požadovaný poloměr po ohýbání
- r_2 – poloměr ohybu po odpružení
- s – tloušťka materiálu
- α_1 – požadovaný úhel po ohýbání
- α_2 – úhel ohybu po odpružení
- β – úhel odpružení

Obr. 18 Úhel odpružení [1]



- 1 – 42 4203.6
- 2 – 42 4451.6
- 3 – 19 152
- 4 – 42 3222.5
- 5 – 13 180
- 6 – 12 041
- 7 – 12 024
- 8 – 12 020
- 9 – 42 4057.1

Obr. 19 Diagram pro určení úhlu odpružení [2]

2.2.2 Minimální a maximální poloměr ohybu [1,6,8]

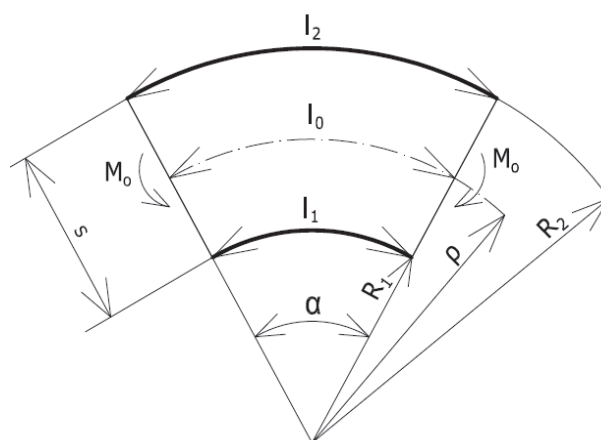
Pružně plastický ohyb lze provádět až do minimálního poloměru ohybu R_{\min} . Dalším zmenšováním poloměru ohybu dojde k porušení na vnější tahové straně. Rozhodujícím faktorem ohýbání je tečné napětí v krajních vláknech. Dosažením meze pevnosti v tahu dojde k porušení lomem.

Minimální poloměr ohybu R_{\min} je závislý na:

- plastičnosti (zpevněný, žíhaný)
- anizotropii použitého materiálu
- způsobu ohýbání
- šířce a tloušťce ohýbaného materiálu
- úhlu ohybu
- kvalitě povrchu

Ohyb je zásadně potřeba provádět napříč směru vláken v polotovaru. Do ohýbacího nástroje je třeba zakládat výstřižky tak, aby ostříny, které vznikly při stříhání, byly na vnitřní straně ohybu (při ohybu musí být stlačovány, ne roztahovány). V důsledku intenzivního deformačního zpevnění dochází u málo plastických materiálů ke vzniku trhlin. Aby se zamezilo vzniku trhlin, je třeba zařadit vhodné tepelné zpracování (žíhání). Hodnot R_{\min} se v praxi užívá jen v nutných případech. Zpravidla se berou hodnoty o 20% větší než R_{\min} .

Podle schématu na obr. 20 vyvolá napětí v krajních vláknech trvalou poměrnou deformaci $\varepsilon_{1\max}$.



Obr. 20 Deformační schéma ohybu [8]

$$\varepsilon_{1\max} = \frac{l_2 - l_0}{l_0} = \frac{R_2 \cdot \alpha - \rho_n \cdot \alpha}{\rho \cdot \alpha} = \frac{(R_{1\min} + s) - (R_{1\min} + \frac{s}{2})}{(R_{1\min} + \frac{s}{2})} \quad (2.13)$$

$$= \frac{s}{2 \cdot R_{1\min} + s} \quad [-],$$

- kde: l_0 ... délka neutrální vrstvy [mm]
 l_1 ... délka stlačeného vlákna [mm]
 l_2 ... délka prodlouženého vlákna [mm]
 R_1 ... poloměr ohybu stlačeného vlákna [mm]
 R_2 ... poloměr ohybu prodlouženého vlákna [mm]
 α ... úhel vybraného elementu [mm]
 ρ ... poloměr ohybu neutrální vrstvy [mm]

Vyjádření minimálního poloměru je dán úpravou vzorce (3.3)

$$R_{1\min} = \frac{s}{2} \left(\frac{1}{\varepsilon_{1\max}} - 1 \right) = c \cdot s \quad [mm], \quad (2.14)$$

kde: c ... součinitel, dle technologických podkladů, viz tabulka 9

Tab.9 Hodnoty součinitele c pro různé materiály [8]

Materiál	měkká ocel	měkká mosaz	hliník	dural	měkká měď
Součinitel c	0,5 až 0,6	0,3 až 0,4	0,35	3 až 6	0,25

Maximální poloměr ohybu R_{max} je dán nutností, aby v krajních vláknech ohýbaného materiálu došlo k nevratné - trvalé deformaci. V ostatních případech, kdy dojde pouze k elastické deformaci, by se ohýbaný pás opět narovnal.

Kritická poměrná deformace na mezi kluzu lze vyjádřit z Hookova zákona a z rovnice (2.13).

$$\varepsilon_{1min} = \frac{\sigma_k}{E} = \frac{s}{2 \cdot R_{1max} + s} [-], \quad (2.15)$$

kde: σ_k ... mez kluzu [MPa]

Stanovení maximálního poloměru ohybu na vnitřním poloměru vychází z rovnice (2.15)

$$R_{1max} = \frac{s}{2} \left(\frac{E}{\sigma_k} - 1 \right) [mm] \quad (2.16)$$

2.2.3 Určení velikosti polotovaru [1,2]

U výpočtu délky polotovaru se vychází z délky neutrální vrstvy, protože její délka se při ohýbání nemění. Stanovení délky výchozího polotovaru pro ohýbání je znázorněno na obr. 21. Všechny výlisky vyráběné ohýbáním je možné rozdělit na:

- rovné úseky – na těchto úsecích je délka stejná, proto se nemusí počítat, a může se rovnou odečítat z výkresu
- ohýbané úseky – na těchto úsecích se musí vypočítat délka neutrální vrstvy, která vychází z poloměru neutrální vrstvy.

Délka výchozího polotovaru pro součást vyráběnou ohýbáním s různými druhy ohybu se určí následujícím postupem:

- určení poloměru ohybu neutrální osy v místě ohybu

$$r_{ni} = r_{oi} + x_i \cdot s [mm], \quad (2.17)$$

kde: r_{ni} ... poloměr ohybu neutrální vrstvy v i-tém místě ohybu [mm]

r_{oi} ... poloměr ohybu v i-tém místě ohybu [mm]

x_i ... koeficient posunutí neutrální osy v i-tém místě ohybu [-]

Poloměr neutrální vrstvy v i-tém místě ohybu lze určit dle vztahu

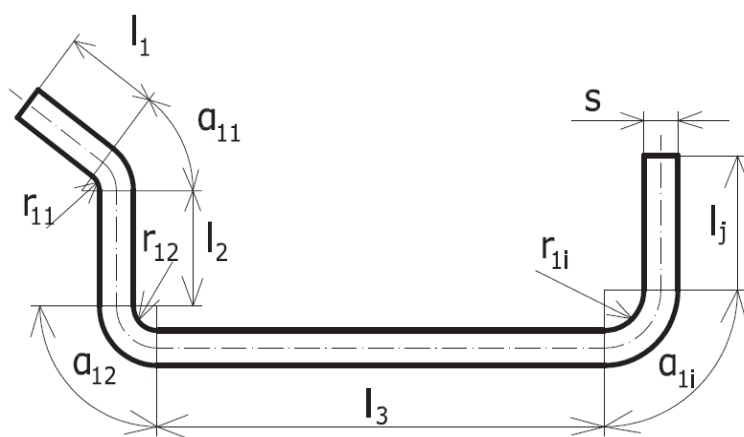
$$r_{ni} = \sqrt{R_i \cdot r_{oi}} [mm], \quad (2.18)$$

kde: R_i ... vnější poloměr v i-tém místě ohybu ($R_i = r_{oi} + s$) (2.19)

- určení délky neutrální osy v místě ohybu

$$l_{ni} = \frac{2\pi}{360} \cdot \alpha_i \cdot r_{ni} = \frac{\pi}{180} \cdot \alpha_i \cdot (r_{oi} + x_i \cdot s) [mm] \quad (2.20)$$

kde: α_i ... úhel ohybu na výlisku v i-tém místě ohybu [°] (obr. 21)



Obr. 21 Určení délky polotovaru při ohýbání [1]

- určení délky polotovaru jako součet rovných a ohýbaných úseků

$$L_{pol} = \sum_{i=1}^n l_{ni} + \sum_{j=1}^k l_j \quad [mm], \quad (2.21)$$

kde: l_{ni} ... délka neutrální vrstvy v i-tém místě [mm]

l_j ... délka j-tého rovného úseku na výlisku [mm]

n ... počet míst ohybu [-]

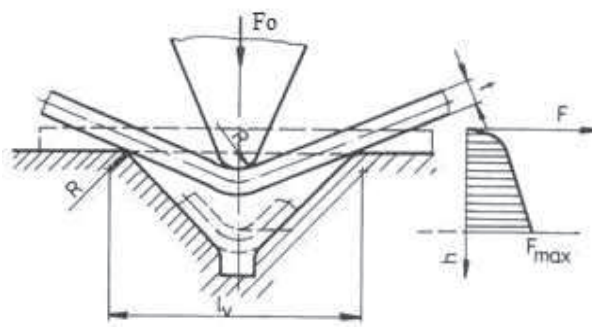
k ... počet rovných úseků [-]

2.2.4 Ohýbací síla a práce [1,2,6]

Ohýbání probíhající na ohýbadlech v lisech, nebo ohýbání na ohraňovacích lisech můžeme rozdělit na ohýbání do „V“ a na ohýbání do „U“. Při výpočtu ohýbací síly se vychází z rovnosti ohybového momentu od vnitřních sil a ohybového momentu od vnějších sil.

- ❖ Určení ohýbací síly a práce při ohybu do tvaru „V“

V tomto případě je ohýbaný materiál považovaný jako nosník na dvou podpěrách ve vzdálenosti „ l_V “, na který uprostřed působí zatěžující síla F_0 . Ohýbací síla je zvětšena třením polotovaru o funkční části ohýbadla až o $1/3 F_0$. Ohýbání do tvaru „V“ je znázorněno na obr. 22.



Obr. 22 Ohýbání do tvaru „V“ [15]

Ohybový moment od vnějších sil (tření, kalibrovací a vyrovnávací síly jsou zanedbány) se určí následujícím vztahem:

$$M_{ov} = \frac{F_{0V}}{2} \cdot \frac{l_V}{2} \quad [N \cdot m], \quad (2.22)$$

kde: F_{0V} ... velikost ohýbací síly, při ohýbání do tvaru „V“ [N]

l_V ... vzdálenost mezi dvěma podpěrami [mm]

Ohybový moment vnitřních sil je dán vztahem:

$$M_{ovn} = \sigma_0 \cdot W_{opl} = R_m \cdot C \cdot \frac{b \cdot s^2}{4} \quad [N \cdot m], \quad (2.23)$$

kde: $W_{opl} = 1,5 \cdot W_0$... plastický průřezový modul v ohybu [mm³] (2.24)

$W_0 = \frac{b \cdot s^2}{6}$... průřezový modul v ohybu [mm³] (2.25)

σ_0 ... napětí v ohybu [MPa]

C ... součinitel (Caliho konstanta $C=1,15 - 1,45$), zohledňuje víceosý stav napjatosti a třecí sílu

Čím menší vzdálenost podpěr, tím vyšší hodnoty se volí Caliho konstanty se volí. Pro výpočet ohýbací síly bude z rovnosti momentu vnějších a vnitřních sil platit vztah:

$$F_{0V} = \frac{b \cdot s^2}{l_V} \cdot R_m \cdot C \quad [N] \quad (2.26)$$

Z důvodu zvýšení přesnosti výstřižku se na konci ohýbání aplikuje ohýbání s kalibrováním nebo ohýbání s vyrovnávací silou. Celková síla u ohýbání s kalibrováním na konci se určí ze vztahu:

$$F_{CV} = F_{OV} + F_K \quad [N], \quad (2.27)$$

kde: F_{CV} ... celková ohýbací síla [N]

$$F_K \dots \text{kalibrovací síla, } F_K = (2 - 2,5) \cdot F_{OV} \quad [N] \quad (2.28)$$

Celková síla u ohýbání s vyrovnávací silou na konci se určí ze vztahu:

$$F_{CV} = F_{OV} + F_R \quad [N], \quad (2.29)$$

kde F_R ... vyrovnávací síla, $F_R = p \cdot S \quad [N]$ (2.30)

p ... vyrovnávací tlak, (tab. 10) [MPa]

S ... vyrovnávaná plocha pod ohybníkem [mm²]

Tab.10 Tlak při ohýbání s vyrovnáváním ramen [1]

Materiál	Tlak na vyrovnání ramen „p“ [MPa]	
	Tloušťka materiálu do 3mm	Tloušťka materiálu 3 – 10mm
Hliník	30 – 40	50 – 60
Mosaz	60 – 80	80 – 100
Ocel 12 010 – 12 022	80 – 100	110 – 120
Ocel 12 022 – 12 040	100 – 120	120 – 150

V některých případech se k zabránění posuvu materiálu při ohýbání používá přidržovačů. V případě použití přidržovače je celková síla daná vztahem:

$$F_{CV} = F_{OV} + F_K + F_P \quad \text{nebo} \quad F_{CV} = F_{OV} + F_K + F_P \quad [N], \quad (2.31)$$

kde: F_P ... přidržovací síla, $F_P = (2,5 - 3) \cdot F_{OV} \quad [N]$ (2.32)

V případě, že je na výstřižku vykonáváno více ohýbacích operací do tvaru „V“ současně, je třeba ohýbací sílu vynásobit počtem ohybů. Ohýbací práce bez přidržovače pro ohyb do tvaru „V“ je dána vztahem:

$$A_V = F_{OV} \cdot h \cdot \psi \quad [J], \quad (2.33)$$

kde: A_V ... ohýbací práce [J]

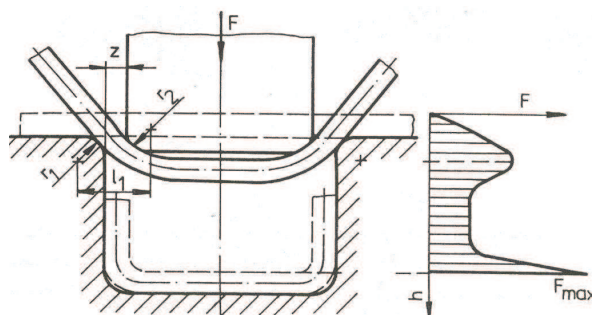
h ... dráha ohybníku [mm]

ψ ... součinitel plnosti diagramu, $\psi = 0,5 - 0,65 \quad [-]$

Při použití přidržovače se do vztahu na výpočet práce dosadí místo ohýbací síly součet ohýbacích sil a síly přidržovače.

❖ Určení ohýbací síly a práce při ohybu do tvaru „U“

V tomto případě je ohýbaný materiál považovaný jako nosník na dvou podpěrách, ale rameno ohybu je l_1 . Ohybník má rovné čelo. Ohýbání do tvaru „U“ je znázorněno na obr. 23.



Obr. 23 Ohýbání do tvaru „U“ [15]

Ohybový moment vnějších sil je dán vztahem:

$$M_{ou} = \frac{F_{OU}}{2} \cdot l_u \quad [N \cdot m], \quad (2.34)$$

kde: F_{OU} ... ohýbací síla při
ohýbání do tvaru „U“

$$l_u \dots \text{rameno ohybu, } l_u = R + r + Z \quad [mm] \quad (2.35)$$

R ... poloměr ohýbací hrany ohybnice $[mm]$

r ... poloměr ohybu $[mm]$

$$Z \dots \text{ohýbací mezera, } Z = 1,15 \cdot s \quad [mm] \quad (2.36)$$

Ohybový moment vnitřních sil je dán vztahem:

$$M_{uvn} = \sigma_0 \cdot W_{opl} = R_m \cdot C_u \cdot \frac{b \cdot s^2}{4} \quad [N \cdot m], \quad (2.37)$$

kde: C_u ... konstanta, zohledňuje stav napjatosti a tření při ohýbání do tvaru „U“, $C_u = 1,6 - 1,8$

Pro výpočet ohýbací síly bude z rovnosti momentu vnějších a vnitřních sil platit vztah:

$$F_{OU} = \frac{b \cdot s^2}{2 \cdot l_u} \cdot R_m \cdot C_u \quad [N] \quad (2.38)$$

Celková síla u ohýbání s kalibrování na konci nebo vyrovnávací silou na konci se určí ze vztahu:

$$F_{CU} = F_{OU} + F_K \quad \text{nebo} \quad F_{CU} = F_{OU} + F_R \quad [N] \quad (2.39)$$

Přitom opět stejně jako u ohýbání do tvaru „V“ platí že:

$$F_K = (2 - 2,5) \cdot F_{OU} \quad [N] \quad (2.40)$$

$$F_R = p \cdot S \quad [N] \quad (2.41)$$

Rovněž u ohýbání do tvaru „U“ se používá přidržovač, a platí obdobné vztahy jako pro ohýbání do tvaru „V“:

$$F_{CU} = F_{OU} + F_K + F_P \quad \text{nebo} \quad F_{CU} = F_{OU} + F_K + F_P \quad [N], \quad (2.42)$$

$$\text{kde: } F_P = (2,5 - 3) \cdot F_{OU} \quad [N] \quad (2.43)$$

Ohýbací práce bez přidržovače pro ohyb do tvaru „U“ je dána vztahem:

$$A_U = F_{OU} \cdot h \cdot \psi \quad [J] \quad (2.44)$$

Ohýbací práce s přidržovačem pro ohyb do tvaru „U“ je dána vztahem:

$$A_{CU} = (F_{OU} + F_P) \cdot h \cdot \psi \quad [J] \quad (2.45)$$

2.2.5 Technologičnost ohýbaných součástí [1,2]

Technologický postup výroby ohýbaných součástí z plechu závisí do značné míry na tvárnosti materiálu, která je plně využívána. Dále je závislá na tvaru a rozměru součástí. Postup výroby ohýbání drobných výstřižků se výrazně liší od postupu výroby ohýbání dlouhých výlisků.

U běžného postupu ohýbání lze samozřejmě snížit nedokonalosti například rovnáním, ražením, kalibrováním, nabráním materiálu, apod., tím ovšem stoupají výrobní náklady (dražší stroj, přídatné operace).

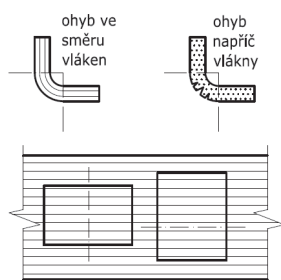
Jako každá metoda, tak i ohýbání má jisté nedokonalosti, patří mezi ně například:

- nepřesnost úhlu ohybu – různě velké odpružení při ohýbání za studena. Průměrnou velikost odpružení technolog vyloučí úpravou geometrie nástroje. Úchytky zapříčiněné nestejnorodostí materiálu se dají zmenšit pouze složitějším nástrojem, či přídatnou operací.

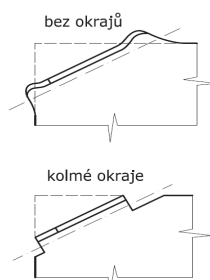
- deformace průřezu – největší zmenšení je zaznamenáváno u tloušťky, deformace šířky je patrná u ohýbání úzkých pásů
- porušení materiálu na vnější straně ohybu – malý poloměr ohybu, malá tvárnost materiálu nerespektování směru vláken, uložením
- zpevnění materiálu – vyvolané tvářením za studena v místě ohybu
- nepřesné umístění místa ohybu – způsobené nestejným třením na hranách čelistí ohýbadla nebo nepřesným uložením výstřižku.

K zajištění kvality obrobku je nutné dodržet následující zásady:

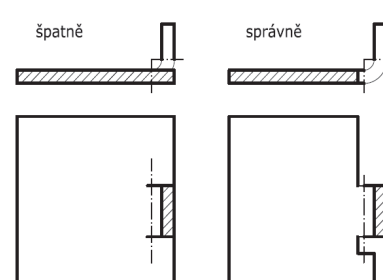
- poloměr ohybu volit malý, z důvodu zmenšení odpružení
- osa ohybu musí být kolmá k vláknům (obr. 24)
- okraje součásti musí být v oblasti ohybu kolmé na osu ohybu (obr. 25)
- místo ohybu musí být uvolněno od neohýbaných částí součásti, z důvodu nepravidelného ohybu, popřípadě natržení krajních vláken (obr. 26)
- ohyb nesmí ležet na okraji materiálu – aby se dal ohyb provést bez zvláštních opatření, musí mít rameno určitou délku (obr. 27)
- umístění otvorů musí být dostatečně daleko od oblasti ohybu, aby nedošlo k deformaci (obr. 28)
- rozlišné délky ramen způsobují při ohýbání klouzání součásti na stranu delšího ramene



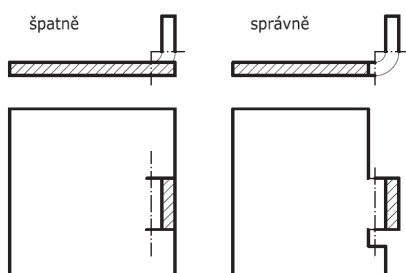
Obr. 24 Vliv směru vláken [2]



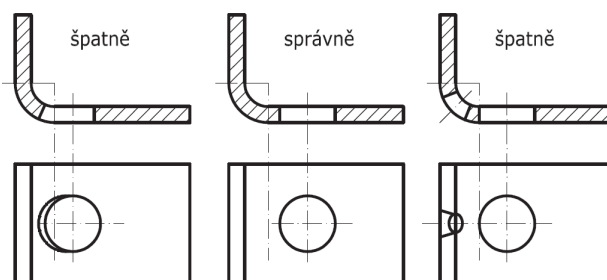
Obr. 25 Úprava okrajů [2]



Obr. 26 Uvolnění od neohýbaných částí [2]



Obr. 27 Konstrukční úprava [2]



Obr. 28 Umístění otvorů [2]

Při ohýbání v ohýbadle závisí přesnost na mnoha činitelích. Mezi ně patří:

- rozměr a tvar ohýbané součásti
- stejnorodost mechanických vlastností materiálu
- rozdílná tloušťka ohýbané součásti
- počet ohybů (zda ohyb proběhne na jednu či více operací)
- druh ohýbadla
- přesnost ustavení ohýbadla na pracovním stroji

Jakost povrchu při ohýbání závisí:

- jakost povrchu ohýbaného materiálu
- geometrii ohýbací čelisti
- rozdílné tloušťce výchozího materiálu
- způsobu mazání
- povrchu ohýbadla (obvykle o 1/3 až 2/3 horší než střední aritmetická úchylna povrchu ohýbaného materiálu)

2.3 Nástroje pro stříhání a ohýbání [1,810,13,15,18]

Na zpracování plechu se používají nástroje uzpůsobené tak, aby pracovním pohybem přetvářely součást do požadovaného tvaru. U složitějších nástrojů jsou zdrojem energie lis. Výsledkem lisování je trvalá přeměna materiálu. U stříhání působením tlaku dochází k oddělování materiálu, u ohýbání k přemísťování částic. Nástroje lze rozdělit z hlediska druhu a počtu operací na:

- jednoduché – na jeden zdvih se vykoná jedna střížná operace
- postupové – na jeden zdvih se vykonávají různé střížné operace na více místech
- sloučené – na jeden zdvih se vykonává více operací stříhání (děrování, vystřihování)
- sdružené – na jeden zdvih několik pracovních úkonů odlišného druhu, například stříhání a ohýbání

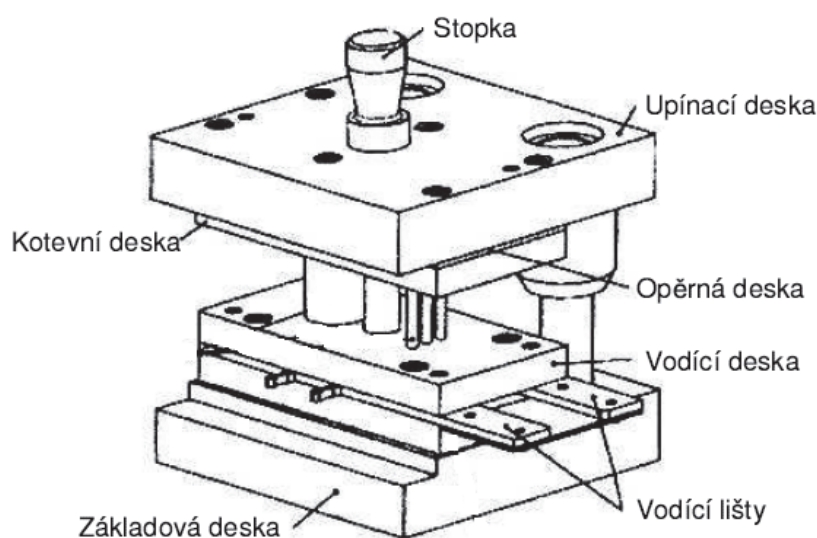
Z hlediska vyjímání a zakládání polotovaru se nástroje dělí na:

- ruční vkládání
- ruční vkládání s dorazy
- mechanizované
- poloautomatické
- automatické

Návrh, konstrukce, výroba nástroje se musí hodnotit z hlediska bezpečnosti práce, technické náročnosti na provedení, ekonomického hlediska atd. Střížné a ohýbací nástroje jsou si konstrukčně velmi podobné.

Základová deska zajišťuje upevnění nástroje ke stolu lis (obr. 29).

Vždy je rozměrově větší než střížná deska, jednostranně minimálně o 25 mm pro upnutí upínkami. Tloušťka základové desky je dána normou, a dle velikosti nástroje se pohybuje v rozmezí 25 – 60 mm. Deska u střížného nástroje obsahuje otvory na propad výlisků.



Obr. 29 Nástroj [8]

Upínací deska (obr. 29) plní dvě funkce:

- vně nástroje slouží ke spojení a upevnění nástroje na beran lisu
- v nástroji zajišťuje podepření jednotlivých střížníků, ohybníků.

Tloušťka upínací desky se pohybuje v rozmezí 23 – 50 mm. U výstředníkových lisů je deska opatřena stopkou v těžišti působících sil. U ostatních typů lisu je upínání provedeno upínkami, deska je bez stopky, a jednostranně zvětšena o 25 mm i více.

Kotevní deska slouží k zakotvení střížníků, ohybníků (obr. 29). Konstruuje se v obdobných rozměrech jako upínací deska. Tloušťka kotevní desky se pohybuje v rozmezí 10 – 32 mm. Aby při stříhu nedocházelo k ohybu střížníků, musí být jednotlivé otvory kolmé. Umístění otvorů je podobné jako u vodící desky, má však k zachycení stíracích sil a upevnění střížníků dle konců střížníků válcová nebo kuželová zahlobení.

Vodící deska slouží k vedení střížníků a ke stírání materiálu při zpětném pohybu nástroje znázorněná na obr. 29. Tloušťka desky se pohybuje v rozmezí 18 – 32 mm. Otvory pro střížníky se vyrábějí v toleranci H7/h6. Z důvodu lepšího mazání a snížení možnosti zadření se kolem vodících otvorů opatřuje mazacími drážkami.

Stopka zajišťuje upnutí nástroje do beranu výstředníkového lisu (obr. 29). Jsou umístěny do těžiště tvářecích sil, působících při stříhání, ohýbání na nástroj. Velikost stopek je normalizovaná a volena s ohledem na velikost lisu.

Vodící lišty slouží k vedení svitku nebo pásu v pracovním prostoru (obr. 29). Vzdálenost lišt je určena maximální šířkou polotovaru. Výška vodících lišt je rovna 5 – 8 mm, tato výška postačuje ruční manipulaci se stříhaným, ohýbaným materiálem. U sloučených nástrojů a u nástrojů pro přesné stříhání funkci vodících lišt přebírá podavač.

Dorazy u postupových střížných nástrojů pracujících s ručním podáváním materiálu je nutné zajistit nastavení kroku pásu nebo svitku. Není-li použito odstřihovačů, posuv zajistí dorazy. Jsou dvojího provedení:

- pevné dorazy - jsou jednodušší. Umísťují se do střížnice zachytávají pás za můstek mezi dvěma střížníky. U šířek větších než 100 mm je nutno použít dva dorazy po šířce pásu načínací
- načínací dorazy - v části nástroje, kde nepůsobí pevný doraz, se využívá k nastavení kroku svitku nebo pásu načínací doraz. Jsou umísťovány do vodící lišty, popřípadě do střížnice či vodící desky a jsou využívány tam, kde by mohlo dojít zasunutí pásu k havárii nástroje.

Zakládací dorazy před ohybem musí zaručit správné založení výstřížku. Tvar dorazu nesmí překážet funkci ohýbadla. Aby zakládání výstřížku bylo ulehčeno, bývají zešikmeny pod úhlem 30°.

Vyhazovače se používají v případě předpokladu, že výlisek zůstane po ohybu v ohybnici, nebo za úkolem ulehčit manipulaci v nebezpečném prostoru.

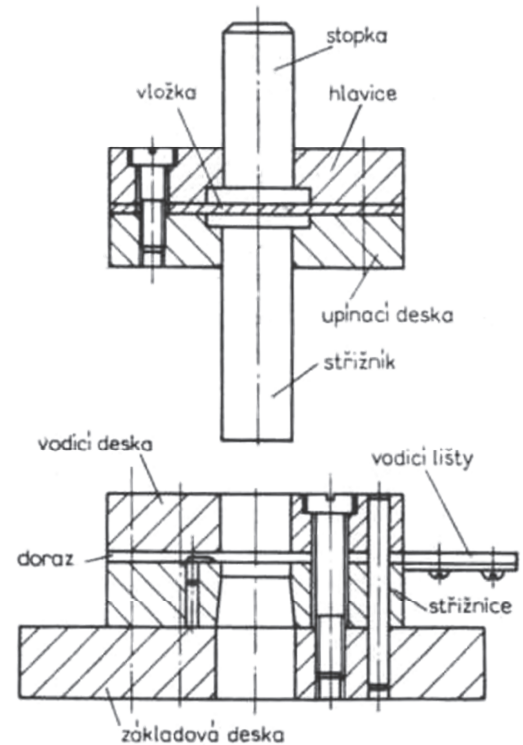
2.3.1 Střížné nástroje [3,10,13,15,19,24]

Střížné nástroje se nazývají stříhadla. Funkci horního pohyblivého nože vykonává střížník, a funkci dolního pevného nože střížnice. Pro plošné tváření jsou základními prvky tvářecích nástrojů činné části. Tyto činné části nemohou pracovat samostatně. Musí být upevněny na tvářecí stroj a musí být vůči sobě geometricky orientovány. Současně s tím je potřeba zajistit přísun a správnou orientaci tvářeného materiálu.

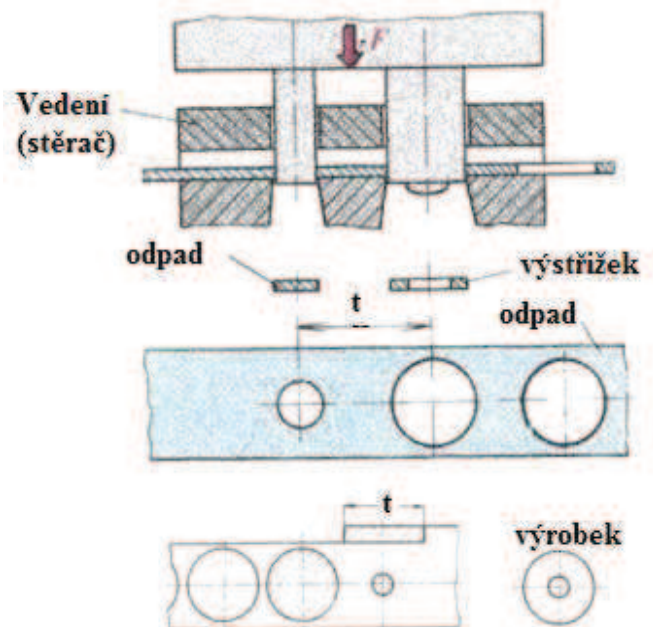
Jednoduchý střížný nástroj (obr. 30) je určen pro jednu operaci, při každém zdvihu beranu lisu je zhotoven výstřížek. Je-li střížník dostatečně velký, může být upraven na stopku a upnut přímo v beranu lisu. Většinou je upevněn do upínací desky a upínacím prvkem je stopka upevněná k hlavici. Výslednice sil má procházet osou stopky, u velkých nástrojů, které jsou upnuty pomocí šroubů k beranu lisu, má působit v těžišti beranu lisu. Boční síly mají nepříznivý vliv na vedení beranu a lisovací nástroj a zvyšují spotřebu hnací síly. U nástroje tak dochází k rychlému otupování střížných hran.

Sloučené střížné nástroje slouží pro více operací na jeden krok pro rovné a přesnější výstřížky. Například při stříhání dochází současně k děrování i vystřihování. Přesnost výstřížku zajišťuje současné stříhání obvodu i všech otvorů. Nástroje mají sloupkové vedení. Pokud není pás veden mimo nástroj, je veden pevnými nebo pružnými kolíky.

Postupové stříhání se používá převážně pro hromadnou výrobu. Konstrukce nástrojů je odlišná od nástrojů určených pro kusovou výrobu. Hromadná výroba umožňuje investovat do nástroje mnohem více, než u nástroje pro malé série, u kterého by investice byla nerentabilní. Nástroj zhotovuje výstřížek postupně, ve více krocích, více operacích. Při vložení nového pásu se používá načínací doraz, dále je poloha zajištěna koncovým dorazem. Funkci postupového stříhání lze pochopit z obrázku obr. 31. Obdélníková plocha je odstřížena stranovým střížníkem, a udává velikost tzv. kroku, posuvu „t“. Kruhové plochy různých průměrů patří různým střížníkům. Posuv pásu je zprava do leva.



Obr. 30 Jednoduchý střížný nástroj [19]



Obr. 31

❖ Střížníky jsou funkční částí stříhadel a představují protikus střížnice. Příklady upnutí střížníků jsou uvedeny na obr. 32

Podle technologického použití je lze rozdělit:

- odstříhovací střížníky se používají nejčastěji v poslední operaci na oddělení výstřížků z pásu anebo při stříhání odpadu. Dále se používají v případě příčného dělení pásu nebo svitku.

- vystříhovací a prostříhovací střížníky zajišťují vystříhování obrysů do děrovaného polotovaru. Z důvodu změny děrovacího poměru s/d v širokých mezích, používá se celá řada provedení. Volba provedení střížníku se určuje dle štihlостního poměru. Pro štíhlé střížníky se provádí kontrola na vzpěrnou stabilitu.
- odstříhovače tvoří samostatnou skupinu střížníků. Mají pouze technologickou funkci. Slouží k přesnému určení velikosti kroku. Zastávají funkci načínacího dorazu u postupových nástrojů.

Při výpočtech střížníku na otláčení je potřeba kontrolovat napětí na dosedací ploše v upínací hlavici. Jeli napětí větší než 180MPa je potřeba použít opěrné desky. Pro výpočet střížníku na otláčení platí vztah:

$$\sigma = \frac{F_{stř}}{\frac{\pi d^2}{4}} \quad [MPa] \quad (2.46)$$

Pro výpočet kritické délky nevedeného střížníku platí vztah:

$$l_k = \sqrt{\frac{2 \cdot \pi \cdot E \cdot I}{\mu \cdot d \cdot s \cdot \tau_o}} \quad [mm] \quad (2.47)$$

Pro výpočet kritické délky vedeného střížníku platí vztah:

$$l_k = \sqrt{\frac{4 \cdot \pi \cdot E \cdot I}{\mu \cdot d \cdot s \cdot \tau_o}} \quad [mm], \quad (2.48)$$

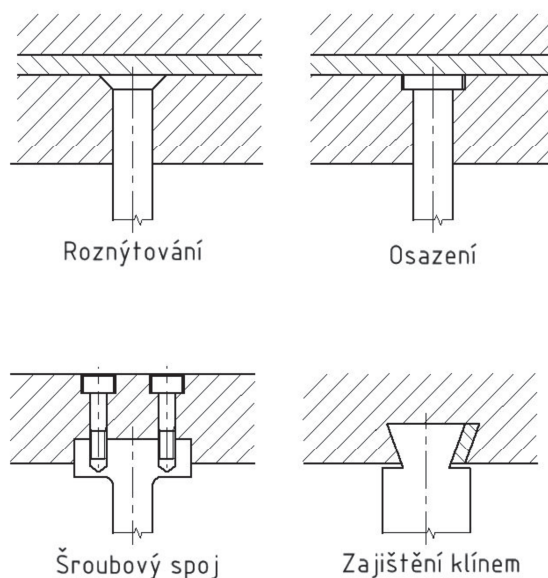
kde: d ... průměr střížníku [mm]

E ... modul pružnosti oceli v tahu [MPa]

J ... kvadratický moment průřezu [mm^4]

μ ... (1,5 - 2) koeficient bezpečnosti [-]

τ_o ... tečné napětí v ohybu [MPa]



Obr. 32 Způsoby zajištění střížníků[24]

Volba provedení střížníku se určuje dle štihlостního poměru. Pro štíhlé střížníky se provádí kontrola na vzpěrnou stabilitu.

- odstříhovače tvoří samostatnou skupinu střížníků. Mají pouze technologickou funkci. Slouží k přesnému určení velikosti kroku. Zastávají funkci načínacího dorazu u postupových nástrojů.

Při výpočtech střížníku na otláčení je potřeba kontrolovat napětí na dosedací ploše v upínací hlavici. Jeli napětí větší než 180MPa je potřeba použít opěrné desky. Pro výpočet střížníku na otláčení platí vztah:

$$\sigma = \frac{F_{stř}}{\frac{\pi d^2}{4}} \quad [MPa] \quad (2.46)$$

Pro výpočet kritické délky nevedeného střížníku platí vztah:

$$l_k = \sqrt{\frac{2 \cdot \pi \cdot E \cdot I}{\mu \cdot d \cdot s \cdot \tau_o}} \quad [mm] \quad (2.47)$$

Pro výpočet kritické délky vedeného střížníku platí vztah:

$$l_k = \sqrt{\frac{4 \cdot \pi \cdot E \cdot I}{\mu \cdot d \cdot s \cdot \tau_o}} \quad [mm], \quad (2.48)$$

kde: d ... průměr střížníku [mm]

E ... modul pružnosti oceli v tahu [MPa]

J ... kvadratický moment průřezu [mm^4]

μ ... (1,5 - 2) koeficient bezpečnosti [-]

τ_o ... tečné napětí v ohybu [MPa]

Z hlediska vedení se střížníky dělí na:

- nevedené střížníky se používají od děrovacího poměru $s/d > 0,7$, pro délku střížníku $l/d < 4$. Konstruují se válcové nebo tvarově neosazené.
 - vedení střížníků snižuje volnou délku, a tím snižuje náchylnost na zlomení vlivem vybočení z osy. K vedení střížníků se používají vodící desky. Válcové střížníky mají omezený pracovní rozsah poměrem $s/d > 0,6$. Pro $s/d > 1,6$ je nutno použít osazené střížníky s délkou osazení $(2 - 3)d$.
 - zesílené
- ❖ Střížnice je jednou z činných částí střížných nástrojů, považovaných za rovinné desky namáhané ohybem. Jejich tloušťka bývá obvykle v rozmezí 18 – 30 mm. Hrubý výpočet pro kontrolu tloušťky střížnice je dán vztahem:

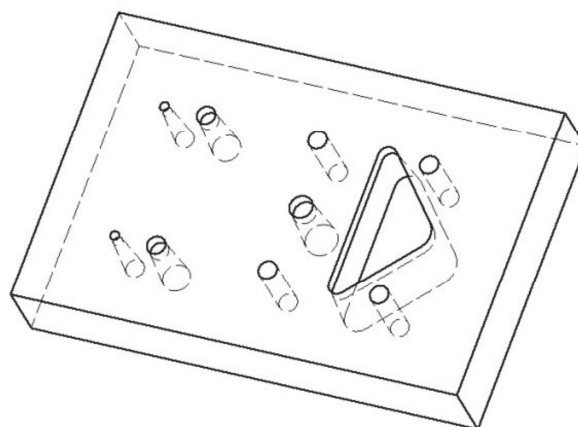
$$H = \sqrt[3]{0,1 \cdot F_{stř}} \text{ [mm]}, \quad (2.49)$$

kde: H ... tloušťka střížnice [mm]

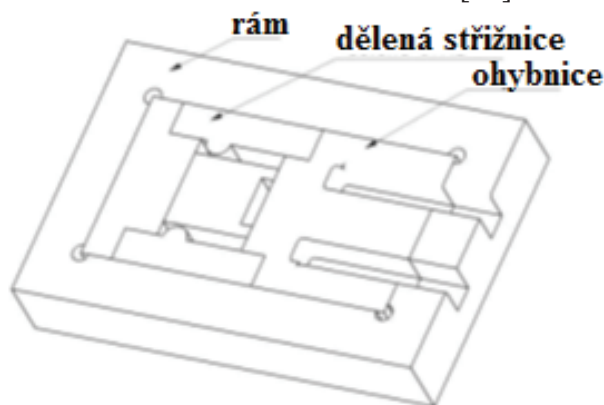
Je upevněná přímo či nepřímo v základové desce. Podle tvaru, velikosti a technologii výroby je střížnice buď z jednoho kusu (obr. 33) – kalená, nekalená, při stříhání složitějších součástí, či stříhání ve více operacích je střížnice skládaná (obr. 34). Střížné hrany střížnic jsou uvedeny v tabulce 11.

Celistvá střížnice obsahuje střížné otvory, otvory pro dorazy, boční ostříhovače, připevňovací a středící segmenty. Jsou konstruovány tak, aby můstky vznikající mezi jednotlivými střížnými obvody byly úměrné střížným odporům, a aby byly odolné vůči praskání při tepelném zpracování.

Skládaná střížnice – obvod střížnice se rozdělí na více segmentů, které jsou zalisovány do měkké nekalené střížnice, nebo jsou připevněny na základovou desku šrouby a pojištěny kolíky.



Obr. 33 Celistvá střížnice [24]



Obr. 34

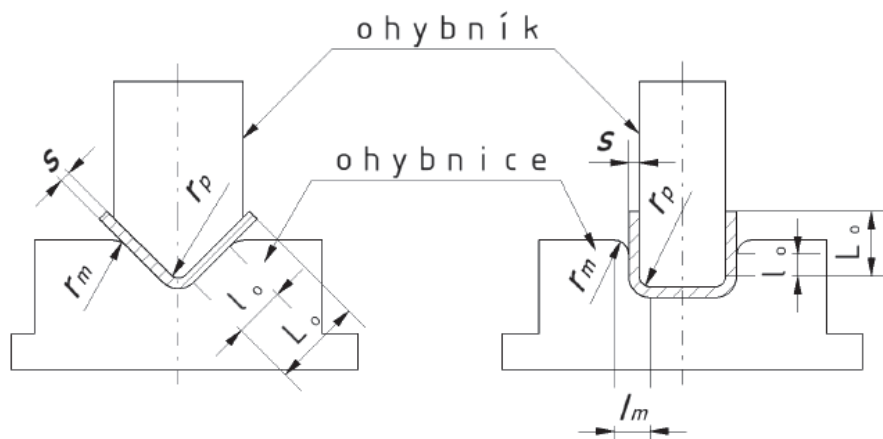
Tab.11 Střížné hrany střížnice [19]

Tvar střížnice		Použití
Kuželová s válcovou fasetkou		Díly s vysokými požadavky na přesnost a komplikovaným obvodem fasetka: $h = 3 - 5mm \quad s = 0,5mm$ $h = 5 - 10mm \quad s = 0,5 - 5mm$ $h = 10 - 15mm \quad s = 5 - 10mm$ $\alpha = 3 - 5^\circ$
Kuželová		Malé díly se střední přesností úkos: $\alpha = 10 - 15' \quad s = 0,1 - 0,5 mm$ $\alpha = 15 - 20' \quad s = 0,5 - 1 mm$ $\alpha = 20 - 30' \quad s = 1 - 2 mm$ $\alpha = 30 - 45' \quad s = 2 - 4 mm$ $\alpha = 45' - 1^\circ \quad s = 4 - 6 mm$
Válcová nebo prizmatická		Vyhazované díly a rozměrné díly
		Malé díly do $\varnothing 5mm$

2.3.2 Ohýbací nástroje [13,18,24]

Ohýbání polotovaru probíhá mezi dvěma činnými částmi – ohybníkem a ohybnicí (obr. 35),

kde se polotovar mění na výlisek. Ohybník je spojen s pohyblivou částí a upevněn stopkou nebo upínací deskou k beranu lisu. Ohybnice je spojena s nepohyblivou částí nástroje a upnuta základovou deskou na stolní desku lisu. Správná poloha



Obr. 35 Ohýbací nástroj [24]

a vedení je zajištěno sloupkovým vedením. Přesnou polohu polotovaru zajišťují dorazy. Složitější výlisky jsou ohýbány postupně. Rozměrovou přesnost, odpružení, úroveň tvářecí síly určuje poloměr ohybníku r_1 a ohybnice r_2 . Na kvalitě ohýbaného materiálu je závislá

mezní velikost poloměru ohybníku. Pro materiály s vyšší tažností se pohybuje velikost poloměru od $r = 0,5 - 0,8$ pro materiály s nižší tažností. Z důvodu rozdílných mechanických vlastností v různých směrech se doporučuje pro ohyby ve směru válcování zvětšit o 20 - 25% oproti ohýbání ve směru kolmým na směr válcování.

- ohybník – je horní pohyblivý nástroj. Jeho šířka nemůže být menší než šířka ohýbaného polotovaru. Bez ohledu, zdali probíhá ohyb na samostatném nástroji nebo ohraňovacím lisu, se činné části rozlišují na nástroje pro ohyb do U a V. Ohýbací hrany jsou kaleny a leštěny. K úspoře legovaných ocelí se využívá kalených vložek.
- ohybnice – je spodní, pevná část ohýbadel. Jako střížnice jsou rovněž celistvé nebo skládané. Zvláštní skupinu tvoří ohybnice nepevné, u nichž se ohyb provádí pevným ohybníkem a nepevnou ohybnicí. Velikost zaoblení a hloubka pevné čelisti je uvedena v tab.12

Tab.12 Zaoblení a hloubka pevné čelisti [18]

Délka ramene [mm]	Tloušťka materiálu „s“ [mm]											
	do 0,5			0,5 – 2			2 – 4			4 - 7		
	l_o	r_m	c	l_o	r_m	c	l_o	r_m	c	l_o	r_m	c
10	6	3	0,1	10	3	0,1	10	4	0,08	-	-	-
20	8	3	0,1	12	4	0,1	15	5	0,08	20	8	0,06
35	12	4	0,15	15	5	0,1	20	6	0,08	25	8	0,06
50	15	5	0,2	20	6	0,15	25	8	0,1	30	10	0,08
75	20	6	0,2	25	8	0,15	30	10	0,1	35	12	0,1
100	-	-	-	30	10	0,15	35	12	0,1	40	15	0,1
150	-	-	-	35	12	0,2	40	15	0,15	50	20	0,1
200	-	-	-	40	15	0,2	55	20	0,15	65	25	0,15

2.4 Materiály nástrojů[3,13]

Nástroje jsou při tváření za studena namáhány tlakem, ohybem stříhem. Mimo to působí na břit otěr, z toho důvodu se požaduje u nástrojů vysoká odolnost proti abrazivnímu a adhezivnímu opotřebení. Namáhání nástrojů je především závislé na druhu, tloušťce a pevnosti tvářeného materiálu. Při tváření tenkých či tvrdých materiálů jsou nástroje namáhány především na otěr, avšak při tváření silnějších či houževnatějších materiálů se vyžaduje houževnatost nástrojů.

U lisování dochází k nestejnoseměrnému zatěžování různých částí, které jsou vystaveny rozdílnému opotřebení. Volba odlišných materiálů na různé díly nástrojů je volena v ohledu na dosažení ideální poměru cena na počet vyrobených součástí. Nejčastěji používané materiály pro zhotovení nástrojů:

- konstrukční oceli – volba správného druhu oceli je dána způsobem a velikostí namáhání a předpokládaným tvarem. U těchto ocelí jsou rozhodující mechanické vlastnosti. Menší důraz je kladen na fyzikální a chemické vlastnosti. Použití především na nefunkční díly. V tabulce 13 je uveden přehled konstrukčních ocelí používaných k výrobě nástrojů.

Tab.13 Konstrukční oceli používané při výrobě nástrojů [3]

Ocel		Vhodnost použití	Tepelné zpracování Tvrdość HRC
Typ	Označení		
Neuřlechtilé	11 107, 11 110	Drobné součásti	
	11 340, 11 370	Méně namáhané díly, opěrné desky	
	11 373, 11 375, 11 535, 11 523	Svařování konstrukčních dílů nástrojů	
	11 500, 11 600	Klíny, pera, upínací a kotevní desky	
Zuřlechťené	12 060, 12 061	Stírače, stopky, opěrné vločky	Zuřlechťeno 50 - 58
	12 040, 12 090, 13 180, 14 180	řroubové, talířové pruřiny	Zuřlechťeno 43 - 48
	14 260, 15 260	Nejnamáhanější pruřinové součásti	Zuřlechťeno 45 - 46
	42 6450.2	Pruřiny	Popuřtěno
Cementační oceli	12 010, 12 020	Vodící mechanismy, sloupky, pouzdra	Cementováno 60 - 62
	14 120, 14 220	Součásti s velmi tvrdou cementační vrstvou	Cementováno 61 - 63
Oceli na odlitky	42 2640, 42 2650	Rozměrnější desky	

- litiny – při jejich volbě je nutno zvážit způsob namáhání. Náhrada oceli litinou zaručuje snížení hmotnosti a množství třískového obrábění. Použití litin je ekonomicky výhodné. Grafit v základní struktuře slouží jako mazivo, proto jsou vhodné na vodící elementy. Litiny se využívají na základové desky, stírače, vodící pouzdra a jiné součásti. Nejvhodnější litiny jsou uvedeny v tabulce 14.

Tab.14 Používané litiny na nástroje [3]

Litina		Pevnost v tahu (MPa)	Tažnost (%)	Použití
Typ	Označení			
ředá	42 2430	300	-	Značně namáhané součásti tlustších stěn
	42 2425	250	-	Značně namáhané součásti, stojánky
Očkovaná	42 2456	-	-	Součásti, kde jsou vyžadovány dobré kluzné vlastnosti, lořiska
Tvárná	42 2304	400	12	Vyšší tlaky a namáhání
	42 2305	500	7	
	42 2303	370	17	Dynamicky namáhané desky

- nástrojové oceli – jsou slitiny železa, karbidů železa, a dalších slitinových prvků, které ovlivňují prokalitelnost, odolnost proti opotřebení a zjemňují zrno. Na výrobu funkčních částí se používá především chromovaných nástrojových ocelí. Přehled ocelí používaných na různé typy nástrojů je uveden v tabulce 15.

Tab.15 Přehled nástrojových ocelí [3]

Skupina	Typ	Označení	Použití
A	Ledeburitické Subledeburitické	19 436, 19 437, 19 438, 19 571, 19 572, 19 581	Funkční části s malým nárokem na houževnatost a dobrými střížnými vlastnostmi
B	Nízkolegované	19 312, 19 713, 19 422	Vyznačují se velkou rozměrovou stálostí, vhodné na střížníky, ohybníky
C	Pro velké tlaky	19 655, 19 614, 19 662	Funkční části vystavené velkým silám a vylamování břítu
D	Odolné proti rázu	19 356, 19 421	Odolné vůči velkým rázům
E	Uhlíkové	19 221, 19 191, 19 222, 19 192, 19 152, 19 132	Pro málo namáhané díly
F	Odolné proti rázu	19 733, 19 732, 19 740, 19 452	Funkční části vystavené velkým rázům a namáhání v ohybu a tlaku

2.5 Stroje [3,17]

Ke stříhání a ohýbání se používají mechanická tvářecí zařízení, zvaná lisy. Lis působí silou ve formě tlaku na vložený materiál. V důsledku síly se polotovar deformuje a mění svůj tvar. Lisy musí vyvinout dostatečnou sílu a umožnit vhodné upnutí nástroje. Při výběru lisu je nutno přihlédnout i dalším činitelům, například velikost otvoru ve stole, počet zdvihů beranu, atd. Hlavní rozdělení strojů:

- mechanické – přenos síly je zajištěn mechanicky (např. klikový mechanismus). U těchto strojů může dojít k přetížení (příloha 2,3)
- hydraulické – přenos síly zajištěn kapalinou. V porovnání s mechanickými lisy jsou pomalejší, ale nemůže dojít k přetížení stroje. Hydraulické lisy jsou uvedeny v příloze 4

Tři základní pohyby vyznačují průběh práce, které musí lis splňovat:

- uzavírání nástroje
- stříhání
- otevírání nástroje

Při zavírání nástroje beran lisu přivádí do pracovní polohy horní část nástroje. Spodní část je pevně upnuta na stole lisu. Zpětným pohybem se otevírá nástroj, a stírá se odpad. Pás plechu se ručně nebo podavači posouvá do pracovního prostoru. Výkon lisu je rozhodujícím faktorem pro hospodárnost pracovního postupu. Je to počet zdvihů beranu za čas. Rozdělení časů na:

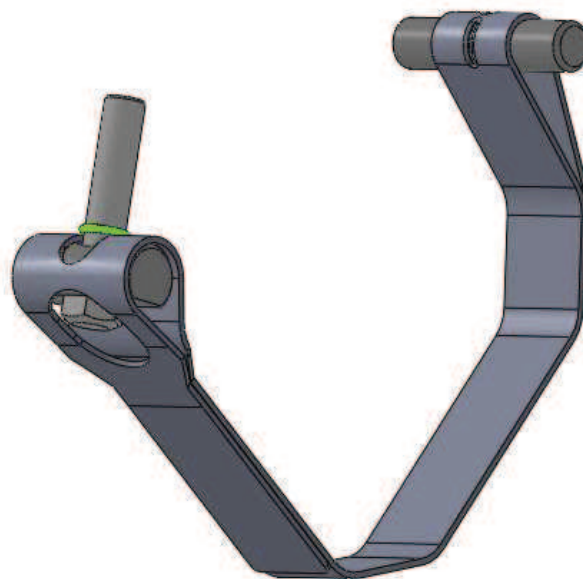
- nutný na oddělení materiálu
- nutný na podávání materiálu
- nutný na vysunutí výstřížku

3 NÁVRH TECHNOLOGIE VÝROBY

Řešená součást (obr. 36) slouží jako držák k uchycení ventilačního potrubí u nákladních automobilů. Součást bude vyráběna ze svitku plechu o dané šířce a neobvyklé tloušťce 1,27 mm v automatizované lince skládající se z odvíjáku, rovnačky a lisu se střížným nástrojem. Dále bude pokračovat na ruční ohýbání s následným bodovým svařováním, vlisováním kolíku a v posledním kroku na strojní ohýbání, které bude probíhat ve dvou krocích.

Montážní pásek splňuje technologické podmínky:

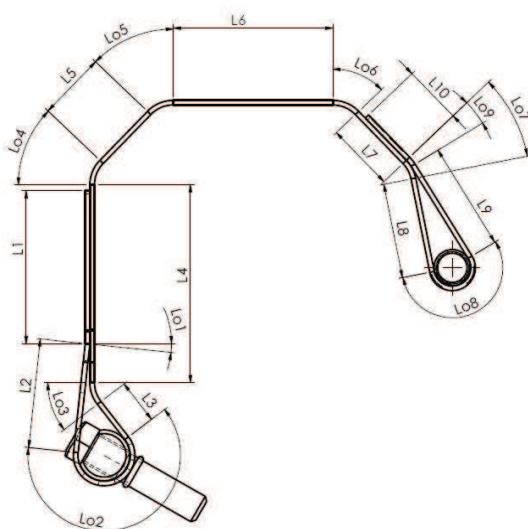
- součást má předepsány rozteče děr a tolerance velikostí vyrobitelné běžným stříháním
- otvory jsou oválného průřezu a splňují podmínku minimální velikosti stříhaných otvorů
- otvory jsou v dostatečné vzdálenosti od okraje součásti
- všechny rohy jsou sraženy nebo zaobleny
- součást obsahuje plynulé přechody z ohybů do přímých částí obrysu.



Obr. 36 Rozměry vyráběné součásti

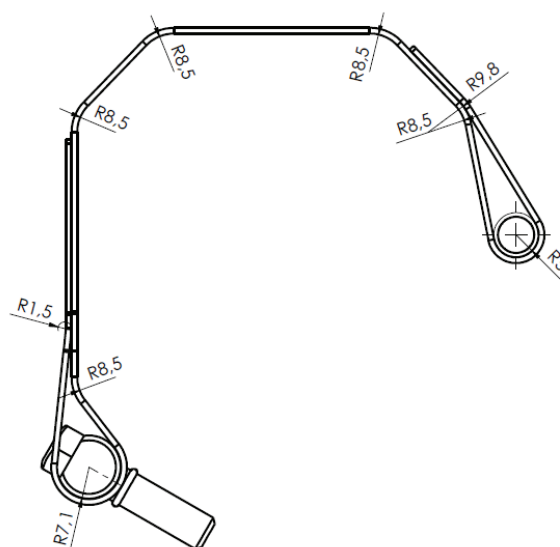
3.1 Rozvinutý tvar součásti

Z důvodu složitosti součásti je k výpočtu jednotlivých úseků použito programu SolidWorks 2011. Součást je tvarově složitá, z toho důvodu je potřeba montážní pásek rozdělit na řadu úseků (obr. 37), postupně vypočítat délky jednotlivých úseků.



Obr. 37

Jednotlivé úseky pro výpočet rozvinuté délky



Obr. 38 Jednotlivé poloměry ohybu

➤ Výpočet délky oblouku L_{o1}

Pro výchozí délku polotovaru musí být nejdříve určen součinitel délky oblouku. Délka neutrální osy v místě ohybu se určí dle vzorce (2.20). Hodnota x odečtena z tabulky 8

$$\frac{R}{s} = \frac{1,5}{1,27} = 1,18 \Rightarrow x = 0,36$$

$$l_{o1} = \frac{\pi}{180} \cdot \alpha_i \cdot (r_{oi} + x_i \cdot s) = \frac{\pi}{180} \cdot 5,9 \cdot (1,5 + 0,36 \cdot 1,27) = 0,2mm$$

➤ Výpočet délky oblouku L_{o2}

$$\frac{R}{s} = \frac{7,1}{1,27} = 5,59 \Rightarrow x = 0,44$$

$$l_{o2} = \frac{\pi}{180} \cdot \alpha_i \cdot (r_{oi} + x_i \cdot s) = \frac{\pi}{180} \cdot 224 \cdot (7,1 + 0,44 \cdot 1,27) = 29,94mm$$

➤ Výpočet délky oblouku L_{o3}

$$\frac{R}{s} = \frac{8,5}{1,27} = 6,69 \Rightarrow x = 0,45$$

$$l_{o3} = \frac{\pi}{180} \cdot \alpha_i \cdot (r_{oi} + x_i \cdot s) = \frac{\pi}{180} \cdot 37,6 \cdot (8,5 + 0,45 \cdot 1,27) = 5,95mm$$

➤ Výpočet délky oblouku L_{o4}

$$\frac{R}{s} = \frac{8,5}{1,27} = 6,69 \Rightarrow x = 0,45$$

$$l_{o4} = \frac{\pi}{180} \cdot \alpha_i \cdot (r_{oi} + x_i \cdot s) = \frac{\pi}{180} \cdot 43,9 \cdot (8,5 + 0,45 \cdot 1,27) = 6,95mm$$

➤ Výpočet délky oblouku L_{o5}

$$\frac{R}{s} = \frac{8,5}{1,27} = 6,69 \Rightarrow x = 0,45$$

$$l_{o5} = \frac{\pi}{180} \cdot \alpha_i \cdot (r_{oi} + x_i \cdot s) = \frac{\pi}{180} \cdot 46,1 \cdot (8,5 + 0,45 \cdot 1,27) = 7,3mm$$

➤ Výpočet délky oblouku L_{o6}

$$\frac{R}{s} = \frac{8,5}{1,27} = 6,69 \Rightarrow x = 0,45$$

$$l_{o6} = \frac{\pi}{180} \cdot \alpha_i \cdot (r_{oi} + x_i \cdot s) = \frac{\pi}{180} \cdot 46,1 \cdot (8,5 + 0,45 \cdot 1,27) = 7,3mm$$

➤ Výpočet délky oblouku L_{o7}

$$\frac{R}{s} = \frac{8,5}{1,27} = 6,69 \Rightarrow x = 0,45$$

$$l_{o7} = \frac{\pi}{180} \cdot \alpha_i \cdot (r_{oi} + x_i \cdot s) = \frac{\pi}{180} \cdot 32,7 \cdot (8,5 + 0,45 \cdot 1,27) = 5,18mm$$

➤ Výpočet délky oblouku L_{o8}

$$\frac{R}{s} = \frac{5}{1,27} = 3,94 \Rightarrow x = 0,42$$

$$l_{o8} = \frac{\pi}{180} \cdot \alpha_i \cdot (r_{oi} + x_i \cdot s) = \frac{\pi}{180} \cdot 200,3 \cdot (5 + 0,42 \cdot 1,27) = 19,34mm$$

- Výpočet délky oblouku L_{09}

$$\frac{R}{s} = \frac{9,8}{1,27} = 7,72 \Rightarrow x = 0,45$$

$$l_{09} = \frac{\pi}{180} \cdot \alpha_i \cdot (r_{oi} + x_i \cdot s) = \frac{\pi}{180} \cdot 12,4 \cdot (9,8 + 0,45 \cdot 1,27) = 2,25 \text{ mm}$$

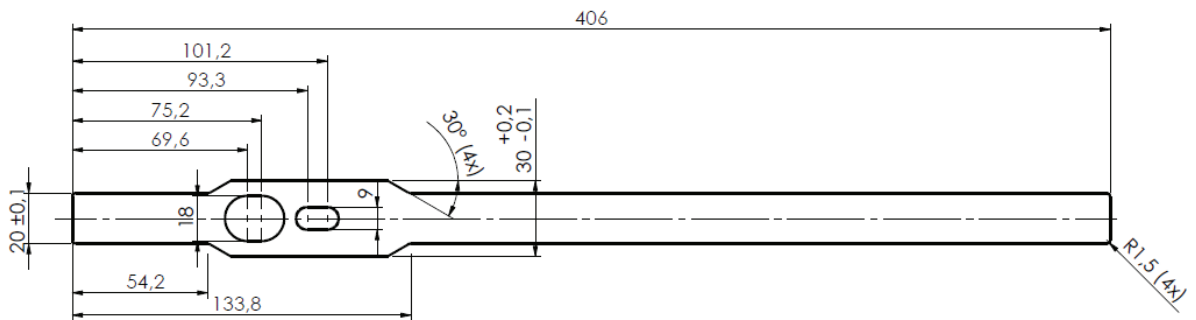
- Výpočet celkové délky L

Celková délka polotovaru (obr. 39) v rozvinutém stavu se vypočítá součinem jednotlivých délek oblouků a rovných úseků (obr. 37)

$$l_c = L_1 + l_{01} + L_2 + l_{02} + L_3 + l_{03} + L_4 + l_{04} + L_5 + l_{05} + L_6 + l_{06} + L_7 + l_{07} + L_8 + l_{08} + L_9 + l_{09} +$$

$$L_{10} = 54,2 + 0,2 + 25,28 + 29,94 + 8,76 + 5,95 + 62,88 + 6,95 + 18,45 + 7,3 + 53,87 + 7,3 + 18,62 + 5,18 + 30,6 + 19,34 + 33,41 + 2,25 + 14,93 = 405,41 \text{ mm}$$

Součást není funkčním dílem, z toho důvodu zvolena celková délka 406mm.



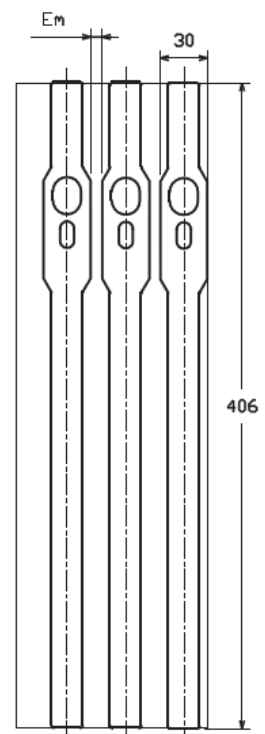
Obr. 39 Rozvinutá délka součásti

3.2 Volba nástřihového plánu

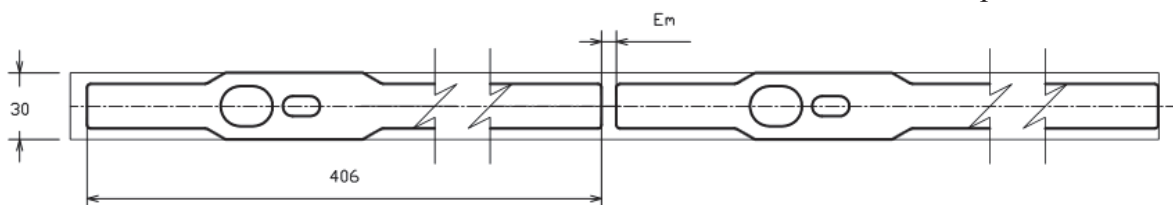
Poloha výlisku v nástřihovém plánu závisí na spotřebě materiálu. V případě obdélníkového tvaru se jako ideální poloha nabízí podélné nebo příčné uspořádání součástí vůči pohybu pásu svitku.

- ✓ Příčné uspořádání výlisků se projeví krátkým krokem (obr. 40). Mezi každou součástí je vynechána mezera na můstek, tím dochází k větším ztrátám materiálu.
- ✓ Podélné uspořádání výlisku při stříhání ze svitku materiálu se projeví dlouhým krokem (obr. 41). Při stříhání je využita celá šířka materiálu, tím dochází k úspoře materiálu.

Po zhodnocení všech kladů a záporů jednotlivých variant je jako výhodnější jeví varianta podélného uspořádání výlisků v nástřihovém plánu. Toto umístění bude použito pro další zpracování výrobního postupu.



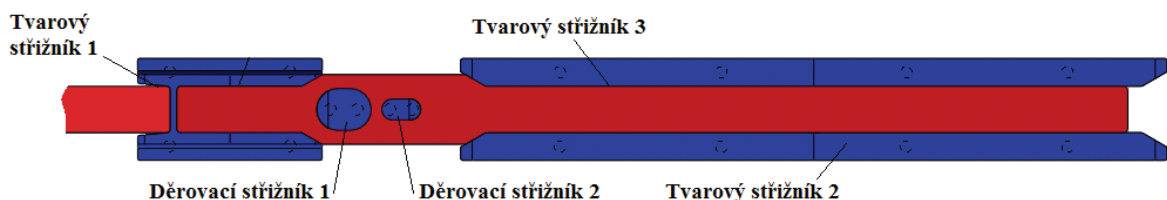
Obr. 40 Příčné uspořádání



Obr. 41

3.3 Výpočty střížné části nástroje

Střížný nástroj je složen z 5ti střížníků. Jejich rozdělení a tvar je znázorněn na obr.42.



Obr. 42 Uspořádání střížníků

K výpočtu střížných částí je nutné znát velikost střížných sil, které se vypočítají dle (2.5) z kapitoly 2.1.2 Obvody jednotlivých střížníku jsou určeny pomocí programu SolidWorks.

- Tvarový střížník 1

$$F_{ts1} = n_s \cdot O. t. \tau_s = 1,2 \cdot 167,99 \cdot 1,27 \cdot 0,8 \cdot 600 = 122888,05N$$

- Tvarový střížník 2

$$F_{ts2} = n_s \cdot O. t. \tau_s = 1,2 \cdot 296,02 \cdot 1,27 \cdot 0,8 \cdot 600 = 216544,55N$$

- Tvarový střížník 3

$$F_{ts3} = F_{ts2} = n_s \cdot O. t. \tau_s = 1,2 \cdot 296,02 \cdot 1,27 \cdot 0,8 \cdot 600 = 216544,55N$$

- Děrovací střížník 1

$$F_{ds1} = n_s \cdot O. t. \tau_s = 1,2 \cdot 67,76 \cdot 1,27 \cdot 0,8 \cdot 600 = 49567,8N$$

- Děrovací střížník 2

$$F_{ds2} = n_s \cdot O. t. \tau_s = 1,2 \cdot 43,08 \cdot 1,27 \cdot 0,8 \cdot 600 = 31513,88N$$

- Celková střížná síla

$$\begin{aligned} F_S &= F_{ts1} + F_{ts2} + F_{ts3} + F_{ds1} + F_{ds2} \\ &= 122888,05 + 216544,55 + 216544,55 + 49567,8 + 31513,88 \\ &= 637058,83N \end{aligned}$$

Výpočet síly potřebné k setření materiálu vychází ze vzorce (2.7) z kapitoly 2.1.2

$$F_u = k_{eu} \cdot F_S = 0,13 \cdot 637058,83 = 82817,64N$$

Výpočet síly potřebné pro vysunutí výstřížku ze střížnice dle vzorce (2.8) z kapitoly 2.1.2

$$F_v = k_{ev} \cdot F_S \cdot n = 0,05 \cdot 637058,83 \cdot 1 = 31852,94N$$

- Celková síla

$$F_c = F_S + F_u + F_v = 637058,83 + 82817,64 + 31852,94 = 751729,41N$$

Výpočet střížné práce vychází ze vzorce (2.9) z kapitoly 2.1.2 a tabulky 6.

$$A = \frac{k \cdot F_S \cdot s}{1000} = \frac{0,4 \cdot 637058,83 \cdot 1,27}{1000} = 323,63J$$

Střížníky jsou namáhány na otláčení v dosedací ploše, z toho důvodu je potřeba provést výpočtovou kontrolu dle (2.46) z kapitoly 2.3.1. Otláčení nesmí překročit hodnotu $\sigma = 180MPa$ jinak by nastalo poškození. Velikost ploch S jednotlivých střížníků byla určena pomocí programu SolidWorks.

- Tvarový střížník 1

$$\sigma = \frac{F_{ts1}}{S} = \frac{122888,05}{1863,08} = 65,96MPa$$

Vypočtená hodnota je porovnávána s dovolenou hodnotou na otláčení. V případě, že hodnota je menší než dovolené napětí, není potřeba opěrná deska. V opačném případě je nutná opěrná deska. Kontrola musí být provedena u všech střížníků.

$$65,96MPa < 180MPa \Rightarrow \text{není potřeba opěrná deska}$$

- Tvarový střížník 2

$$\sigma = \frac{F_{ts2}}{S} = \frac{216544,55}{3548,64} = 61,02MPa$$

$$61,02MPa < 180MPa \Rightarrow \text{není potřeba opěrná deska}$$

- Tvarový střížník 3

$$\sigma = \frac{F_{ts3}}{S} = \frac{216544,55}{3548,64} = 61,02MPa$$

$$61,02MPa < 180MPa \Rightarrow \text{není potřeba opěrná deska}$$

- Děrovací střížník 1

$$\sigma = \frac{F_{ds1}}{S} = \frac{49567,8}{327,56} = 151,32MPa$$

$$151,32MPa < 180MPa \Rightarrow \text{není potřeba opěrná deska}$$

- Děrovací střížník 2

$$\sigma = \frac{F_{ds1}}{S} = \frac{31513,88}{107,01} = 294,49 \text{MPa}$$

$$294,49 \text{MPa} > 180 \text{MPa} \Rightarrow \text{je potřeba opěrná deska}$$

Z výpočtů vyplývá, že pouze u děrovacího střížníku je potřeba kalené opěrné desky, protože napětí v dosedací ploše střížníku přesahuje dovolené napětí 180MPa. Z důvodu zjednodušení konstrukce se použije celistvá opěrná deska pro všechny střížníky o velikosti kotevní desky.

Dále je potřeba vypočítat mezeru mezi střížníky a střížnicí. Velikost střížné mezery vychází ze vztahu (2.2) z kapitoly (2.1.1)

$$z = 0,32c \cdot s \cdot \sqrt{\tau_{ps}} = 0,32 \cdot 0,01 \cdot \sqrt{0,8 \cdot 600} = 0,07 \text{mm}$$

$$v = 2 \cdot z = 2 \cdot 0,07 = 0,14 \text{mm}$$

Střížníky jsou vedeny vodící deskou, z toho důvodu se výpočet provede výpočet vzpěrné stability pro vedené střížníky dle vztahu (2.47) z kapitoly 2.3.1. Počítat se bude pouze střížník s nejmenší střížnou plochou => zjištění největší možné délky, při které nedojde ke ztrátě vzpěrné stability. Pro zjednodušení výpočtu je oválný střížník uvažován jako válcový.

$$l_k = \sqrt{\frac{4 \cdot \pi \cdot E \cdot I}{\mu \cdot d \cdot s \cdot \tau_o}} = \sqrt{\frac{4 \cdot \pi \cdot 210000 \cdot \frac{\pi \cdot 9^4}{64}}{2 \cdot 9 \cdot 1,27 \cdot 0,8 \cdot 600}} = 278,31 \text{mm}$$

Délka střížníku je 80mm, kritická délka střížníku $l_k = 278,31 \text{mm}$ poskytuje dostatečnou rezervu.

Střížnice je uvažována jako rovinná deska namáhaná ohybem, kde tlak působí po celé ploše rovnoměrně. Kontrolní výpočet tloušťky střížnice vychází ze vzorce (2.48) z kapitoly (2.3.1)

$$H = \sqrt[3]{0,1 \cdot F_{stř}} = \sqrt[3]{0,1 \cdot 216544,55} = 27,87 \text{mm}$$

Jedná se pouze o přibližný výpočet. Tloušťka střížnice byla zvolena 32mm.

3.4 Výpočty ohýbací části nástroje

Na součásti jsou čtyři ohyby, které se ohýbají v ohýbacím nástroji, a jsou zhotoveny ve dvou krocích. Všechny ohyby jsou o poloměru 8,5mm. Technologie ohýbání odpovídá ohybu do „U“.

- Minimální poloměr ohybu

Výpočet minimální poloměru ohybu (2.14) z kapitoly (2.2.2). Je dána koeficientem „c“ určeného pomocí tabulky 9

$$R_{1min} = \frac{s}{2} \left(\frac{1}{\varepsilon_{1max}} - 1 \right) = c \cdot s = 0,6 \cdot 1,27 = 0,76 \text{mm}$$

- Maximální poloměr ohybu

Výpočet maximální poloměru ohybu (2.16) z kapitoly (2.2.2).

$$R_{1max} = \frac{s}{2} \left(\frac{E}{\sigma_k} - 1 \right) = \frac{1,27}{2} \left(\frac{210000}{270} - 1 \right) = 493,25 \text{mm}$$

V obou případech součást splňuje podmínky poloměru ohybu.

○ Velikost odpružení

Při výpočtu odpružení je potřeba vycházet ze vztahu pro výpočet odpružení ohybu do tvaru „U“. Výpočet vychází ze vztahu (2.11) z kapitoly (2.2.1). Jelikož ohyb probíhá ve dvou operacích, je nutné vypočítat velikost odpružení v obou operacích.

$$\beta_1 = \arctg 0,075 \cdot \frac{l_{U1}}{(1-x) \cdot s} \cdot \frac{R_e}{E} = \arctg 0,075 \cdot \frac{110,4}{(1-0,45) \cdot 1,27} \cdot \frac{270}{210000} = 0^\circ 54'$$

$$\beta_2 = \arctg 0,075 \cdot \frac{l_{U2}}{(1-x) \cdot s} \cdot \frac{R_e}{E} = \arctg 0,075 \cdot \frac{79,5}{(1-0,45) \cdot 1,27} \cdot \frac{270}{210000} = 0^\circ 37'$$

○ Ohybová síla

Výpočet ohýbací síly (2.38) z kapitoly (2.2.4). Nejprve je potřeba vypočítat ohýbací sílu na prvním ohybníku.

$$F_{OU1} = \frac{b \cdot s^2}{2 \cdot l_u} \cdot R_m \cdot C_u = \frac{20 \cdot 1,27^2}{2 \cdot 16,3} \cdot 600 \cdot 1,8 = 1068,67N$$

Rameno ohybu l_u je dáno vztahem (2.35) a ohýbací mezera Z je dána vztahem (2.36) z kapitoly (2.2.4)

$$l_u = R + r + Z = 6,35 + 8,5 + 1,46 = 16,3mm$$

$$Z = 1,15 \cdot s = 1,15 \cdot 1,27 = 1,46mm$$

Síla na druhém ohybníku je dána vztahem:

$$F_{OU2} = \frac{b \cdot s^2}{2 \cdot l_u} \cdot R_m \cdot C_u = \frac{20 \cdot 1,27^2}{2 \cdot 19,73} \cdot 600 \cdot 1,8 = 882,88N$$

$$l_u = R + r + Z = 9,77 + 8,5 + 1,46 = 19,73mm$$

$$Z = 1,15 \cdot s = 1,15 \cdot 1,27 = 1,46mm$$

Celková ohýbací síla se vypočítá ze vztahu:

$$F_{COU} = F_{OU1} + F_{OU2} = 1068,67 + 882,88 = 1951,55N$$

○ Práce při ohýbání

Práce při ohýbání je dána vztahem (2.44) z kapitoly (2.2.4)

$$A_{U1} = F_{OU1} \cdot h \cdot \psi = 1068,67 \cdot 33,7 \cdot 0,65 = 23,41KJ$$

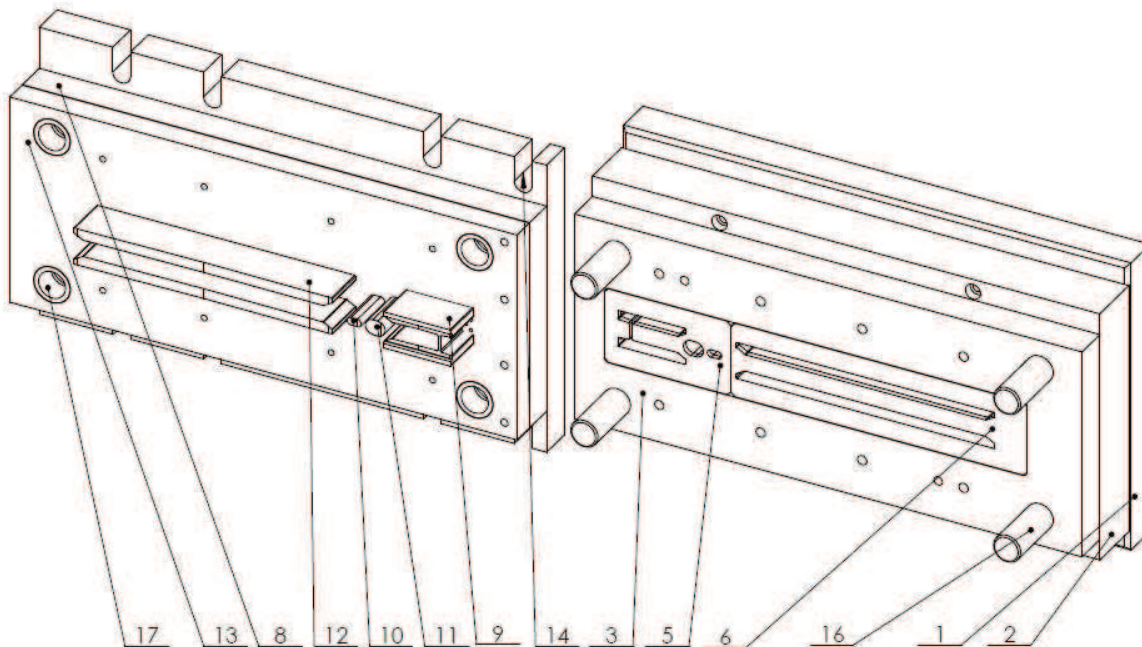
$$A_{U2} = F_{OU2} \cdot h \cdot \psi = 882,88 \cdot 24,5 \cdot 0,65 = 14,05KJ$$

Celková práce při ohýbání do tvaru „U“ se vypočítá součtem jednotlivých prací:

$$A_{UC} = A_{U1} + A_{U2} = 24,41 + 14,05 = 38,46KJ$$

3.5 Popis nástroje

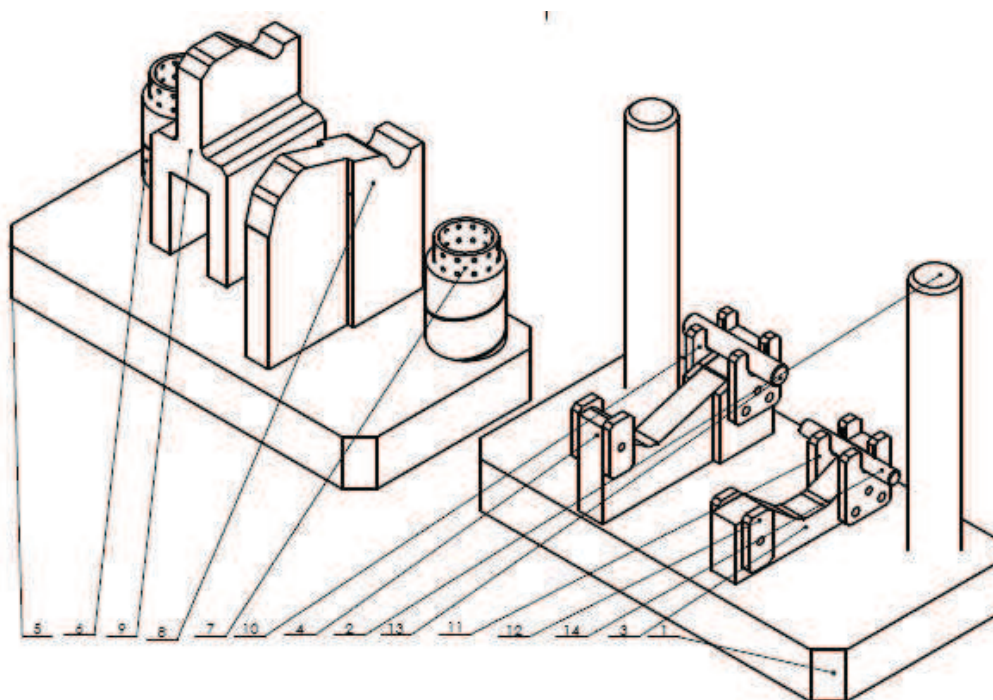
Výroba bude probíhat na dvou pracovištích. Na prvním dochází k vystřížení tvaru součásti, na druhém k ohnutí do potřebného tvaru.



Obr. 43 Střížný nástroj

Ve střížném nástroji (obr. 43) dochází k celkovému vystřížení součástí, včetně všech otvorů. Pro zvýšení přesnosti vzájemných poloh pracovních částí je u stříhadla použito čtyř vodících sloupků (obr. 43 – pozice 16). Vodící sloupky jsou zalisovány do spodní nepohyblivé části nástroje. V horní části jsou zalisovány kluzná pouzdra (obr. 43 – pozice 17), aby nemohlo dojít k zadření. Nástroj je připevněn k pracovnímu stolu lisu pomocí podložné desky (obr. 43 – pozice 1), na kterou je připevněná základová deska (obr. 43 – pozice 2). Podložná deska slouží ke zvýšení nástroje, z důvodu malého pracovního rozsahu lisu. Další dílem je ložná deska (obr. 43 – pozice), která je připevněna k základové desce. Jsou do ní vsazeny střížnice (obr. 43 – pozice 5, 6). Na ložnou desku je připevněna vodící deska, která vede střížníky a současně slouží jako stírač materiálu, při zpětném chodu střížníku. Vsazení slouží ke zvýšení tuhosti střížnic. Spodní nepohyblivé části obsahují pod střížnicemi otvory na propad odpadu. Nástroj se skládá z 5ti střížníků, které jsou připevněny ke kalené kotevní desce (obr. 43 – pozice 13), která slouží k zakotvení jednotlivých střížníků. Upevnění je provedeno šroubovým spojem, za účelem snazšího vyjímání střížníku při ostření. Všechny střížníky jsou vyrobeny jako celistvé. Střížník (obr. 43 – pozice 9) slouží k rozstřížení svitku, současně na něm dochází k ostřížení svitku na šířku 20 mm. Střížník (obr. 43 – pozice 11) je oválného tvaru a slouží k prostřížení většího otvoru. Další v řadě střížníků (obr. 43 – pozice 10), opět oválného tvaru s menším průměrem, slouží k prostřížení menšího otvoru. Poslední střížníky (obr. 43 – pozice 12) stříhají svitek na šířku 20 mm. Velikost kroku je zajištěna podávacím zařízením, z toho důvodu není potřeba dorazů. Ke kotevní desce je připevněna upínací deska (obr. 43 – pozice 8), sloužící k upevnění nástroje za stopku do beranu lisu. Později proběhla úprava nástroje a byla přidána mezideska (obr. 43 – pozice 14), kterou je nástroj připevněn do beranu lisu pomocí šroubu. Toto spojení zajišťuje lepší upevnění oproti stopce.

V ohýbacím nástroji dochází k úplnému ohnutí. Ovšem z důvodu složitosti tvaru součásti musí být nástroj neustále obsluhován. Ohýbání probíhá ve dvou krocích.



Obr. 44 Ohýbací nástroj

Nepohyblivá část nástroje se skládá se základové desky (obr. 44 – pozice 1), která slouží k uchycení nástroje na pracovní stůl lisu. Do desky jsou zalisovány vodící sloupky (obr. 44 – pozice 2), sloužící k zajištění správné polohy horní, pohyblivé části nástroje. Na základovou desku jsou připevněny tvárnice. První ohyb je uskutečněn na tvárnici (obr. 44 – pozice 4), a druhý ohyb na tvárnici (obr. 44 – pozice 3). Tvárnice jsou k základové desce připevněny šroubovým spojem. Správné uložení součásti zajišťují aretační kolíky (obr. 44 – pozice 13,14) a aretační dorazy (obr. 44 – pozice 10,11,12). Pohyblivou část nástroje tvoří kotevní deska, sloužící k upevnění nástroje do beranu lisu a současně jsou k ní připevněny šroubkovým spojem ohybníky (obr. 44 – pozice 8,9). Dalšími částmi horní části nástroje jsou vodící pouzdra (obr. 44 – pozice 6), která jsou zalisována do kotevní desky. Mezi vodícími sloupky a vodícími pouzdry je kuličková klec (obr. 44 – pozice 7), která zajišťuje pohyblivost nástroje. Názorná ukázka jednotlivých kroků ohybu je v příloze 8.

3.6 Volba strojů

. Výroba součásti bude probíhat na dvou pracovištích. Z důvodu úspory pracovních sil je stříhání na automatizované lince. Linka se skládá z odvíjáku se svítkem materiálu, rovnačky s funkcí podavače, který určuje správnou velikost kroku, lisu se střížným nástrojem a pásem na odvod výstřížků. Z důvodu složitého tvaru součásti není možná výroba ve sdrženém nástroji. Ohýbání probíhá na dalším stroji, který musí být obsluhován pracovníkem.

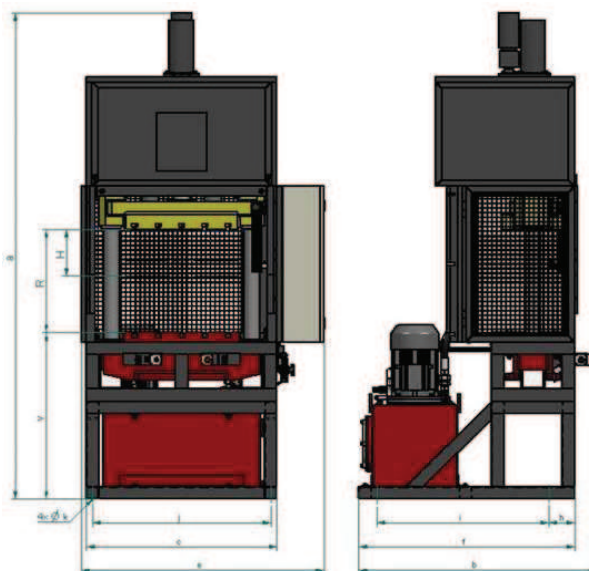
- volba stroje na stříhání - nejdůležitějším parametrem při volbě tvářecího stroje je velikost celkové síly potřebné ke zhotovení součásti. Síla se rovná součtu všech tvářecích a pomocných sil.

$$F_c = F_s + F_u + F_v = 637058,83 + 82817,64 + 31852,94 = 751729,41N$$

Zvolný stroj musí disponovat jmenovitou silou větší než 751kN. Dalšími parametry, na které je nutné brát ohled, jsou rozměr pracovního stolu, velikost zdvihu a sevrění stroje. Těmto parametrům vyhovuje hydraulický lis CUPJ 1000 DEU s jmenovitou silou 1000kN od firmy HVŠ stroje. Technické parametry lisu jsou uvedeny v tabulce 16.

Tab.16 Technické údaje lisu CUPJ[12]

CUPJ xx DEU		6,3	100	
Jmenovitá síla	kN	63	1000	
Jmenovitý tlak	MPa	16	25	
Pojistovací tlak	MPa	17	26	
Jmenovitý příkon	kW	2	15,5	
Rychlost beranu	mm/s	75/55/20	90/65/45	
	mm/s	30/20/8	22/15/8	
	mm/s	2/38/12	75/55/40	
Rozevření	R	mm	600	670
Zdvih beranu	H	mm	250	300
Průchod mezi sloupy	P	mm	450	800
Stůl	A1xB1	mm	300x400	500x750
Beran	A2xB2	mm	200x350	400x720
Výška	a	mm	2600	3130
Hloubka	b	mm	1140	1525
Šířka stojanu	c	mm	900	1220
Propad ve stole	d	mm	100	125
Šířka lisu	e	mm	1250	1570
Hloubka podstavce	f	mm	1000	1380
Výška stolu	v	mm	1070	1070
Hmotnost	kg	300	3100	



- volba stroje na ohýbání – požadavky na stroj jsou stejné jako stříhání.

$$F_{COU} = F_{OU1} + F_{OU2} = 1068,67 + 882,88 = 1951,55N$$

Ohýbání tak tenkého plechu není tak náročné na velikost síly jako stříhání. Podle výše daných parametrů na volbu stroje byl zvolen lis CUPJ 6,3 DEU s jmenovitou silou 63kN od firmy HVŠ stroje. Technické parametry lisu jsou uvedeny v tabulce 17.

Dále byly zvoleny přídatná zařízení:

Odviják DP 1030 od firmy Rebenda. Technické parametry odvíjáku jsou uvedeny v příloze 5.

Podávací rovnačku RP 303 od firmy Rebenda. Technické parametry odvíjáku jsou uvedeny v příloze 6.

4 TECHNICKO-EKONOMICKÉ HODNOCENÍ

Při návrhu součásti je nutné provést technicko-ekonomické hodnocení navržené výroby. Zhodnocení návrhu spočívá v určení předběžné kalkulace přímých a nepřímých nákladů, stanovení předběžné ceny součásti a provedením výpočtu minimálního množství součástí, které je nutné vyrobit pro tvorbu zisku.

4.1 Přímé náklady

Přímé náklady představují položky přiřaditelné k výpočtu kalkulační jednice tj. náklady na výrobu jednoho kusu. Do této skupiny nákladů patří výdaje za materiál, mzdy zaměstnancům a energie.

➤ Náklady na materiál

Jak bylo v předchozích kapitolách, součást bude vyráběna ze svitku plechu o tloušťce 1,27mm a šířce pásu 30mm ve výrobní sérii 120 000ks/rok. V prvním kroku je potřeba spočítat celkové množství svitku pro celkové množství součástí.

▪ Hmotnost svitku

$$m_s = \rho_o \cdot V_s = \frac{D_m^2 - d_m^2}{4} \cdot \pi \cdot \rho_o \cdot B_m = \frac{0,94^2 - 0,42^2}{4} \cdot \pi \cdot 7850 \cdot 0,03 = 130,8Kg \quad (4.1)$$

kde V_s ... objem svitku [m^3]

ρ_o ... hustota oceli, $\rho_o = 7850kg/m^3$

D_m ... vnější průměr svitku [m]

d_m ... vnitřní průměr svitku [m]

B_m ... šířka svitku [m]

▪ Délka svitku

$$L = \frac{\frac{D_m^2 - d_m^2}{4} \cdot \pi}{s} = \frac{\frac{940^2 - 420^2}{4} \cdot \pi}{1,27} \cong 414340mm \quad (4.2)$$

▪ Počet výstřížků z jednoho svitku plechu

$$n_v = \frac{L - E_m}{K} = \frac{414340 - 3}{409} = 1013,05 \cong 1013ks \quad (4.3)$$

kde E_m ... délka můstku [mm]

K ... délka kroku [mm]

▪ Celkový počet svitků

Celkový počet svitků pro výrobní dávku 120 000ks se vypočítá ze vztahu:

$$n_{sv} = \frac{120000}{n_v} = \frac{120000}{1013} \cong 119ks \quad (4.4)$$

▪ Velikost využití materiálu

$$\eta = \frac{n_v \cdot S_o}{S_p} \cdot 100 = \frac{1013 \cdot 8337,58}{12430200} \cdot 100 = 67,95\% \quad (4.5)$$

kde S_o ... celková plocha součásti, určená programem SolidWorks [mm^2]

S_p ... celková plocha svitku plechu, $S_p = B_m \cdot L$ (4.6)

- Zhodnocení odpadu

Odpad vzniklý při výrobě součásti se prodává do výkupen. Zhodnocení odpadu vychází ze vztahu:

$$V_o = \frac{100-\eta}{100} \cdot m_s \cdot p_o \cdot n_{sv} = \frac{100-67,95}{100} \cdot 130,8 \cdot 28 \cdot 119 = 139682Kč \quad (4.7)$$

kde p_o ... cena za 1kg odpadu, $p_o = 28kč/kg$ dle aktuální ceníku výkupen

- Celkové náklady na materiál

$$N_m = (m_s \cdot p_m \cdot n_{sv}) - V_o = (130,8 \cdot 51 \cdot 119) - 139682 = 654143Kč \quad (4.8)$$

kde p_m ... cena za 1kg materiálu, $p_m = 51kč$ dle ceníku výkupen

- Náklady na jednu součást – (pouze součást bez válečků a šroubu)

$$N_{ms} = \frac{654143}{120000} = 5,45Kč \quad (4.9)$$

- Náklady na mzdy

Výrobní linka bude obsluhována jedním pracovníkem. Zaměstnavatel hradí na jednoho pracovníka včetně sociálního a zdravotního pojištění $M=145Kč/hod.$ Z důvodu dlouhého pracovního kroku je počet zdvihů lisu 10/min.

- Celkový čas výroby série

$$t_v = \left(\frac{t_A}{60} + \frac{t_B}{60 \cdot n_v} \right) \cdot 120000 = \left(\frac{0,1}{60} + \frac{30}{60 \cdot 1013} \right) \cdot 120000 = 259,23Nhod \quad (4.10)$$

kde t_A ... čas jednotkové práce, $t_A = \frac{60}{10 \cdot 60} = 0,1min$

t_B ... čas dávkové práce, $t_B = 30min$ (čas přípravy výroby, kontroly, výměny svitku)

- Celkové náklady na mzdy pro zaměstnance

$$N_{mzc} = M \cdot t_v = 145 \cdot 259,23 = 37588,35Kč \quad (4.11)$$

- Náklady na mzdy pro zaměstnance na jednu součást

$$N_{mzs} = \frac{N_{mzc}}{120000} = \frac{37588,35}{120000} = 0,31Kč \quad (4.12)$$

- Náklady na energie

Náklady na energie vycházejí z příkonů jednotlivých strojů.

- Celkové náklady na energie

$$N_e = (P_o + P_R + P_L) \cdot \left(\frac{t_A}{60} \cdot 120000 \right) \cdot P_e = (2,2 + 1,5 + 15,5) \cdot \left(\frac{0,1}{60} \cdot 120000 \right) \cdot 2,8 = 10752Kč \quad (4.13)$$

kde P_o ... příkon odvijáku, $P_o = 2,2kW$ (dle přílohy 5)

P_R ... příkon rovnačky, $P_R = 1,5kW$ (dle přílohy 6)

P_L ... příkon lisu, $P_L = 15,5kW$ (dle přílohy 7)

P_e ... cena jedné kWh, $P_e = 2,8Kč$

- Náklady na energie na jednu součást

$$N_{es} = \frac{10752}{120000} = 0,0896Kč \quad (4.14)$$

4.2 Nepřímé náklady

Do nepřímých nákladů jsou zahrnuty náklady, které nelze zahrnout do kalkulace jednice. Mezi tyto náklady patří výrobní režie, správní režie a náklady na nástroj.

➤ Náklady na nástroje

Nástroje budou vyrobeny externí firmou. Přibližný odhad ceny střížného nástroje je $N_{ns} = 230000Kč$, ohýbacího nástroje $N_{no} = 60000Kč$.

➤ Správní režie

Náklady související se správou a řízením firmy představuje správní režie, která je stanovena na 100% z objemu mezd.

$$N_{sr} = 1 \cdot N_{mzc} = 1 \cdot 37588,35 = 37588,35Kč \quad (4.15)$$

➤ Výrobní režie

Náklady související s řízením a obsluhou výroby jsou výrobní režie, které byly stanoveny na 400% u objemu mezd.

$$N_{vr} = 4 \cdot N_{mzc} = 4 \cdot 37588,35 = 150353,4Kč \quad (4.16)$$

4.3 Celkové náklady

○ Celkové náklady

Celkové náklady jsou dány součtem všech dílčích nákladů.

$$N_c = N_m + N_{mzc} + N_e + N_{ns} + N_{no} + N_{sr} + N_{vr} = 654143 + 37588,35 + 10752 + 230000 + 60000 + 37588,35 + 150353,4 = 973425,1Kč$$

○ Náklady na jednu součást

$$N_{cs} = \frac{N_c}{120000} = \frac{973425,1}{120000} = 8,12Kč$$

Kalkulace výpočtu ceny jedné součásti je uvedena v tabulce 18. Výše zisku byla stanovena na 10% z celkových nákladů

Tab.17 Kalkulace ceny součásti

	Náklady na jednici [Kč/ks]	Celkové náklady [Kč]
Přímý materiál	5,45	654143
Přímé mzdy	0,31	37588,35
Energie	0,0896	10752
Náklady na nástroj		290000
Výrobní režie		37588,35
Správní režie		150353,4
Σ	8,12	973425,1
Zisk	10%	10%
Cena	8,932	1070767,61

5 ZÁVĚRY

Montážní pásek slouží jako držák ventilačního potrubí v nákladních automobilech. Součást je vyrobena z korozivzdorné feritické oceli 1.4510 o tloušťce 1,27mm, v sérii 120000ks/rok. Po uvážení a porovnání možných variant výroby se ukázalo, že optimální technologií výroby bude stříhání s následným ohýbáním na lisu.

Technologie stříhání a ohýbání obsahuje detailní popis činitelů ovlivňujících tváření a mechanismus dějů nastávající v průběhu zpracování polotovaru. Na základě teoretického poznání daných technologií lze předejít komplikacím, které vznikají v praxi. Při návrhu výroby byly porovnány varianty umístění výlisku, z kterých byla zvolena podélná poloha součásti vzhledem k posuvu pásu svitku, u kterého vyšla využitelnost materiálu na 67,95%. Velikost kroku je dána rovnačkou s funkcí podavače.

Provedením technologických a konstrukčních výpočtů byla zjištěna celková síla 751,73kN potřebná k vystřížení součásti ze svitku a zvolen hydraulický lis CUPJ 100 DEU o jmenovité síle 1000kN. U ohýbání byla zjištěna celková síla 1,95kN a byl zvolen hydraulický lis CUPJ 63 DEU. Dále byly zvoleny přídatná zařízení na odvíjení a rovnání svitku, aby byla zajištěna co největší automatizace.

Následovalo zjištění výhodnosti technicko-ekonomickým zhodnocením. Výrobní cena jedné součásti bude 8,12Kč

SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

1. BAČA, Jozef, Jozef BÍLIK a Viktor TITTEL. *Technológia tvárnenia*. 1. vyd. Bratislava: Nakladateľstvo STU, 2010, 246 s. Edícia vysokoškolských učebníc. ISBN 978-80-227-3242-0.
2. BAREŠ, Karel. *Lisování*. Praha: SNTL, 1971, 544 s. ISBN L13-E1-IV-41/22221/X.
3. BOBČÍK, Ladislav. *Střížné nástroje pro malosériovou výrobu*. 1.vydání. Praha: SNTL, 1983. ISBN L13-B2-IV-31/22703.
4. *Bohdan Bolzano* [online]. [cit. 2013-05-16]. Dostupné z: http://prirucka.bolzano.cz/cz/technicka-podpora/technicka-prirucka/zaruvzdorne_oceli/korozivzdorne/Materialovelisty/ferriticke/X3CrNiTi17/
5. *Břicháč Pavel: Plazmové technologie* [online]. [cit. 2013-05-16]. Dostupné z: http://www.aldebaran.cz/bulletin/2004_20_plt.html
6. 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.
7. DVOŘÁK, Milan. *Technologie II*. 3. dopl. vyd. Brno: CERM, 2001, 238 s. ISBN 80-214-2032-4.
8. FOREJT, Milan a Miroslav Píška. *Teorie obrábění, tváření a nástroje*. 1. vyd. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2006, 225 s. ISBN 80-214-2374-9.
9. *Formmetal, s.r.o: Prodej a servis plechotvářecích strojů* [online]. [cit. 2013-05-16]. Dostupné z: <http://www.formetal.cz/index.html>
10. FRANK, August. *Strojírenská technologie 4: Výrobní pomůcky*. 1.vydání. Praha: SNTL, 1978. ISBN L13-C2-IV-85/25628.
11. FREMUNT, P., J. KREJČÍK a T. PODRÁBSKÝ. *Nástrojové oceli (odborná kniha)*. 1. vyd. Brno: Dům techniky. 1994. 230 s.
12. *HŠV stroje, a.s.: Pneumatické a hydraulické lisy* [online]. [cit. 2013-05-16]. Dostupné z: <http://www.hsvpolicka.cz/universalni-hydraulicke-sloupove-lisy-cupj.aspx>
13. KOTOUČ, Jiří, Jan ŠANOVEC, Jan ČERMÁK a Luděk MÁDLE. *Tvářecí nástroje*. 1. vyd. Praha: ČVUT Praha, 1993, 349 s. ISBN 80-010-1003-1.
14. *Lasery a optika* [online]. [cit. 2013-05-16]. Dostupné z: <http://www.lao.cz/lao-info-49/serial-na-tema-lasery---laserove-rezani-laser-cutting-129>
15. LENFELD, Petr. *Technologie II: Tváření kovů, zpracování plastů* [online]. Liberec: Technická univerzita v Liberci, [cit.2013-03-11]. Dostupný na: http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta_tkp/obsah.htm
16. *MM Průmyslové spektrum* [online]. [cit. 2013-03-11]. Dostupné z: <http://www.mmspektrum.com/clanek/akademie-tvareni-strihani.html>
17. NOVOTNÝ, Josef a Zdeněk LANGER. *Stříhání a další způsoby dělení materiálu*. 1.vydání. Praha: SNTL, 1980. ISBN L13-B3-IV-41/22674.
18. NOVOTNÝ, Karel. *Nástroje a přípravky: část I.-tváření*. Brno: Ediční středisko VUT Brno, 1982. 180 s.
19. PETRUŽELKA, Jiří a Richard BŘEZINA. *Úvod do tváření II: Plošné tváření*. [online]. Ostrava: Vysoká škola Baňská – Technická univerzita Ostrava, 2001 [cit. 2013-03-11]. Dostupné z: http://www.345.vsb.cz/jiripetruzelka/texty/uvod_tv2.pdf
20. *Plošné tváření: Ohýbání* [online]. [cit. 2013-05-21]. Dostupné z: <http://strojirenstvi-stredni-skola.blogspot.cz/2011/03/3852-ohybani.html>

21. *Rebenda: Tvářecí stroje a mechanizace* [online]. [cit. 2013-05-16]. Dostupné z: http://www.rebenda.cz/czech/index_cz.htm
22. RENTKA, Josef. *Technologie tváření a slévání*. [online]. Ostrava: Vysoká škola Baňská – Technická univerzita Ostrava [cit. 2013-03-11]. Dostupné z: http://vsb.rfoto.cz/file/TTaS_07.pdf
23. SOBOTKA, Jiří. *Technologie II: Tváření kovů a plastů*. [online]. Liberec: Technická univerzita v Liberci, [cit. 2013-03-11]. Dostupné z: http://www.technomat.cz/data/katedry/ksp/KSP_TKP_CV_05_CZE_Sobotka_Deleni_plechu_a_profilu_strihanim.pdf
24. SUCHOMEL, Svatoslav. *Výroba objímky*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Odbor technologie tváření kovů a plastů, 2011. 68 s, 3 přílohy, 4 výkresy, CD. Vedoucí diplomové práce Ing. Kamil Podaný, Ph.D.
25. *Šmeral, a.s.: Výroba a opravy tvářecích strojů* [online]. [cit. 2013-05-16]. Dostupné z: <http://www.smeral.cz/DefaultCZ.html>
26. *Wikipedie: Otevřená encyklopedie* [online]. [cit. 2013-05-16]. Dostupné z: http://cs.wikipedia.org/wiki/Hlavn%C3%AD_strana
27. *ŽĎAS, a.s.: Výroba tvářecích strojů* [online]. [cit. 2013-05-16]. Dostupné z: <http://www.zdas.cz/content.aspx?id=67>

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

Označení	Jednotka	Legenda
A_5	[%]	tažnost
A	[J]	střížná práce
A_{cu}	[J]	ohybová práce s přidržovačem při ohybu do tvaru „V“
A_u	[J]	ohybová práce při ohybu do tvaru „U“
A_v	[J]	ohybová práce při ohybu do tvaru „V“
A_{uc}	[J]	celková ohybová práce při ohybu do tvaru „V“
B_m	[m]	šířka svitku
C	[-]	součinitel, tzv. Caliho konstanta zohledňující třecí sílu a víceosý stav napjatosti při ohýbání
C_u	[-]	konstanta zohledňující třecí sílu a víceosý stav napjatosti
c	[-]	součinitel závislý na stupni stříhu
d	[mm]	průměr střížníku
D_m	[m]	vnější průměr svitku
d_m	[m]	vnitřní průměr svitku
E	[MPa]	modul pružnosti v tahu
E_m	[mm]	délka můstku
F_C	[N]	celková síla při stříhání
F_{cou}	[N]	celková ohýbací síla při ohybu do tvaru „U“
F_{cv}	[N]	celková ohýbací síla při ohybu do tvaru „V“
F_k	[N]	kalibrační síla při ohýbání
F_{oh}	[N]	ohraňovací síla na 1 metr délky
F_p	[N]	přidržovací síla při ohýbání
F_{pr}	[N]	protlačovací síla při stříhání
F_R	[N]	vyrovnávací síla
F_s	[N]	střížná síla
F_{st}	[N]	stírací síla při stříhání
F_{ou}	[N]	ohýbací síla při ohybu do tvaru „U“
F_{ov}	[N]	ohýbací síla při ohybu do tvaru „V“
H	[mm]	tloušťka střížnice
h	[mm]	dráha ohybníku
J	[mm ⁴]	kvadratický moment průřezu
K	[mm]	délka kroku
k	[-]	součinitel zohledňující otupení nástroje
k_{eu}	[-]	koeficient, závisí na druhu střížných nástrojů a druhu stříhaného materiálu
k_{ev}	[-]	koeficient, závisí na tloušťce a druhu stříhaného materiálu
l	[mm]	délka čáry stříhu
l_0	[mm]	délka vlákna neutrální vrstvy
l_1	[mm]	délka krajního stlačeného vlákna
l_2	[mm]	délka krajního prodlouženého vlákna
l_j	[mm]	délka jednotlivých rovných úseků
l_{oi}	[mm]	délka jednotlivých ohnutých úseků
l_{ri}	[mm]	obvod vysekávacího razníku
l_U	[mm]	vzdálenost mezi podpěrami při ohybu do „U“
l_V	[mm]	vzdálenost mezi podpěrami při ohybu do „V“
M_{ov}	[N.m]	ohybový moment vnějších sil při ohybu do tvaru „V“
M_{ovn}	[N.m]	ohybový moment vnitřních sil
M_{uv}	[N.m]	ohybový moment vnějších sil při ohybu do tvaru „U“

n_s	[-]	koeficient, zahrnuje vliv vnějších podmínek stříhání,
O	[mm]	střížný obvod
P_L	[kWh]	příkon lisu
P_R	[kWh]	příkon rovnačky
P_e	[kWh]	cena jedné kWh
P_o	[kWh]	příkon odvíjáku
p	[MPa]	vyrovnávací tlak
p_m	[Kč]	cena za 1kg materiálu
p_o	[Kč]	cena za 1kg odpadu
R	[mm]	poloměr ohýbací hrany ohybnice
R_0	[mm]	poloměr ohybu
R_1	[mm]	poloměr ohybu krajního stlačeného vlákna
R_2	[mm]	poloměr ohybu krajního prodlouženého vlákna
R_{1min}	[mm]	minimální poloměr ohybu
R_{1max}	[mm]	maximální poloměr ohybu
R_e, σ_K	[MPa]	mez kluzu
R_m	[MPa]	mez pevnosti materiálu
r_1	[mm]	požadovaný poloměr ohybu
r_{1i}	[mm]	poloměr ohybu v i-tém místě ohybu
r_2	[mm]	poloměr ohybu po odlehčení
r_m	[mm]	poloměr zaoblení ohybnice
r_p	[mm]	poloměr zaoblení ohybníku
S_s	[mm ²]	plocha stříhu
S_o	[mm ²]	celková plocha výstřižků
S_p	[mm ²]	plocha pásu plechu
s	[mm]	tloušťka materiálu
t_A	[min]	čas jednotkové práce,
t_B	[min]	čas dávkové práce
v	[mm]	střížná vůle
V_s	[m ³]	objem svitku
W_{opl}	[mm ³]	plastický průřezový modul v ohybu
W_o	[mm ³]	průřezový modul v ohybu
x	[-]	koeficient posunutí neutrální osy
x_i	[-]	koeficient posunutí neutrální osy v i-tém místě ohybu
Z	[mm]	ohýbací mezera,
z	[mm]	velikost střížné mezery
α	[°]	úhel daného elementu
α_1	[°]	požadovaný úhel ohybu
α_{1i}	[°]	úhel ohybu v i-tém místě ohybu
α_2	[°]	úhel ohybu po odpružení
β	[°]	úhel odpružení
β'	[°]	úhel usmyknutí
$\varepsilon_1, \varepsilon_2, \varepsilon_3$	[-]	složky poměrného přetvoření
ε_{1max}	[-]	maximální poměrné přetvoření
μ	[-]	koeficient bezpečnosti
π	[-]	ludolfovo číslo
ρ	[mm]	poloměr neutrální osy
ρ_i	[mm]	poloměr ohybu neutrální vrstvy v i-tém místě ohybu

ρ_o	[kg/m ³]	hustota oceli,
$\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$	[MPa]	složky napětí
σ_E	[MPa]	mez pružnosti
σ_o	[MPa]	napětí v ohybu
τ_s	[MPa]	střížný odpor
ψ	[-]	součinitel plnosti diagramu

SEZNAM POUŽITÝCH OBRÁZKŮ

Obr. 1 Součásti zhotovené plošným tvářením	- 10 -
Obr. 2 Montážní pásek	- 11 -
Obr. 3 Řezání vodním paprskem	- 12 -
Obr. 4 Řezání laserem	- 12 -
Obr. 6 Stříhání	- 13 -
Obr. 5 Řezání plasmou	- 13 -
Obr. 7 Ohýbání	- 13 -
Obr. 8 Schéma stříhání	- 14 -
Obr. 9 Fáze při stříhání	- 14 -
Obr. 10 Střížná plocha	- 15 -
Obr. 11 Průběh napětí na střížnici	- 15 -
Obr. 12 Vliv střížné vůle na tvorbu střížné plochy	- 16 -
Obr. 13 Schéma střížné vůle	- 17 -
Obr. 14 Úprava střížných hran ke zmenšení střížné síly	- 18 -
Obr. 15 Průběh síly a dráhy při stříhání	- 18 -
Obr. 16 Příklady nástřihových plánů	- 21 -
Obr. 17 Rozložení a velikost napětí v materiálu	- 22 -
Obr. 18 Úhel odpružení	- 23 -
Obr. 19 Diagram pro určení úhlu odpružení	- 23 -
Obr. 20 Deformační schéma ohybu	- 24 -
Obr. 21 Určení délky polotovaru při ohýbání	- 25 -
Obr. 22 Ohýbání do tvaru „V“	- 26 -
Obr. 23 Ohýbání do tvaru „U“	- 27 -
Obr. 24 Vliv směru vláken	- 29 -
Obr. 25 Úprava okrajů	- 29 -
Obr. 26 Uvolnění od neohýbaných částí	- 29 -
Obr. 27 Konstrukční úprava	- 29 -
Obr. 28 Umístění otvorů	- 29 -
Obr. 29 Nástroj.....	- 30 -
Obr. 30 Jednoduchý střížný nástroj	- 32 -
Obr. 31 Postupové střížné nástroje	- 32 -
Obr. 32 Způsoby zajištění střížníků.....	- 33 -
Obr. 33 Celistvá střížnice	- 34 -
Obr. 34 Dělená střížnice s ohybnicí	- 34 -
Obr. 35 Ohýbací nástroj	- 35 -
Obr. 36 Rozměry vyráběné součásti	- 39 -
Obr. 37 Jednotlivé úseky pro výpočet rozvinuté délky.....	- 39 -
Obr. 38 Jednotlivé poloměry ohybu.....	- 39 -
Obr. 39 Rozvinutá délka součásti	- 41 -
Obr. 40 Příčné uspořádání.....	- 42 -
Obr. 41 Podélné uspořádání součástí	- 42 -
Obr. 42 Uspořádání střížníků.....	- 42 -
Obr. 43 Střížný nástroj	- 46 -
Obr. 44 Ohýbací nástroj	- 47 -

SEZNAM POUŽITÝCH TABULEK

Tab.1 Značení oceli 1.4510	- 11 -
Tab.2 Chemické složení oceli 1.4510	- 11 -
Tab.3 Mechanické vlastnosti oceli 1.4510	- 11 -
Tab.4 Poměrná hloubka vniku	- 15 -
Tab.5 Velikost střížné vůle	- 17 -
Tab.6 Hodnoty koeficientu „k“	- 19 -
Tab.7 Úhel usmyknutí β' ocelových materiálů při stříhání	- 20 -
Tab.8 Posunutí neutrální osy	- 22 -
Tab.9 Hodnoty součinitele c pro různé materiály	- 24 -
Tab.10 Tlak při ohýbání s vyrovnáváním ramen	- 27 -
Tab.11 Střížné hrany střížnice	- 35 -
Tab.12 Zaoblení a hloubka pevné čelisti	- 36 -
Tab.13 Konstrukční oceli používané při výrobě nástrojů	- 37 -
Tab.14 Používané litiny na nástroje	- 37 -
Tab.15 Přehled nástrojových ocelí	- 38 -
Tab.16 Technické údaje lisu CUPJ	- 48 -
Tab.17 Kalkulace ceny součásti.....	- 51 -

SEZNAM PŘÍLOH

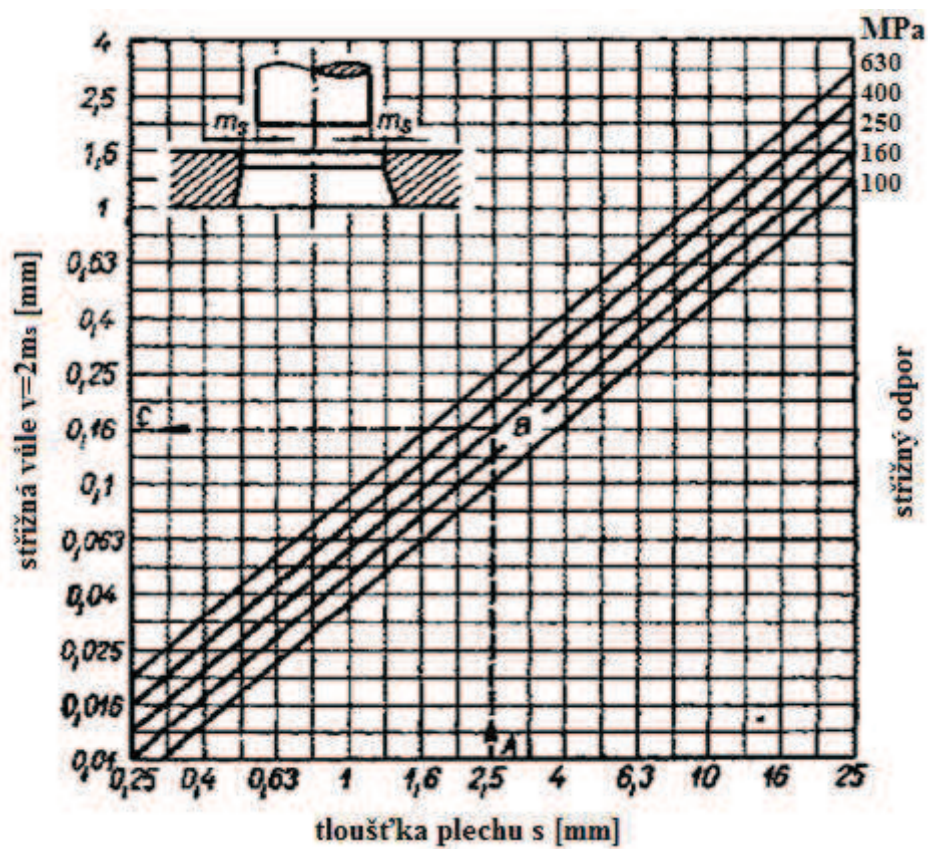
Příloha 1 – Normogram určování střížné vůle
Příloha 2 – Lisy klikové jednobodové
Příloha 3 – Výstředníkové lisy
Příloha 4 – Hydraulické lisy
Příloha 5 – Odvíjáky
Příloha 6 – Rovnačky
Příloha 7 – Zvolený stroj
Příloha 8 – Jednotlivé kroky při ohýbání

SEZNAM VÝKRESOVÉ DOKUMENTACE

Výkres součásti	Rozstříhový razník	S-4-50/61-06
Výkres součásti	Střížnice – rozstříh+ovály	S-4-50/61-01
Výkres součásti	Tvarník 2	O-4-50/61-13
Výkres součásti	Tvarnice 2	O-4-50/61-03
Výkres sestavy	Sestava střížný nástroj	S-3-50/61-00
Výkres sestavy	Sestava ohýbací nástroj	O-3-50/61-00
Kusovník		S-3-50/61-00/01
Kusovník		O-4-50/61-00/01

Příloha 1 - Normogram určování střížné vůle [19]

1/1



Příloha 2 - Lisy klikové jednobodové [27]

1/1



Základní technické parametry		LKJA 250	LKJA 400	LKJA 630	LKJA 1000
Jmenovitá síla	kN	2 500	4 000	6 300	10 000
Sevřená výška	mm	550	650	750	850
Zdvih	mm	250	315	400	450
Počet zdvihů – trvale	mm ⁻¹	26	22	18	16
Počet zdvihů – jednotlivě	mm ⁻¹	14	12	10	8
upínací plocha beranu – šířka x hloubka	mm	800 x 700	1000 x 850	1200 x 1000	1300 x 1000
Přestavení beranu	mm	150	180	200	250
upínací plocha stolu	mm	950 x 800	1200 x 1000	1350 x 1200	1500 x 1300
Přidržovací síla	kN	400	630	1000	1600
Zdvih spodního přidržovače	mm	80	120	150	160
Přestavení spodního přidržovače	mm	80	120	150	160
Výkon hlavního motoru	kN	30	37	55	90

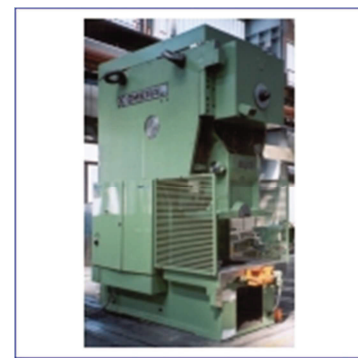


Příloha 3 – Výstředníkové lisy [25]

1/1


ŠMERAL BRNO a.s.
Výstředníkové lisy - Základní technické parametry - Řada lisů S / S-E

		S 160	S 250	S 160 E	S 250-E
Jmenovitá tvářecí síla	kN	1600	2500	1600	2500
Zdvih	mm	20 - 160	30 - 200	20 - 160	30 - 200
Sevření	mm	500	600	500	600
Přestavení beranu	mm	100	125	100	125
Počet zdvihů	1/min	40/60	50	40	50
Rozměr stolu	mm	1200x800	1400x1000	1200x800	1400x1000
Rozměr beranu	mm	860x520	1000x650	860x520	1000x650



**ŠMERAL BRNO a.s.****Hydraulický slícovací lis - Základní technické parametry**

		CYS 320
Jmenovitá tvářecí síla	kN	3200
Zdvih	mm	200
Sevření (minimální vzdálenost beranu a stolu)	mm	560
Pracovní rychlost	mm/s	5
Přibližovací rychlost	mm/s	15
Rozměr stolu	mm	2000x1010
Rozměr beranu	mm	2000x1000



Příloha 5 – Odvíjáky [29]

1/1

**POUŽITÍ**

Odvíják DP 1030 je určen k pasivnímu odvíjení svitkového materiálu. K odvíjení je tedy nutné vždy zařadit za odvíják rovnačku pásového materiálu. Odvíják DA 1030 je určen k aktivnímu odvíjení svitkového materiálu. Odvíjáky je možné zařadit do běžné tvářecí linky, kde velikost svitku nepřesáhne uvedené maximální parametry.

KONSTRUKČNÍ PROVEDENÍ

Oba typy odvíjáků jsou vybaveny tříčelistovým rozpínacím trnem, jehož rozsah je možné zvětšit za pomoci nastavovacích čelistí. Pod zadním krytem pasivního odvíjáku DP 1030 je uložena pneumatická brzda. Účinek brzdou je možné regulovat pomocí redukčního ventilu. Pro snadné nasazování svitku je možné rozpínací trn brzdou zaaretovat v libovolné poloze. Přítlačná páka je ovládána pneumatickým válcem, který je umístěn oproti tradiční konstrukci uvnitř stojanu, čímž se eliminuje jeho poškození. Aktivní odvíják DA 1030 je vybaven asynchronním motorem s brzdou, který je řízen frekvenčním měničem. Motor pohání přes exentrickou pomaloběžnou převodovku rozpínací trn. Aktivní odvíják DA 1030 je možné používat i pro navijení.]

	DP 1030	DA 1030	
Maximální hmotnost svitku	1000		kg
Maximální šířka svitku	300		mm
Minimální vnitřní průměr svitku	390		mm
Maximální vnitřní průměr svitku	425		mm
Rozsah rozpínacího trnu*)	φ380 - φ435		mm
Maximální vnější průměr svitku	1500		mm
Vzdálenost osy odvíjení od základny	1050		mm
Celkové rozměry - šířka x hloubka x výška	1900x1290x1900	1900x1170x1900	mm
Hmotnost s příslušenstvím	430	470	kg
Připojovací napětí		230	V
Příkon		2,2	KW
Tlak vzduchu	0,6	0,6	MPa

*) Rozsah rozpínacího trnu lze zvýšit při použití nástavců (nejsou součástí základního vybavení stroje). Maximální vnitřní průměr svitku je omezen na 590mm.

Příloha 6 - Rovnačky [29]

1/1

**POUŽITÍ**

Rovnačka RP 303 slouží k rovnání pásového polotovaru ze svitku před jeho technologickým zpracováním. Nejčastěji se uplatní zařazená do automatické tvářecí linky spolu s odvíjecím zařízením, podavačem, lisem a případně dělicím zařízením. Konkrétní užití rovnačky je vhodné konzultovat přímo s výrobcem.

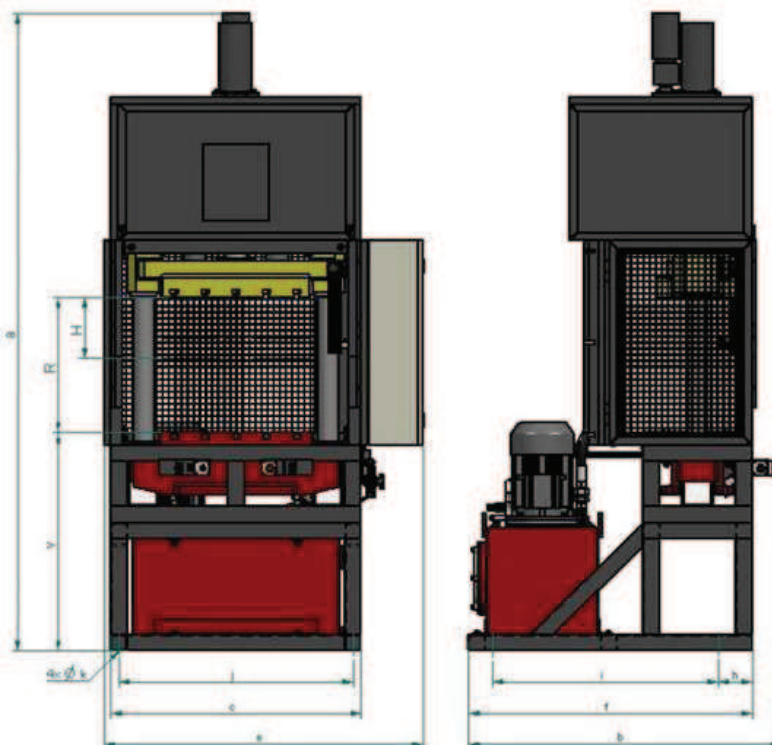
KONSTRUKČNÍ PROVEDENÍ

Rovnačka je opatřena čtyřmi zaváděcími válci a osmi rovnacími válci. Zaváděcí válce jsou spolu s dolními rovnacími poháněny elektromotorem. Konstrukční provedení horních hnaných válců umožňuje jejich snadné seřízení tak, aby bylo možno docílit maximálního rovnacího účinku. Ke zvýšení produktivity práce přispívá rychlé zavedení nového pásu a snadná údržba rovnačky. Rovnačku lze ovládat ručně z ovládacího panelu, nebo automaticky od hlídání smyčky. Pohon asynchronním motorem s měničem frekvence umožňuje plynulou změnu rovnací rychlosti dle kadence tvářecí linky.

Maximální šířka rovnaného materiálu	300	mm
Maximální tloušťka rovnaného materiálu	3	mm
Maximální šířka při tloušťce 6mm	70	mm
Rozsah rovnací rychlosti	3 ÷ 30	m/min
Průměr rovnacích válečků	65	mm
Pracovní výška rovnání	1110	mm
Celkové rozměry - šířka x hloubka x výška	840x1020x1420	mm
Hmotnost	670	kg
Připojovací napětí	3x400	V
Příkon	1,5	kW
Tlak vzduchu	0,6	MPa

Příloha 7 – Zvolený stroj [12]

1/1



CUPJ xx DEU			6,3	10	16	25	40	63	100	160
Jmenovitá síla	kN		63	100	160	250	400	630	1000	1600
Jmenovitý tlak	MPa		16	13	20	20	23	27	25	27
Pojišťovací tlak	MPa		17	14	21	21	24	27	26	27
Jmenovitý příkon	kW		2	2,7	4,5	6	8	8	15,5	18,5
Rychlost beranu		mm/s	75/55/20	80/50/25	85/55/25	90/60/25	70/50/20	75/50/35	90/65/45	70/45/30
		mm/s	30/20/8	25/15/9	27/18/9	27/18/8	25/18/8	20/13/8	22/15/8	18/12/8
		mm/s	2/38/12	38/25/12	40/25/12	40/27/12	42/30/13	80/55/40	75/55/40	70/45/30
Rozevření	R	mm	600	600	600	670	670	670	670	670
Zdvih beranu	H	mm	250	250	250	300	300	300	300	300
Průchod mezi sloupy	P	mm	450	550	550	650	680	800	800	1050
Stůl	A1xB1	mm	300x400	400x500	400x500	500x600	500x650	500x750	500x750	600x1000
Beran	A2xB2	mm	200x350	300x450	300x450	400x550	400x610	400x720	400x720	500x900
Výška	a	mm	2600	2700	2700	3100	3100	3100	3130	3200
Hloubka	b	mm	1140	1140	1140	1340	1340	1525	1525	1525
Šířka stojanu	c	mm	900	1000	1000	1100	1220	1220	1220	1220
Propad ve stole	d	mm	100	100	100	125	125	125	125	150
Šířka lisu	e	mm	1250	1350	1350	1450	1570	1570	1570	1600
Hloubka podstavce	f	mm	1000	1000	1000	1200	1200	1380	1380	1380
Výška stolu	v	mm	1070	1070	1070	1070	1070	1070	1070	1070
Hmotnost		kg	300	400	400	2000	2600	2800	3100	6000
Objem nádrže		dm ³	50	50	50	100	100	150	250	350
Vložka filtru ARGO-vzduch			L1.0406-01	L1.0406-01	L1.0406-01	L1.0406-01	L1.0406-01	L1.0406-01	L1.0503-03	L1.0503-03
Vložka filtru ARGO-olej			V3.0520-58	V3.0520-58	V3.0520-58	V3.0520-58	V3.0520-58	V3.0520-58	V3.0730-58	V3.0730-58
Ekv. hladina akustického tlaku A		dB	80	80	80	78	76	81	81	81
Max. akustický tlak C		dB	98	100	100	85	88	102	102	102
Obsluha			1 pracovník							
Roztež/počet drážek	g	mm, ks	100/3	100/5	100/5	120/5	150/5	150/5	150/5	200/5
T-drážka ČSN 021030 (DIN 650)			14	18	18	18	22	22	22	22

Příloha 8 – Jednotlivé kroky při ohýbání

1/1



