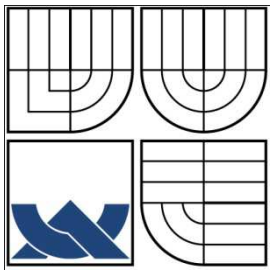


VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING
INSTITUTE OF MANUFACTURING TECHNOLOGY

VÝROBA KOTEVNÍHO PRVKU
MANUFACTURING OF WALL CLAMP

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR THESIS

AUTOR PRÁCE — LUKÁŠ KOUREK
AUTHOR

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

BRNO 2013

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Ústav strojírenské technologie
Akademický rok: 2012/2013

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

student(ka): Lukáš Kourek

který/která studuje v **bakalářském studijním programu**

obor: **Strojírenská technologie (2303R002)**

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

Výroba kotevního prvku

v anglickém jazyce:

Manufacturing of wall clamp

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Jedná se o návrh technologie výroby kotevního prvku z korozivzdorného ocelového plechu. Součástka slouží k uchycení terasových kazet a prken, je prostorového tvaru s několika otvory a bude vyráběna technologií stříhání a ohýbání. Na tuto problematiku bude také zaměřena literární studie.

Cíle bakalářské práce:

Práce bude obsahovat rozbor současného stavu a variantní řešení možností 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, technicko-ekonomické hodnocení a závěr.

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. Stříhání 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 bakalářské práce: Ing. Kamil Podaný, Ph.D.

Termín odevzdání bakalářské 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

KOUREK Lukáš: Výroba kotevního prvku.

Projekt vypracovaný v rámci bakalářského studia řeší návrh technologie výroby kotevního prvku. Součást je vyráběna z korozivzdorného ocelového plechu 17 240 o tloušťce 0,7 mm ve formě svitku. Výrobní série je stanovena na 500 000 ks za rok. Na základě literární studie byla zvolena optimální výrobní technologie stříhání a ohýbání. Pro tyto technologie byly provedeny technologické a konstrukční výpočty, pomocí kterých byl navržen sdružený postupový nástroj. Podle potřebné velikosti celkové tvářecí síly byl zvolen výstředníkový lis LEXN 100 C , který dosahuje jmenovité síly 1000 kN.

Klíčová slova: Ocel 17 240, kotevní prvek, stříhání, ohýbání, sdružený postupový nástroj

ABSTRACT

KOUREK Lukáš: Manufacturing of wall clamp.

The project which was work out in bachelor thesis is setting up a production for an wall clamp. Component is made from corrosion resistant steel plate 17 240 thickness 0,7 mm in form of roll. Produce´s series is determined in 500 000 pieces/ year. Based on the literature study was chosen optimal production technology of cutting and bending. Technological and structural computation were accomplished for these technologies, owing to them was projected combined follow-on tool. Eccentric press LEXN 100 C, which reaches expressed force, was chosen by needful size of total forming force 1000 kN.

Keywords: 17 240 steel, wall clamp, cutting, bending, combined follow-on tool

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

KOUREK Lukáš: *Výroba kotevního prvku.* Brno, 2013. 38 s., CD. FSI VUT v Brně, Ústav strojírenské technologie, Odbor technologie tváření kovů a plastů. Vedoucí práce Ing. Kamil Podaný, Ph.D.

ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

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

V Novém Veselí dne 23.5.2013

……

Podpis

PODĚKOVÁNÍ

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

OBSAH

Zadání
Abstrakt
Bibliografická citace
Čestné prohlášení
Poděkování
Obsah
ÚVOD 9
1 ROZBOR SOUČÁSTI 10
1.1 Možné technologie výroby 11
2 STŘÍHÁNÍ 12
2.1 Průběh střihu 12
2.2 Kvalita střižné plochy a přesnost při střihu 13
2.3 Střižná vůle 13
2.4 Střižná síla a práce 14
2.5 Těžiště střižných sil 16
2.6 Střižné nástroje 17
2.7 Technologické požadavky na konstrukci výstřižků 19
3 OHÝBÁNÍ 20
3.1 Proces ohýbání 20
3.2 Odpružení při ohýbání 21
3.3 Minimální a maximální poloměr ohybu 22
3.4 Ohýbací síla a práce 23
3.5 Délka výchozího polotovaru 23
3.6 Vůle mezi ohybníkem a ohybnicí 24
3.7 Technologické požadavky na ohýbané součásti 24
3.8 Ohýbací nástroje 25
4 STROJE 26
5 NÁVRH TECHNOLOGIE VÝROBY 27
5.1 Poloha výstřižků 28
5.2 Návrh postupu výroby 30
5.3 Výpočty střižné části nástroje 31
5.4 Výpočty ohybové části nástroje 33
5.5 Poloha stopky 33
5.6 Návrh stroje a nástroje 34
6 EKONOMICKÉ HODNOCENÍ 36
7 ZÁVĚR 38

ÚVOD [1], [2], [7]

Technologií rozumíme vědu, která představuje souhrn všech metod a postupů, které slouží k dosažení požadovaných praktických cílů, tedy k vytvoření výrobku, který splňuje předem stanovená kritéria, která jsou dána jeho účelem a použitím. Pokud tedy volíme jakoukoliv metodu výroby pro daný výrobek, je třeba klást důraz na jeho kvalitu a co nejnižší výrobní náklady a proto jedna z nejčastěji používaných technologií je tváření.

Technologii tváření lze chápat jako technologický proces, při kterém dochází k přeměně polotovarů pomocí plastické deformace na konečný výrobek, aniž by docházelo ke ztrátám na materiálu ve formě třísek, jako tomu je např. u obrábění. Technologii tváření je možné dělit např. na tváření objemové a plošné. Objemové tváření, dále můžeme dělit na tváření za studena (procesy ražení, pěchování a protlačování) a tváření za tepla (např. volné a zápustkové kování). U plošného tváření, kde se nejčastěji požívá jako polotovar plech, je procesy stříhání, ohýbání, tažení, atd. tvarován do požadovaného tvaru bez podstatné změny průřezu.

Mezi hlavní výhody technologie tváření patří hlavně vysoké využití materiálu, vysoká produktivita práce a dobrá rozměrová přesnost součástí. Mezi nevýhody patří vysoké pořizovací náklady na nástroj, a proto je vhodné technologie tváření používat při výrobě součástí ve velkých a hromadných sériích, nejlépe ve sdružených nástrojích.

Tato práce se bude zabývat plošným tvářením s požitím technologií stříhání a ohýbání, proto jsou na obr. 1 uvedeny příklady výrobků těmito technologiemi zhotovené.

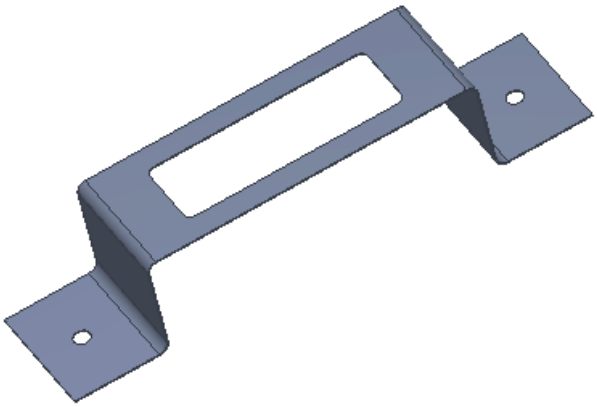
Obr. 1 Součásti z plechu vyráběné tvářením [22], [23]

1 ROZBOR SOUČÁSTI [14], [15]

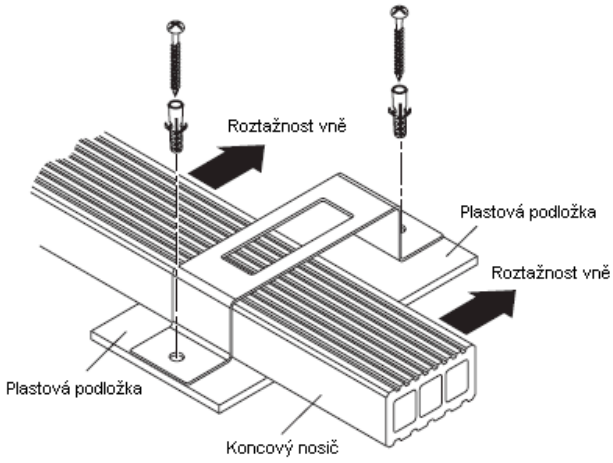
Součástí, jejíž výrobu tato bakalářská práce řeší je „kotevní prvek“, který je zobrazen na obr. 2. Jak je zobrazeno na obr. 3, součást slouží pro ukotvení nosičů k podkladovým podložkám na betonovém podloží při sestavení konstrukce, na kterou jsou následně připevňována prkna nebo kazety při stavbě teras u domů, na zahrádkách, kolem bazénů apod.

Součást je vyráběna z plechu tloušťky 0,7 mm v sérii 500 000 kusů za rok. Je tvarována tak, aby působila jako objímka pro nosič obdélníkového průřezu o rozměrech 71,5 x 38mm. Její rozměry v ohybu tvaru „U“ jsou větší (120 x 38mm), protože vzhledem k teplotní roztažnosti a zajištění možnosti pohybu celé konstrukce, musí být zajištěn pohyb nosiče v kotevním prvku, aby nedocházelo k vytváření nerovností a zkroucení celé terasy. V součásti bude vystřižen obdélníkový otvor sloužící k ukotvení prken, které se přes součást do nosiče upevňují. Další dva otvory o průměru 6 mm slouží pro šrouby, kterými je pomocí hmoždinek kotevní prvek upevní do podložek a betonového podkladu. Z funkčnosti součásti je zřejmé, že na ní nebudou kladeny žádné rozměrové a geometrické tolerance.

Pro odolnost proti povětrnostním podmínkám venkovního prostředí je použit antikorozní materiál 17 240 (1.4301) jehož základní mechanické a chemické vlastnosti jsou uvedeny v tab. 1.1. Jedná se o ocel austenitickou legovanou s vlastnostmi vhodnými pro výrobní technologie stříhání, ohýbání a tažení. Je používána pro produkty obecného použití (různé konstrukce, externí architektura apod.)



Obr. 2 Vyráběná součást



Obr. 3 Použití vyráběné součásti [14]

Tab. 1.1 Základní vlastnosti materiálu [15]

Materiál	Chemické složení			Mechanické vlastnosti		
	C max [%]	Cr [%]	Ni [%]	Mez kluzu Re [Mpa]	Mez pevnosti Rm [Mpa]	Tažnost A [%]
17 240 (1.4301)	0,07	17 - 19,5	8 - 10,5	210	520 až 720	45

1.1 Možné technologie výroby [10], [16]

Vzhledem k účelu, ke kterému bude výrobek sloužit, k jeho tvaru a požadavkům, které musí splňovat, je možné jeho výrobu zajistit několika méně či více vhodnými technologiemi výroby. Při zhodnocení a výběru této technologie je také důležité brát velký ohled na ekonomičnost celé výroby.

Děrování a řezání laserem s následným ohybem

Laser je jednou z nejrozšířenějších moderních technologií, která zajišťuje výrobu součástí ve velkých přesnostech a v krátkých výrobních časech. Základem této technologie je zdroj laserového svazku tzv. rezonátor, z kterého je paprsek doveden systémem zrcadel až k řezací hlavě nesené portálem řezacího stolu. V této hlavě je paprsek přesně zaostřen do definovaného ohniska čímž dochází k tavbě materiálu, který je současně spalován kyslíkem nebo odpařován. Velkou výhodou této technologie je její rychlost, přesnost řezání, kvalitní a hladký řez a úzká řezná spára.

Vysekávání

Velmi moderní způsob výroby součástí z tabulí plechu v rozsahu tlouštěk 0,3 až 8 mm. Pro vysekávání je používáno CNC vysekávacích lisů s nástroji, které se skládají z razníku, matrice a stěrače, jimiž je možné vysekávat otvory různých tvarů a rozměrů. Výhodami této technologie je velmi inovativní řešení zajišťující vysokou kvalitu výrobku a rychlost jeho výroby. Tato technologie se ale také vyznačuje vysokou počáteční investicí do stroje a nástrojů.

Přesné vystřihování

Touto metodou stříhání je dosahováno velmi velké přesnosti a kvality střižné plochy s malou drsností. Při střihu je materiál sevřen mezi střižnici a přidržovač jeho tlačnou hranou, která je umístěna mimo křivku střihu. Materiál pod střižníkem je podepřen vyhazovačem, který zabrání jeho prohnutí a tím se zajistí přesnost vystřižené součásti. U zadané součásti je ale možné použít jiné metody stříhání, protože nejsou předepsané žádné velké rozměrové tolerance a ani velká kvalita střižné plochy.

Stříhání s použitím postupového střižného nástroje

Jedná se o technologii stříhání v nástroji, která bude podrobně popsána v další kapitole. Při použití samostatného postupového nástroje by bylo nutné použít další pracoviště, kde by byla součást ohýbána a tím by se výroba stála neekonomickou.

Stříhání s použitím postupového sdruženého nástroje

Opět se jedná o technologii stříhání v nástroji. V tomto případě se jedná o nástroj tzv. postupový sdružený - v nástroji je v několika krocích provedeno více tvářecích operací najednou. V případě zadané součásti by byly použity operace střihu a ohybu. Velkou výhodou použití této metody je zhotovení součásti v jednom nástroji na jednom pracovišti, čímž se výrazně snižují výrobní časy a náklady na výrobu součásti.

Po zhodnocení vlastností uvedených technologií výroby zadané součásti a vzhledem k tomu, že při ostatních zmíněných metodách by bylo nutné použít druhého pracoviště pro ohyb, je jako nejvýhodnější metodou vybráno stříhání a ohýbání v postupovém sdruženém nástroji. Na součásti není předepsána žádná rozměrová a tvarová přesnost, a proto je tato metoda dostačující a vyhovující. Na toto téma střihu a ohybu bude následovně vypracována teoretická část práce.

2 STŘÍHÁNÍ [1], [2], [3]

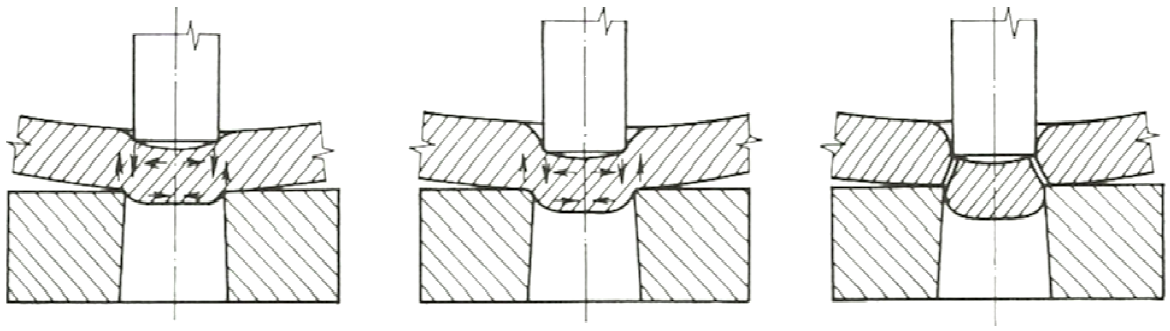
Stříhání je jedna ze základních a nejčastěji používaných operací plošného tváření kovů, při jejímž zakončení dochází k porušení (lomu) v ohnisku deformace stříhaného materiálu. Stříháním je materiál oddělován postupně, nebo současně podle křivky střihu, která je tvořena pohybem dvou břitů, které vytvářejí střižné – smykové napětí. Tuto křivku střihu tvoří obvod výstřižku, střižníku nebo střižnice.

Podle provedení zhotovení výstřižku lze technologii stříhání rozdělit na prosté stříhání, děrování, vystřihování, ostřihování, přistřihování, nastřihování, prostřihování, protrhávání a vysekávání. Je vhodné pro dělení materiálu ve formě tyčí, trubek, plechů a různých tvarových profilů, jako polotovarů pro další zpracování nebo jako finálních výrobků určitého tvaru a požadované přesnosti.

2.1 Průběh střihu [1], [2], [3]

Průběh střihu je možné rozdělit do tří základních fází.

- první fáze (obr. 4a): po dosednutí střižníku na stříhaný materiál dochází k jeho pružnému vnikání do povrchu tohoto materiálu. Hloubka vniku bývá 5 až 8 % tloušťky materiálu v závislosti na jeho mechanických vlastnostech. Důsledkem působící síly v ploše mezi obvodem střižníku a střižnice je vznik silových dvojic, které stříhaný materiál ohýbají.
- druhá fáze (obr. 4b): napětí je větší, než mez kluzu stříhaného materiálu (dochází k trvalé plastické deformaci). Hloubka vniku se pohybuje mezi 10 až 25% tloušťky materiálu v závislosti na jeho mechanických vlastnostech.
- třetí fáze (obr. 4c): materiál je namáhán nad mez pevnosti ve střihu. U hran střižnice a střižníku nejdříve vzniknou trhlinky (nástřih), které se prodlužují tak dlouho, až dojde k oddělení výstřižku od výchozího materiálu. Kromě mechanických vlastností je zde vznik trhlin a jejich šíření závislé i na velikosti střižné vůle.

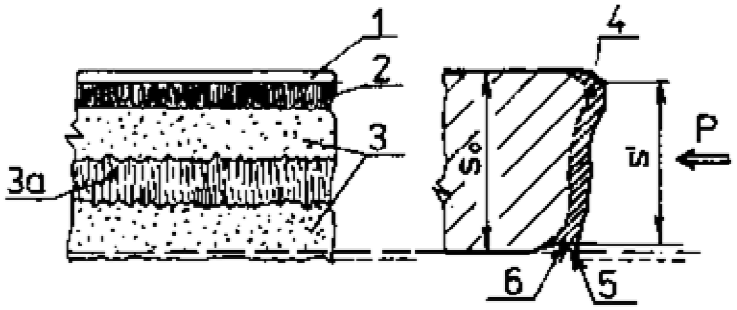


a) b) c)

Obr. 4 Fáze střižného procesu [3]

2.2 Kvalita střižné plochy a přesnost při střihu [3], [4], [5]

Z dříve uvedených obrázků je viditelné, že výstřižek je oddělen od základního materiálu dříve, než projde střižník celou tloušťkou stříhaného materiálu a následně dojde k jeho vytlačení ze střižnice. S ohledem na tento jev nejsou okraje střihových ploch zcela rovinné a určité části střižné plochy mají rozdílnou drsnost. Na obr. 5 jsou znázorněny plochy, na kterých došlo k prvnímu výskytu trhlin a které mají větší drsnost než plochy, na kterých se materiál odděloval později.



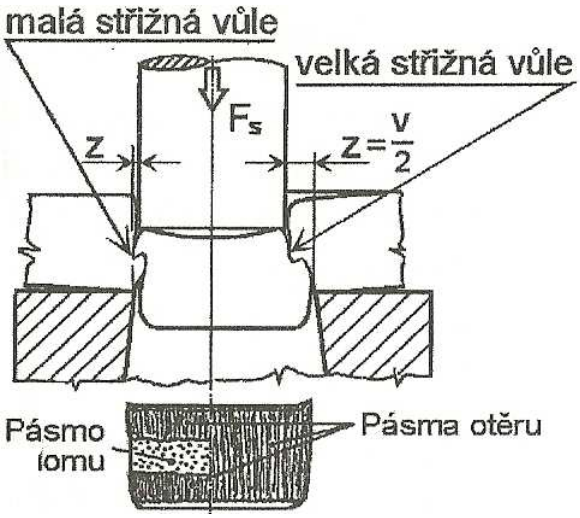
1 - zeslabení
2 - plastická přetvoření
3 - pásmo lomu
3a - pásmo otěru
4 - oblast zpevnění
5 - otřep
6 - vtisk dolního břitu

Obr. 5 Vzhled střižné plochy [5]

Při stříhání z materiálů do tloušťky 4 mm a rozměrech menších než cca 200 mm je při průměrných ekonomických podmínkách dosahováno tolerancí IT 12 až IT 14. V nástrojích, se zvýšenou přesností, např. s vodícími stojánky nebo s přidržovači je možné dosáhnout přesnosti IT 9 až IT 11 a ve speciálních nástrojích IT 6 až IT8.

2.3 Střižná vůle [1], [4], [6], [7]

Střižná vůle je označení pro rozdíl rozměrů pracovních částí střižníku a střižnice. Jednostranný rozdíl (v/2) vytváří střižnou mezeru (z). Na správném určení střižné mezery je závislá kvalita a jakost střihu, životnost nástroje a další výrobní náklady, jako např. spotřeba energie apod. Je důležité, aby střižná mezera byla rovnoměrná ve všech místech křivky střihu, aby bylo zaručeno správné setkání trhlin a nedocházelo po obvodě výstřižku ke vzniku povrchových vad, ostřin a tím ke zhoršení kvality střižné plochy. Rozdíl při stříhání s malou a velkou střižnou vůlí je znázorněn na obr. 6.



Obr. 6 Schéma malé a velké střižné vůle [2]

Výpočet pro tenké plechy s ≤ 3 mm:

$$z = c \cdot s \cdot 0{,}32 \cdot \sqrt{\tau_{ps}} \quad [\text{mm}] \tag{2.1}$$

Výpočet pro silné plechy s > 3 mm:

$$z = (1{,}5 \cdot c \cdot s - 0{,}015) \cdot 0{,}32 \cdot \sqrt{\tau_{ps}} \quad [\text{mm}] \tag{2.2}$$

kde: z – střižná mezera [mm]

c – součinitel střižné vůle v rozmezí 0,005 až 0,035

τ_{ps} – pevnost ve střihu (0,8 · Rm) [MPa]

Velikost střižné vůle je určována na úkor střižníku nebo střižnice vzhledem k požadovaným rozměrům výstřižku. Tedy při vystřihování, kde je výstřižek výrobkem jsou jeho rozměry odpovídající rozměrům střižnice. Střižník je zmenšen o střižnou vůli. Při děrování, kde výrobkem je otvor, odpovídají jeho rozměry střižníku a o střižnou vůli je zvětšena střižnice. Střižná vůle je závislá především na druhu materiálu a na jeho tloušťce. Obvykle bývá stanovena v % z jeho tloušťky.

2.4 Střižná síla a práce [1], [2], [4], [10]

Síla, která je potřebná pro oddělení vystřihované součásti od zbytku materiálu. Výpočet střižné síly je závislý, na kvalitě střižné plochy, vlastnostech materiálu a chování výstřižků po oddělení. Její velikost výrazně ovlivňuje návrh nástroje a volbu stroje, u kterého se nesmí překročit jmenovitá síla. Při reálných střižných podmínkách nedochází k čistému smyku, a proto je síla uvažována o 20 až 50 % větší, z důvodu přídavného namáhání.

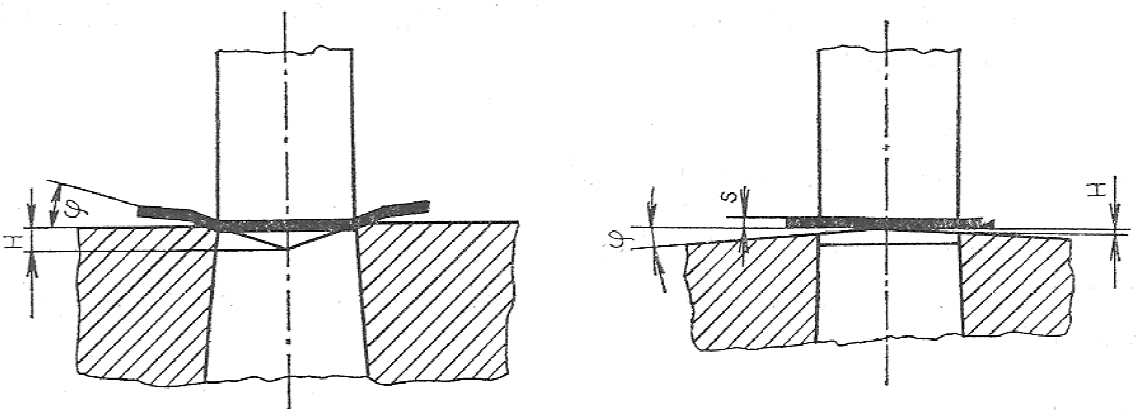
Obecný vzorec pro stanovení střižné síly:

$$F_s = n \cdot S \cdot \tau_{ps} = n \cdot l \cdot s \cdot \tau_{ps} \quad [N] \tag{2.3}$$

kde:

F_s - střižná síla [N]
n - součinitel otupení (1,1 až 1,3) [-]
S - plocha střihu [mm^2]
l - délka střihu [mm]

Pro snížení potřebné střižné síly je možné použít střižníky nebo střižnice se zkosenou střižnou hranou dle obr. 7. Protože při tomto procesu může dojít k deformaci (ohybu) výstřižku, je důležité dodržet dvě pravidla: při děrování použít zkosení na střižníku a při vystřihování použít zkosení na střižnici. Dodržením tohoto pravidla dosáhneme deformace způsobené zkosením na odpadu, nikoliv na výrobku.

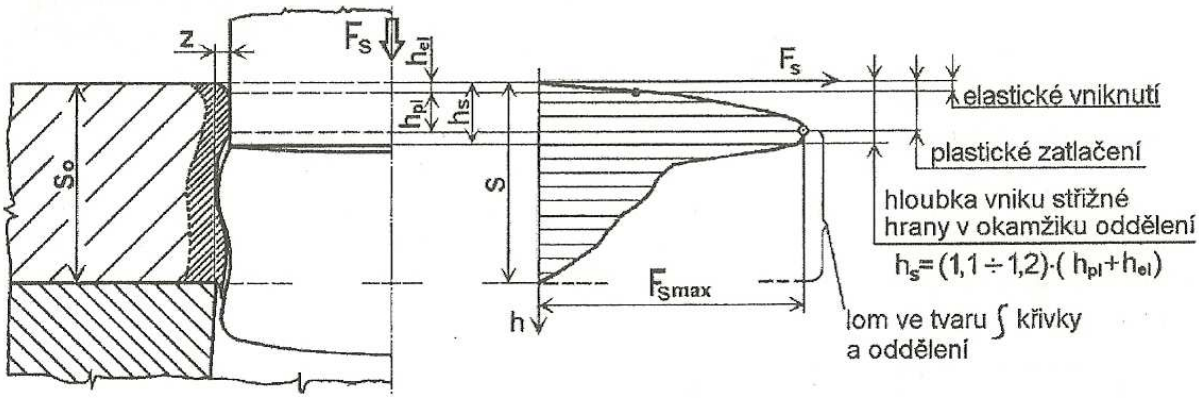


a) při vystřihování b) při děrování

Obr. 7 Příklad úpravy střižníku a střižnice [10]

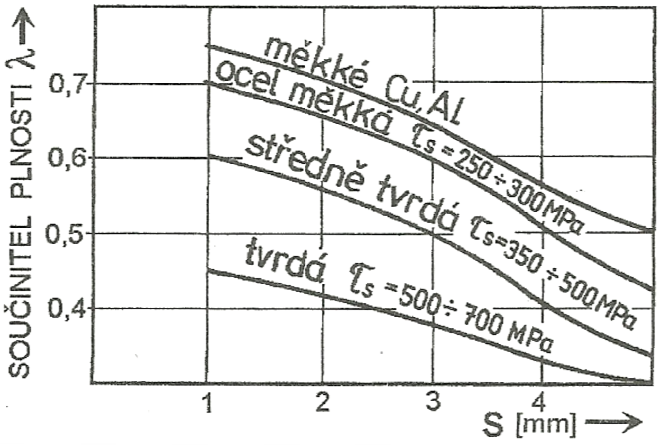
Velikost střižné síly lze také ovlivnit postupným střihem, kterého docílíme rozdělením střižných obvodů střižníků. Důležité ale je, aby nejdříve stříhaly větší střižníky a až po poklesu střižné síly mohou začít stříhat střižníky tenčí. V opačném případě by mohlo dojít k lámání menších střižníků vlivem radiálního napětí.

Střižná práce potřebná pro vystřižení součástí z materiálu, která je přímo úměrná střižné síle a hloubce vtlačení střižníku do materiálu. Je definována plochou pod křivkou střižné síly znázorněné na obr. 8.



Obr. 8 Charakteristický průběh střižného procesu [2]

Podle diagramu uvedeného na obr. 9 je možné pro některé materiály určit součinitel plnosti λ, který je potřebný pro výpočet střižné práce.



Obr. 9 Diagram ke stanovení součinitele plnosti [2]

Vzorec střižné práce:

$$A_s = \lambda \cdot F_{s\,celk} \cdot s \quad [J] \tag{2.4}$$

kde:

A_s - střižná práce [J]

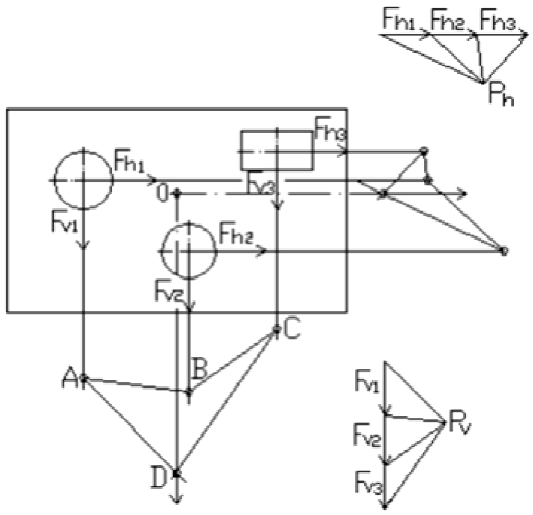
λ - součinitel plnosti [-]

2.5 Těžiště střižných sil [9], [10]

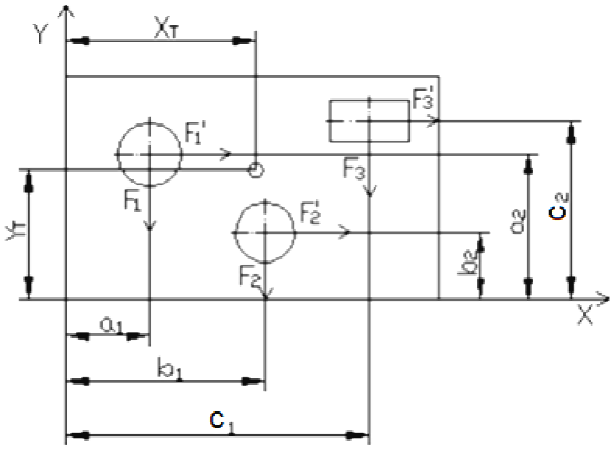
Při použití více střižníků v nástroji je nutné, aby výslednice střižných sil působila v ose lisu. Kdyby tato síla nepůsobila v ose, docházelo by k zatížení beranu velkým klopným momentem a tím by docházelo k nepřesnostem výstřižků, snížením životnosti nástrojů a opotřebením beranu lisu. Proto je nutné upínací stopku nástroje umístit přesně do výslednice střižných sil (těžiště), kterou zjistíme graficky nebo výpočtem.

U grafického řešení uvedeného na obr. 10 je těžiště střižných sil dáno průsečíkem výslednic v horizontálním a vertikálním směru.

U výpočtového řešení uvedeného na obr. 11 je vycházeno z podmínky pro rovnovážný stav, která znamená, že součet momentů ke zvolené přímce, v našem případě k ose x nebo y je roven nule.



Obr. 10 Grafická metoda [10]



Obr. 11 Početní metoda [10]

Vzorce pro výpočet těžiště v ose X a Y:

$$X_T = \frac{F_1 \cdot a_1 + F_2 \cdot b_1 + F_3 \cdot c_1}{F_1 + F_2 + F_3} \quad [\text{mm}] \tag{2.5}$$

$$Y_T = \frac{F'_1 \cdot a_2 + F'_2 \cdot b_2 + F'_3 \cdot c_2}{F_1 + F_2 + F_3} \quad [\text{mm}] \tag{2.6}$$

kde:

X_T - vzdálenost těžiště od osy y [mm]
Y_T - vzdálenost těžiště od osy x [mm]
F_1, F_2, F_3 - síly působící ve směru osy y [N]
F'_1, F'_2, F'_3 - síly působící ve směru osy x [N]
a_1, b_1, c_1 - vzdálenost sil od osy y [mm]
a_2, b_2, c_2 - vzdálenost sil od osy x [mm]

2.6 Střižné nástroje [8], [6], [17], [18]

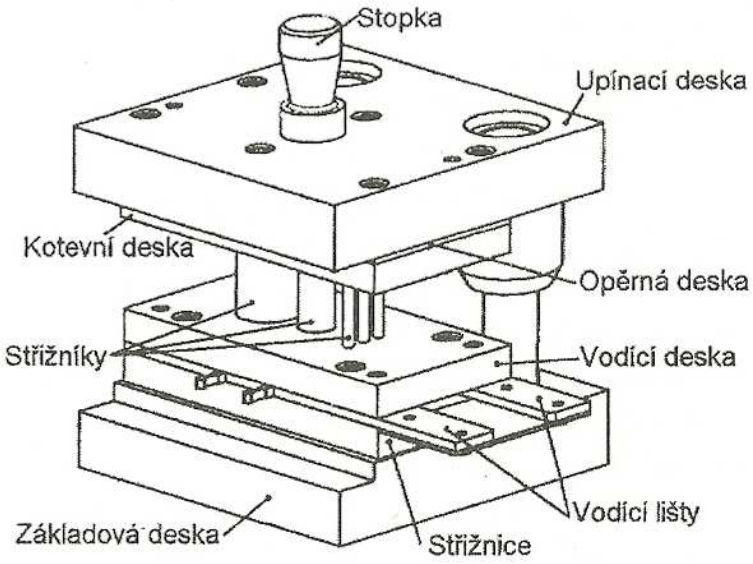
Nástroje, které se používají pro stříhání jsou nazývány střižnými nástroji, resp. střihadla a mohou být konstruovány v mnoha provedeních. Hlavním aspektem, podle kterého je možné nástroje dělit dle jejich konstrukce je takový, zda jsou horní a spodní část nástroje v závislosti na sobě vedené či nevedené.

Nevedené nástroje jsou používány pro děrování, stříhání v malých sériích a stříhání ze silnějších plechů. Protože přesnost vedení u těchto nástrojů zajišťuje vedení lisu, nejsou vhodné pro stříhání tenších plechů, kde jsou použity malé střižné vůle.

Vedené nástroje jsou používány pro děrování nebo vystřihování složitějších výstřižků, kde je nutné zajistit směrovou orientaci střižnice a střižníků a také pásu plechu, který je do nástroje vkládán. Vedením je zajištěna střižná vůle a tím přesnost střihu. Vedení může být dvou typů: vodící deskou a vodícími sloupky, které mohou mít kluzné nebo valivé vedení.

Dále je možné nástroje dělit podle počtu a druhu operací na nástroje jednoduché - kde je výrobek vystřižen při jednom zdvihu lisu, postupové - výrobek je zhotoven v několika krocích jdoucích za sebou a postupové sdružené - v jednom nástroji je použito více operací (např. tvarování, ohýbání, atd.).

Jak je vidět na obr. 12, je nutné k vyrobení a následné správné funkci střižného nástroje zhotovit mnoho součástí, z kterých je střižný nástroj následně sestaven. Tyto součásti je možné rozdělit jako činné, upínací a doplňkové, seskupené do upínací hlavice a střižné skříně. Upínací hlavici, ve které se ukotvují střižníky tvoří kotevní, upínací a opěrné desky a upínací stopka, kterou je nástroj spojen s beranem lisu. Střižná skříň je tvořena základovou deskou, střižnicí s dorazy, vodícími lištami a vodící deskou. Činnými částmi nástroje a těmi nejdůležitějšími pro správnou funkci nástroje jsou střižníky a střižnice.

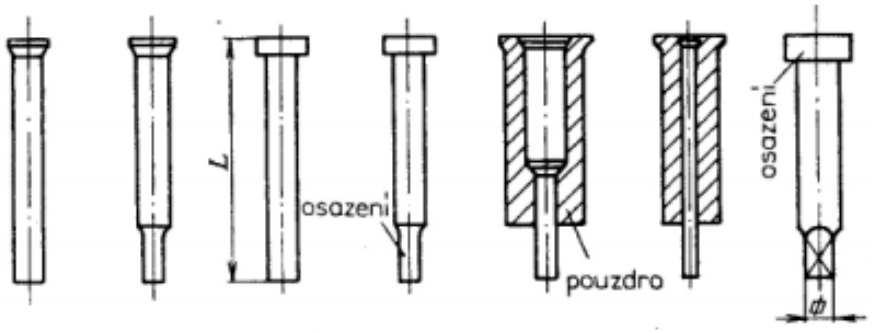


Obr. 12 Postupový střižný nástroj [2]

Střižníky

Slouží jako protinástroj vůči střižnici. Při jejich konstrukci je nutné dodržet několik základních předpokladů jako je dostatečná tuhost, zajištění kolmého upevnění do kotevní desky, odolnost proti bočním i stíracím silám a životnost ostří. Tyto předpoklady jsou důležité pro správný střih výstřižků. Při větším množství střižníků různých průřezů v nástroji se střižníky většího průřezu použijí o 0,4 % tloušťky stříhaného materiálu delší, než střižníky menších průřezů. Tímto je eliminována možnost lámání menších střižníků, které je způsobeno pružnou deformací materiálu při vnikání velkých střižníků. Pro výrobu střižníků je nejčastěji používán materiál 19 437 tepelně zpracován kalením s následným popouštěním na 58 až 61 HRC nebo se pro činné části použije slinutý karbid.

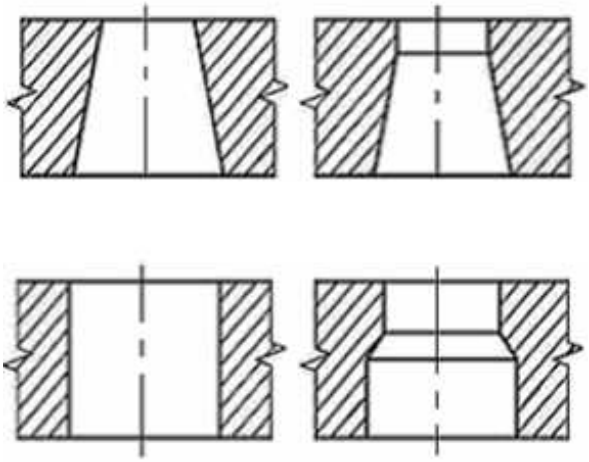
Střižníky mohou být upevňovány do kotevní desky roznýtováním konce střižníku, osazením nebo nákružky. Pevnost tenkých střižníků se zvýší použitím osazení nebo vložením do pouzdra viz obr. 13.



Obr. 13 Příklady uchycení střižníků [21]

Střižnice

Střižnice je jedna ze základních a z důvodu přesnosti výroby střižných otvorů také nejnákladnějších částí střižného nástroje. Je důležité, aby rozmístění hlavních a pomocných střižných otvorů bylo takové, aby nedocházelo k výraznému zeslabení okrajů střižnice. Tyto otvory jsou totožné s vnějším tvarem výstřižku nebo stříhaného otvoru a jak je zobrazeno na obr. 14, jsou z důvodu zlepšení kvality výstřižků vyráběny jako kuželové, kuželové s válcovou plochou, válcové nebo válcové s vybráním. v několika provedeních. Tloušťka střižnice se pohybuje v rozmezí 18 až 30 mm a nejčastěji bývá použit materiál 19 436 neno 19 437, který je kalen a popouštěn od 58 do 61 HRC.



Obr. 14 Příklady tvarů otvorů ve střižnici [21]

V závislosti na konstrukci střihadla, tvaru, rozměrů a výrobních možností lze střižnice dělit na celistvé, skládané a vložkované.

Celistvé střižnice - jsou vyrobeny z jednoho kusu oceli a používají se nejčastěji pro stříhání výstřižků jednoduchých tvarů a menších rozměrů.

Skládané střižnice – jsou vyrobeny z více částí a požívají se pro výstřižky složitějších tvarů nebo větších rozměrů. Výroba takové střižnice je oproti celistvé přesnější a jednodušší. Při tepelném zpracování také dochází k menším deformacím. Jednotlivé části takové střižnice bývají obvykle zalisovány do nekalené desky a u velkých střižnic dále přišroubovány nebo zajištěny kolíky.

Vložkované střižnice - vyznačují se stejnými výhodami jako skládané, ale jejich další předností je možnost výrazného ušetření použití nástrojové oceli a tím snížení nákladů na materiál takové střižnice. Dále se použitím vložek výrazně zvýší životnost nástroje – při opotřebení stačí vložku jednoduše vyměnit, proto se nejčastěji požívají v hromadné výrobě. Vložky bývají vyráběné z kalené nástrojové oceli nebo slinutého karbidu a do střižnice se upevňují pomocí kolíků, šroubů nebo je možné jejich zalití pryskyřicí.

2.7 Technologické požadavky na konstrukci výstřižků [3], [6]

U výstřižků je nutné respektovat vlastnosti materiálů a technologické nedokonalosti, které při procesu stříhání vznikají. Tyto nedokonalosti jsou :

- se zvyšující se tvárností materiálu se drsnost střižné plochy zmenšuje
- dochází ke zpevnění a zároveň ke ztenčení materiálu podél střižné plochy
- v důsledku zvětšující se střižné vůle se zvětšuje odchylka kolmosti střižné plochy
- z důvodu opotřebení nástroje se mění rozměry výstřižků
- především u malých silnostěnných výstřižků dochází ohybovým momentem stříhání k prohnutí výstřižků

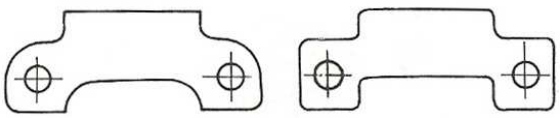
Vzhledem k těmto technologickým nedokonalostem je důležité při návrhu vystřihované součásti dodržovat určitá pravidla:

- nepředepisovat zbytečně malé tolerance tam, kde to není potřeba
- předepisovat jen nezbytnou rovinnost u malých výstřižků ze silnějších tvárných plechů
- upřednostňovat kruhové otvory
- nejmenší vzdálenosti otvorů od sebe volit podle přílohy č. 3, kde jsou znázorněny údaje pro polotvrdý ocelový plech s Rm = 500 MPa, pro materiály s menší pevností a tloušťce plechu do 1,5 mm je nutné vzdálenosti zvětšit o 20 až 25 %, pro plechy nad 1,5 mm o 10 až 15 %
- nejmenší šířku úzkých výstřižků nebo jejich vyčnívajících částí volit minimálně 1,5 x tloušťka plechu
- rohy u výstřižku zkosit nebo zaoblit
- nejmenší úhly hrotu nebo zářezu lze doporučit podle tvrdosti materiálu:

$$\left.\begin{matrix}\alpha \geq 90° \\ \alpha \geq 60°\end{matrix}\right\} \text{ tvrdé plechy } \left\{\begin{matrix}Rm \geq 600\ Mpa \\ Rm \geq 300\ Mpa\end{matrix}\right.$$

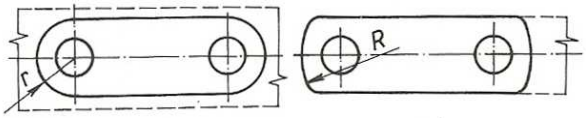
$$\left.\begin{matrix}\alpha \geq 60° \\ \alpha \geq 45°\end{matrix}\right\} \text{ měkké plechy } \left\{\begin{matrix}Rm \geq 300\ Mpa \\ Rm \geq 300\ Mpa\end{matrix}\right.$$

  Úhel rohu je možné zmenšit, pokud je zaoblen větším poloměrem (r > 0,5s) nebo zkosen (k > s)
- ostré rohy je možno vyrábět na dvě operace, protože rozměrová přesnost takovýchto výstřižků značně kolísá už při malých nepřesnostech v podávání
- různé poloměry zaoblení na výstřižku jsou nevhodné (obr. 15)
- rozvětvené tvary jsou z hlediska spotřeby materiálu nevhodné
- plynulé přechody oblouků do přímých částí zvyšují náklady na nástroj (obr. 16)
- nejvhodnější tvar výstřižku je rovnoběžník, nejméně vhodný je kruhový tvar



a) vhodné b) nevhodné

Obr. 15 Zaoblení výstřižků[3]



a) vhodné b) nevhodné

Obr. 16 Koncové poloměry výstřižků [3]

3 OHÝBÁNÍ [11]

Ohýbání je jednou ze základních a nejčastěji používaných technologií plošného tváření. Nejčastěji se provádí po operaci stříhání, kterou je připraven polotovar pro následný ohyb. Ohýbání je možné provádět ručně (na ručních strojích), strojně pomocí lisů ohýbacími nástroji nebo na ohraňovacích lisech. Nástroj pro ohýbání se nazývá ohýbadlo. Je složený z ohybnice a ohybníku. Případně je možné použití rotačních nástrojů (válců).

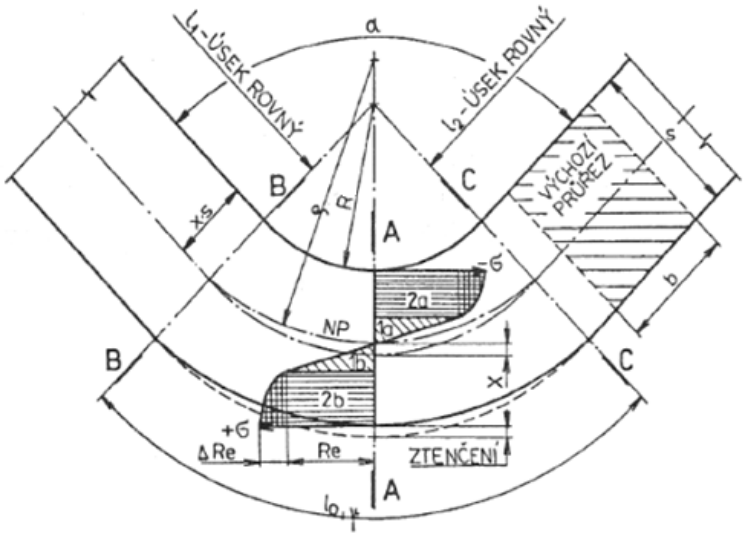
3.1 Proces ohýbání [7], [9], [12]

Ohýbání je proces, při kterém dochází k trvalému deformování materiálu bez podstatné změny průřezu. Pro dosažení trvalého ohybu je nutné, aby ohybové napětí překročilo mez kluzu R_e, ale nikoliv mez pevnosti v tahu R_m.

Na velikost deformace při ohybu má vliv:

- kvalita materiálu a jeho tloušťka v místě ohybu
- orientace ohybu vzhledem ke směru válcování
- velikost ohybových momentů
- poloměr ohybu

Pro ohýbání je charakteristickým znakem změna tvaru ohýbané plochy (neutrální plochy), kde se skokově mění velikost napětí a jeho znaménko. Jak je vidět na obr. 17, jsou při ohýbání vnější vlákna materiálu natahována (oblast 2b) a vnitřní stlačována (oblast 2a).



1a, 1b - oblast pružné deformace

2a, 2b- oblast plast. deformace se zpevněním ΔR_e

x - velikost posunutí neutrální plochy od původní osy průřezu

R - poloměr ohybu

l_o - délka ohnutého úseku v neutr. ploše

ρ - poloměr neutrální plochy

γ - úhel ohnutého úseku ($\gamma = 180° - \alpha$)

α – úhel ohybu

Obr. 17 Schéma ohýbání [7]

3.2 Odpružení při ohýbání [2], [7], [12]

Při ohýbání je odpružení výrazným průvodním jevem, ke kterému dochází působením pružné deformace. Jakmile přestane na materiál působit deformační síla, je přerušena pružná deformace a tím dojde ke změně úhlu ohybu o úhel odpružení β, který je znázorněn na Obr. 18 obr. 18. Na velikost odpružení mají vliv mechanické vlastnosti ohýbaného materiálu, tloušťka materiálu, velikost úhlu ohybu, konstrukce ohýbadla a poměr poloměru ohybu k tloušťce materiálu.

Velikost odpružení je možno zjistit výpočty:

pro ohyb tvaru V:

$$\mathrm{tg}\beta_v = 0{,}375 \cdot \frac{L}{k \cdot s} \cdot \frac{R_e}{E} \quad [°] \tag{3.1}$$

pro ohyb tvaru U:

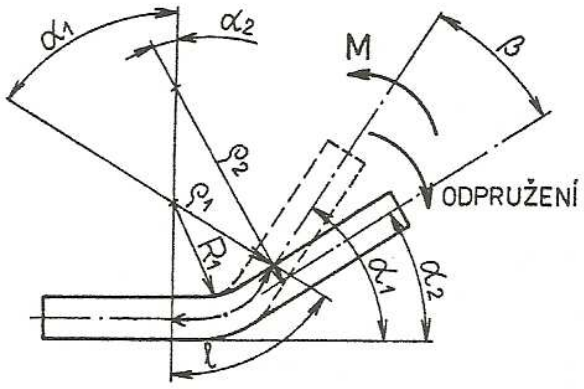
$$\mathrm{tg}\beta_u = 0{,}75 \cdot \frac{l_m}{k \cdot s} \cdot \frac{R_e}{E} \quad [°] \tag{3.2}$$

kde:

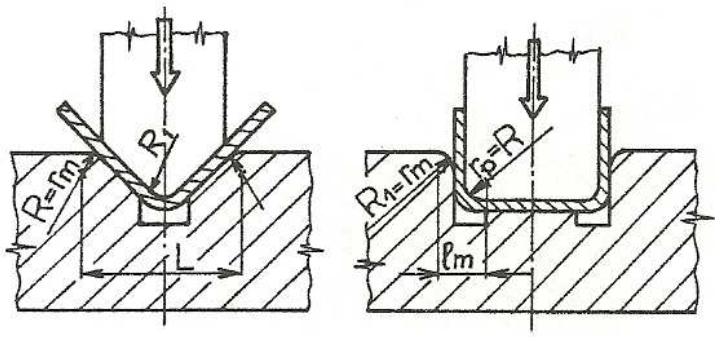
β - úhel odpružení [°]
L - vzdálenost mezi opěrami ohybnice [mm]
l_m - viz obr. 19, $lm = r_m + r_p + 1{,}2 \cdot s$ [mm]
E - modul pružnosti v tahu, pro ocel $2{,}1 \cdot 10^5$ [MPa]
s - tloušťka ohýbaného plechu [mm]
k - součinitel určující polohu neutrální plochy k = 1-x [-]

Tab. 3.1 Součinitel k pro výpočet úhlu odpružení [3]

R/s	0,1	0,25	0,5	1	2	3	4	5	6	8	10	15	20
k	0,68	0,65	0,62	0,58	0,54	0,53	0,52	0,52	0,52	0,51	0,51	0,5	0,5



Obr. 18 Schéma odpružení [5]

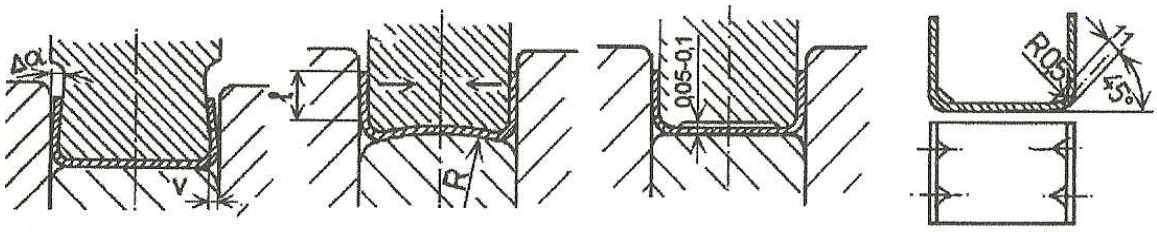


Obr. 19 Scéma výpočtu l_m [2]

Při konstrukci nástrojů je nutné s odpružením počítat, a proto je možné několika způsoby zobrazenými na obr. 20 ohýbací nástroj upravit, abychom dosáhli správného tvaru a rozměrů vyráběné součásti.

Úpravy mohou být takové to:

- podbroušení ohybníku
- zaoblení dolní části ohýbadla nebo vyhazovače
- zpevnění materiálu v rozích kalibrací
- vytvoření výztužných žeber



Obr. 20 Způsoby odstranění výrazného odpružení [2]

3.3 Minimální a maximální poloměr ohybu [5], [7]

Minimální poloměr ohybu R_{min}, je takový nejmenší poloměr, při kterém nedojde k poškození materiálu na jeho vnější tahové straně. Tedy pokud by byla překročena mez pevnosti v tahu Rm. A je závislí na plastičnosti materiálu, způsobu ohýbání, úhlu ohybu, šířce a tloušťce ohýbaného polotovaru a kvalitě povrchu.

$$R_{min} = \frac{s}{2} \cdot \left(\frac{1}{\varepsilon_c} - 1\right) = c \cdot s \quad [mm] \tag{3.3}$$

kde:

c - koeficient (např. pro ocel 0,5 až 0,6) [-]

ε_c - mezní prodloužení [-]

$$\varepsilon_c = \frac{s}{2 \cdot R_{min} + s} \quad [mm] \tag{3.4}$$

Maximální poloměr ohybu R_{max}, je takový největší poloměr, při kterém již dojde ve vnějších vláknech materiálu k trvalé deformaci. Pokud by tento maximální poloměr byl překročen, došlo by pouze k elastické deformaci a materiál by se po odlehčení vrátil do původního stavu.

$$R_{max} = \frac{s}{2} \cdot \left(\frac{E}{Re} - 1\right) \quad [mm] \tag{3.5}$$

kde:

Re - mez kluzu materiálu [MPa]

3.4 Ohýbací síla a práce [2]

Síla, která je potřebná pro správné ohnutí výrobku. Při použití postupového sdruženého nástroje nám její velikost a velikost střižné síly určí celkovou potřebnou sílu, kterou musí být stroj schopen vykonat a přitom nedošlo k jeho přetížení.

Vztah ohybové síly pro ohyb tvaru „V“ dle normy ČSN 22 7340:

$$F_v = \frac{b \cdot s^2 \cdot Re}{2R} \cdot tg\frac{\alpha}{2} \quad [mm] \tag{3.6}$$

kde:

b - šířka ohýbané součásti [mm]

R - poloměr ohybu [mm]

α - úhel ohybu [°]

Vztah pro ohyb tvaru „U“ dle normy ČSN 22 7340:

$$F_u = (1 + 7 \cdot f)\frac{b \cdot s^2 \cdot Re}{R+s} \quad [mm] \tag{3.7}$$

kde:

f - součinitel tření [-]

Vztah ohýbací práce:

$$A_o = F_o \cdot h \cdot \psi \quad [J] \tag{3.8}$$

kde:

h - dráha, po které působí ohýbací síla [mm]

ψ - součinitel zaplnění pracovního diagramu (0,5 až 0,65) [-]

F_o - ohýbací síla [N]

3.5 Délka výchozího polotovaru [7], [12]

Pro stanovení délky rozvinutého výchozího polotovaru je důležitá poloha neutrální osy v ohybu.

U velkých poloměrů $R \geq 12 \cdot s$, při kterých dochází k malým pružně plastickým deformacím se předpokládá, že neutrální osa prochází středem tloušťky ohýbaného materiálu.

$$\rho = R + \frac{s}{2} \quad [mm] \tag{3.9}$$

Při ohybu s malým poměrem $R < 12 \cdot s$, dochází ke změně průřezu materiálu a tím k posunutí neutrální osy směrem ke stlačovaným vláknům.

$$\rho = R + x \cdot s \quad [mm] \tag{3.10}$$

kde:

x - součinitel posunutí neutrální vrstvy (Tab. 3.2) [-]

Tab. 3.2 Součinitel x pro výpočet rozvinuté délky [7]

R/s	0,1	0,25	0,5	1	2	3	4	5	6	8	10
x	0,32	0,35	0,38	0,42	0,445	0,47	0,475	0,478	0,48	0,483	0,486

Celková délka oblouku neutrální osy se poté vypočítá podle vzorce:

$$l_o = \frac{\pi \cdot \rho}{180} \cdot (R + x \cdot s) \quad [mm] \tag{3.11}$$

Celková délka rozvinutého polotovaru je dána součtem všech přímých a ohnutých úseků.

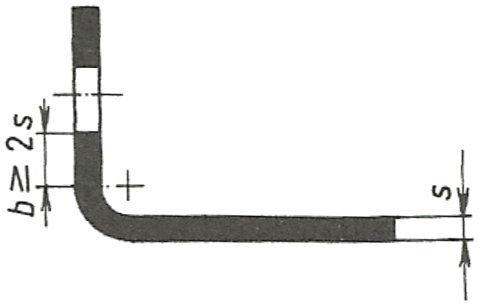
3.6 Vůle mezi ohybníkem a ohybnicí [2]

Stanovení vůle mezi ohybníkem a ohybnicí je závislé na tloušťce, druhu a výrobní toleranci materiálu. Při jejím stanovení vycházíme ze způsobu ohýbání. Při ohybu do tvaru „V“ se dá říci, že je vůle dána tloušťkou materiálu a dále je seřízena při seřizování nástroje v lisu. Při ohybu do tvaru „U“ je nutné brát ohled na již zmíněnou tloušťku a toleranci ohýbaného materiálu. Při příliš malých vůlích může docházet ke zvětšení ohýbacích sil. Pro běžné oceli se vůle stanovuje jako 1,05 až 1,15 tloušťky materiálu.

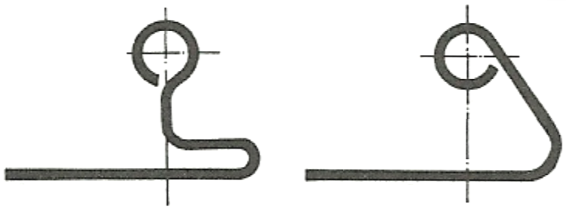
3.7 Technologické požadavky na ohýbané součásti [3], [13]

Při konstrukci ohýbaných součástí je nutné dodržet určité technologické zásady, např.:

- osa ohybu by měla směřovat kolmo na směr vláken
- poloměr ohybu volit co nejmenší pro snížení odpružení, ale také co největší z důvodu vzniku trhlin
- upřednostnit ohyb s kalibrací před volným ohýbáním
- stranu s otřepem na polotovaru orientovat tak, aby byla namáhána tlakem
- ponechávat netolerované rozměry ohýbaných součástí všude tam, kde to funkce součástí umožní
- nutné dodržet ostatečnou vzdálenost otvorů od okrajů součástí, minimálně 2 x tloušťka materiálu (obr. 21)
- nejmenší délka ohýbaného ramene by měla být minimálně 2 x tloušťka materiálu
- pro malou tuhost součástí s velkým poloměrem ohybu je nutné je vyztužit prolisy
- neuzavírat součásti vícenásobnými ohyby, na pohyblivé čelisti by poté mohlo docházet k problémům se zakládáním a vyjímáním součástí (obr. 22)
- pro eliminaci posunu materiálu při ohýbání nestejně dlouhých ramen materiál fixovat
- při zakružování až k okraji je nutná přídavná operace, pokud takovéto zakružení není nutné - nepoužívat (obr. 23)



Obr. 21 Minimální vzdálenost otvoru od okraje [3]



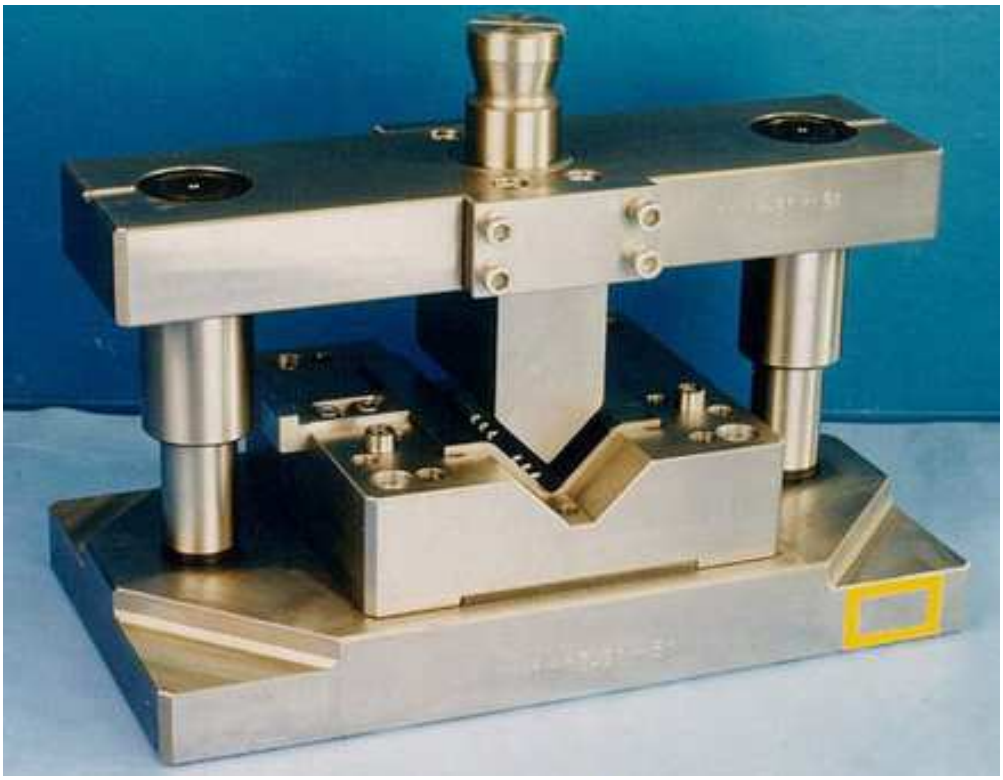
Obr. 22 Vícenásobné ohyby [3]

Obr. 23 Zakružování okrajů [3]

3.8 Ohýbací nástroje [2], [17], [19]

Stejně jako střižné, tak i ohýbací nástroje (viz obr. 24) je možné konstrukčně řešit několika způsoby. Způsob jejich konstrukce je dán tvarem součásti, délkou jejího ohybu, typem použitého stroje a počtem vyráběných kusů. U menších výrobních sérií jsou používána jednoduchá nebo univerzální ohýbadla. Při větších sériích a složitějších ohýbaných součástech se použijí ohýbadla vícečinná nebo je možné sloučit více technologických operací a použít postupové sdružené nástroje.

Ke správné funkci každého ohýbacího nástroje je nutné použití několika částí, z kterých je nástroj složen. Jsou to především: pevná čelist (ohybnice), pohyblivá čelist (ohybník), vyhazovač, hlavice, stopka, zakládací dotazy, základová deska, pružina.



Obr. 24 Příklad jednoduchého ohýbacího nástroje [21]

Ohybník je funkční část, která je opatřena stopkou, zajištěnou proti pootočení. Poloměr zaoblení ohybníku r_p je totožný, jako zaoblení ohnuté součásti a jeho šířka musí být minimálně taková, jako je šířka ohýbané součásti. Pro snížení opotřebení jsou ohýbací hrany kaleny a leštěny nebo při ohybnících větších rozměrů jsou používány kalené vložky nebo vložky ze slinutých karbidů.

Ohybnice je spodní část ohýbacího nástroje. Poloměr její činné části r_m je ovlivněn velikostí ohýbací síly a jakostí ohýbané součásti. Je volen v rozmezí (2 až 6) x tloušťka materiálu. Při tloušťce plechu > 3mm je vhodné hrany ohybnice srazit pod úhlem 45°. Takové to sražení je ale možné použít při dostatečně dlouhých ramenech ohýbané součásti a je nutné, aby bylo na obou stranách ohybnice stejné, aby nedocházelo k vytváření nestejně dlouhých ramen vzniklých posuvem materiálu v nástroji.

4 STROJE [20], [21]

Stroje používané pro tváření jsou dynamické soustavy sloužící k provedení úkonů, které vedou k trvalému přetvoření objektu (tvářeného polotovaru) do požadovaného tvaru a rozměrů. Pro technologie stříhání a ohýbání se budeme zabývat stroji s přímočarým relativním pohybem nástroje. Takové stroje mají v počáteční poloze beranu, na který je upevněn horní díl nástroje nulovou rychlost. Poté při pohybu beranu směrem dolů dochází ke zvyšování rychlosti a následně dochází k doteku a silovému působení nástroje na polotovar a tímto dojde k přetvoření polotovaru. Pohyb pokračuje do dolní úvratě, kde se stává rychlost opět nulovou a tvářecí proces je dokončen.

Při volbě stroje je nutné brát ohled na několik základních vlastností, mezi které patří potřebná tvářecí síla, počet vyráběných kusů, rozměry výrobků a ekonomická stránka výroby.

Mechanické lisy - nejpoužívanější stroje ve tváření. Mezi jejich hlavní výhody patří zejména velká výrobnost a poměrně jednoduchá konstrukce. Z hlediska technologického jsou ale tyto stroje omezené tím, že jejich maximální tvářecí sílu je možné odebrat až těsně před dolní úvratí. Problém také nastává při tváření velkou silou po delší dráze. Aby nedocházelo k překročení jmenovité síly těchto strojů a k následnému poškození, jsou používány pojistky proti přetížení. Tyto lisy je možné podle jejich mechanizmu použitého k přenosu energie rozdělit na klikové, výstředníkové – uveden na obr. 25, kolenové, kloubové, hřebenové a šroubové.

Obr. 25 Mechanický lis [24]

Hydraulické lisy – uveden na obr. 26. Jejich funkce je založena na rovnoměrném tlaku všemi směry (Pascalův zákon) a jsou používány pro tvářecí operace, u kterých je nutné zajistit konstantní tvářecí sílu po celou dobu pracovního zdvihu stroje. Hydraulickým mechanizmem je tvořena síla, která slouží k přetvoření polotovaru v nástroji. Oproti mechanickým lisů mají několik výhod mezi které patří např. jmenovitá síla těchto strojů až do 103 MN, libovolné nastavení zdvihu beranu, rychlost pohybu beranu je plynule nastavitelná dle potřeby v rozmezí 0 až 0,25 m/s, možnost docílení konstantního tlaku a rychlosti beranu, možnost odebrání maximální síly při libovolném zdvihu a možnost mechanizace a automatizace výrobního cyklu. Mezi nevýhody těchto strojů patří větší složitost jejich konstrukce, menší účinnost, pomalejší chod beranu a tím menší výrobnost, složitější údržba a asi o 30% vyšší pořizovací náklady oproti mechanickým lisům. V poslední době se ale tyto nedostatky eliminují použitím nových hydraulických prvků a proto jsou tyto stroje stále více používány.

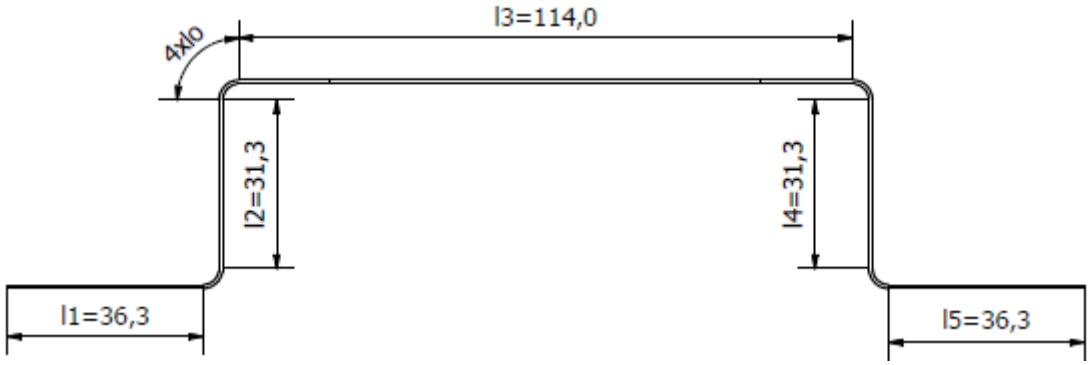
Obr. 26 Hydraulický lis [24]

Podle uložení hydromotoru je možné tyto lisy dělit na svislé s nahoře nebo dole uloženým pracovním válcem, vodorovné a kombinované. Dále podle jejich konstrukce mohou být stojanové, rámové, sloupové a skříňové a podle oblasti použití kovací, tažné, vytlačovací, protlačovací, dílenské, razící, paketovací a briketovací.

5 NÁVRH TECHNOLOGIE VÝROBY

Součást, jejíž výrobu tato práce a zejména tato kapitola řeší je prvkem, který slouží k u ukotvení nosičů při stavbě konstrukce pod zahradní terasy. Bude vyráběna z korozivzdorného plechu 17 240 tloušťky 0,7 mm ve výrobní sérii 500 000 kusů za rok. Vzhledem k tomuto velkému množství vyráběných kusů bude použitým polotovarem plech ve formě svitků. Protože práce se svitky je podmíněna vybavením, jako je odvíjecí zařízení, rovnačka a podavač, budeme uvažovat, že tímto vybavením pracoviště disponuje. Podle možných způsobů výroby uvedeným v kap. 1.1 byla navržena pro výrobu součásti technologie stříhání a ohýbání v postupovém sdruženém nástroji. Vzhledem k velké sérii výroby bude použití této technologie výhodné.

Výpočet rozvinuté délky součásti



Obr. 27 Schéma pro výpočet rozvinuté délky

Stanovení rozvinuté délky oblouků l_o dle kap. 3.5:

$$\frac{R}{s} = \frac{3}{0,7} = 4,28 => x = 0,475$$

$$l_o = \frac{\pi \cdot \rho}{180} \cdot (R + x \cdot s) = \frac{\pi \cdot 90}{180} \cdot (3 + 0,475 \cdot 0,7) = 5,24 \text{ mm}$$

Stanovení délky rovných úseků:

$l_1 = 36,3$ mm, $l_2 = 31,3$ mm, $l_3 = 114$ mm, $l_4 = 31,3$ mm, $l_5 = 36,3$ mm

Celková délka rozvinuté součásti (viz Obr. 27):

$$L_c = 4 \cdot l_0 + l_1 + l_2 + l_3 + l_4 + l_5 = 4 \cdot 5,24 + 36,3 + 31,3 + 114 + 31,3 + 36,3 =$$
$$= 270,16 \cong 270 \text{ mm}$$

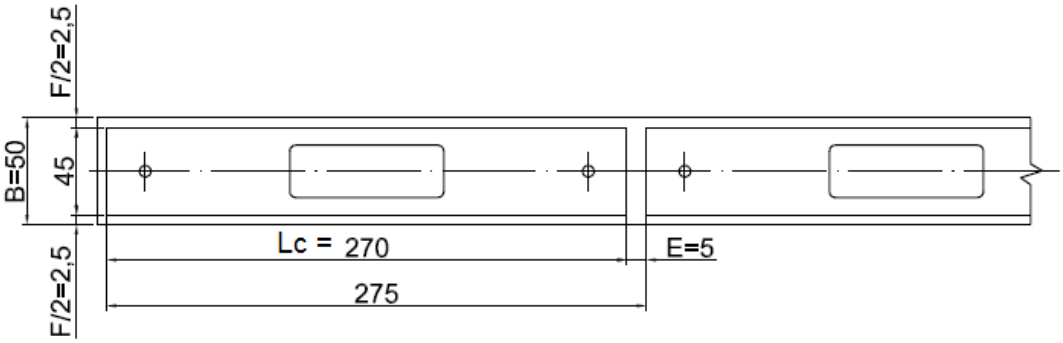
Z těchto výpočtů vyplývá, že základní rozměr rozvinutého polotovaru před ohybem je 270 x 45 mm. Podle těchto rozměrů je určena velikost přepážky E a okraje F stříhaného materiálu pomocí monogramu uvedeného v příloze 1 pro součásti obdélníkového nebo čtvercového tvaru.

5.1 Poloha výstřižků

Vzhledem k obdélníkovému tvaru součásti je možné její polohu v pásu plechu, z kterého je stříhána, volit v podélném nebo příčném směru. Proto je nutné zhodnotit, která z variant orientace výstřižku v nástroji bude pro výrobu vhodnější. Po konzultaci s odborníkem zabývajícím se konstrukcí střižných nástrojů navrhnuto zvětšení rozměrů přepážek a okrajů oproti rozměrům, které by vyplívaly z monogramu v příloze č. 1. Proto je s těmito rozměry dále počítáno.

Varianta I.

Při výrobě součásti podle této varianty uvedené i s rozměry na obr. 28, kde bude její orientace v podélném směru, je její velká nevýhoda v příliš dlouhém kroku. Tím by také nástroj musel být velice rozměrný. Polotovarem by byl svitek plechu o šířce B. Tento rozměr je složen z šířky součásti a okrajů na ostřižení F.



Obr. 28 Umístění výstřižků – I. variata

Zvolena přepážka E = 5 mm a okraje F/2 = 2,5 mm.

rozměr šířky pásu:

$$B = Š_s + F = 45 + 5 = 50 \text{ mm}$$

délka kroku:

$$K = L_c + E = 270 + 5 = 275 \text{ mm}$$

Varianta II.

V této variantě uvedené na obr. 29 bude orientace součásti v příčném směru a tím dojde k výraznému zkrácení kroku. Rozměry polotovaru jsou zjištěny obdobně jako u varianty I.

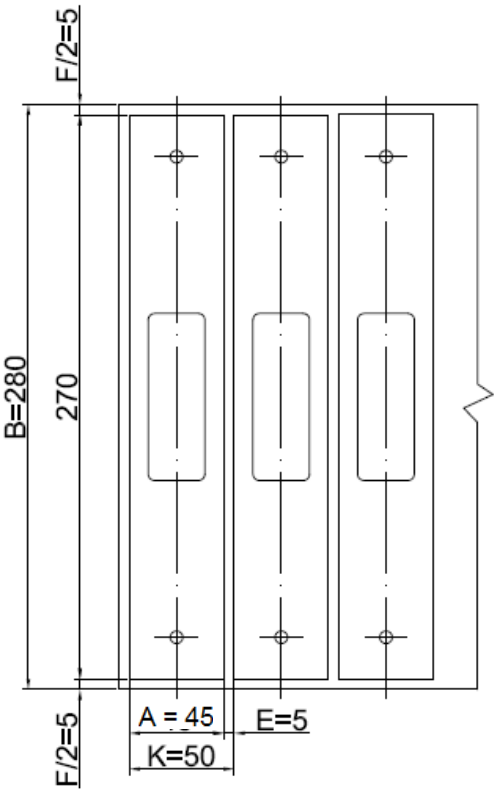
Zvolena přepážka E = 5 mm a okraje F/2 = 5 mm.

rozměr šířky pásu:

$$B = Š_s + F = 270 + 10 = 280 \text{ mm}$$

délka kroku:

$$K = A + E = 45 + 5 = 50 \text{ mm}$$



Obr. 29 Umístění výstřižků – II. variata

Spotřeba materiálu

Hmotnost součásti

Součást byla vymodelována v programu Autodesk Inventor, jehož pomocí byl zjištěn objem součásti $V_s = 6959\ mm^3$ a následně její hmotnost m = 0,055 kg.

Hmotnost celé série

$$m_s = Q \cdot m = 500000 \cdot 0{,}055 = 27500\ kg = 27{,}5\ t \quad (5.1)$$

kde:

m_s – hmotnost celé série [kg]

Q – výrobní série [ks/rok]

Materiál pro variantu I. s umístěním výstřižků dle obr. 28

Celková délka svitku

$$L_{sv1} = K \cdot Q = 275 \cdot 500000 = 137500000\ mm = 137{,}5 \cdot 10^3\ m \quad (5.2)$$

Objem materiálu potřebného pro výrobu série

$$V_1 = L_{sv1} \cdot B \cdot s = 137{,}5 \cdot 10^3 \cdot 0{,}05 \cdot 0{,}0007 = 4{,}81\ m^3 \quad (5.3)$$

Hmotnost materiálu

$$m_1 = V_1 \cdot \rho = 4{,}81 \cdot 7800 = 37518\ kg \cong 37{,}52\ t \quad (5.4)$$

kde:

m_1 – hmotnost materiálu I. varianty [kg]

ρ – hustota železa [$kg \cdot m^{-3}$]

Využitelnost plechu

$$k_{sv} = \frac{m_s}{m_1} \cdot 100 = \frac{27500}{37518} \cdot 100 = \mathbf{73{,}3}\ \% \quad (5.5)$$

Materiál pro variantu II. s umístěním výstřižků dle obr. 29

Celková délka svitku

$$L_{sv2} = K \cdot Q = 50 \cdot 500000 = 25000000\ mm = 25 \cdot 10^3\ m$$

Objem materiálu potřebného pro výrobu série

$$V_2 = L_{sv2} \cdot B \cdot s = 25 \cdot 10^3 \cdot 0{,}28 \cdot 0{,}0007 = 4{,}9\ m^3$$

Hmotnost materiálu

$$m_2 = V_2 \cdot \rho = 4{,}9 \cdot 7800 = 38220\ kg \cong 38{,}22\ t$$

Využitelnost plechu

$$k_{sv} = \frac{m_s}{m_2} \cdot 100 = \frac{27500}{38220} \cdot 100 = \mathbf{71{,}9}\ \%$$

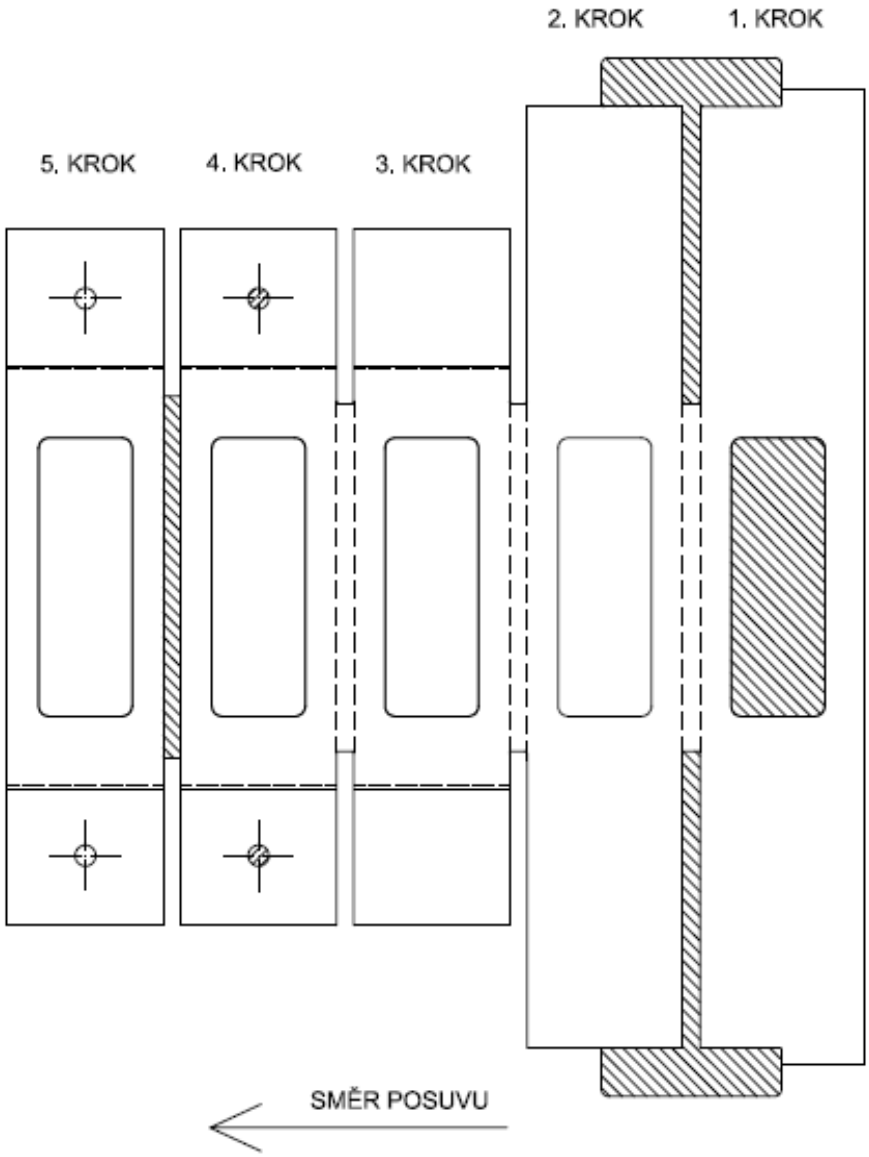
Zhodnocení variant

Vzhledem k výpočtům využitelnosti materiálu u jednotlivých variant uspořádání výstřižků v pásu plechu ze svitku se jeví z hlediska spotřeby materiálu jako levnější varianta první. 1,4 % rozdílu využitelnosti materiálu mezi první a druhou variantou ale není tak zásadní, a proto z důvodu lepšího postupu výroby součásti v nástroji bude použita varianta **druhá**. Velikost kroku a tím nárůst velikosti celého nástroje pro použití varianty první jsou nevhodné. Pro výrobu celé série touto variantou bude celkem zapotřebí 25000 m pásu plechu o šířce 280 mm a celková hmotnost tohoto použitého materiálu dosáhne 38,22 t.

5.2 Návrh postupu výroby

Pro výrobu součásti technologiemi stříhání a ohýbání v postupovém sdruženém nástroji byl navržen výrobní postup v pěti krocích, který je schématicky znázorněn na obr. 30.

V prvním kroku bude vystřižen středový otvor obdélníkového tvaru se zaoblenými rohy a nastřihovacím střižníkem budou odstřihnuty okraje pásu plechu a odstřižena část přepážky. V druhé operaci budou totožným střižníkem odstřiženy okraje pásu plechu a část přepážky jako u první operace, ale protože bude pás plechu posunutý o jeden krok, dojde ke střihu druhé strany součásti. Část přepážky je stříhána z toho důvodu, aby byl v následujícím třetím kroku umožněn ohyb součásti se současným zahledáním středového otvoru. Ve čtvrtém kroku budou vystřiženy dva otvory Ø 6 mm a v posledním pátém kroku dojde k odstřižení zbývající části přepážky a tedy k oddělení součásti od pásu plechu.



Obr. 30 Postup výroby - schéma

5.3 Výpočty střižné části nástroje

Výpočet střižné síly

Použitý výpočet dle kap. 2.4 a mez pevnosti Rm z rozmezí pro použitý materiál uvedeného v tab. 1.1 zvolena 600 Mpa. Součinitel otupení n zvolen 1,2.

Mez pevnosti materiálu ve střihu

$$\tau_{ps} = 0{,}8 \cdot \mathrm{Rm} = 480 \text{ MPa}$$

Tvarový střižník

$$l_{s1} = 2 \cdot (74 + 21) + 2 \cdot \pi \cdot 3 = 208{,}85 \text{ mm}$$
$$F_{s1} = n \cdot (l_{s1} \cdot s) \cdot \tau_{ps} = 1{,}2 \cdot (208{,}85 \cdot 0{,}7) \cdot 480 = 84208 \text{ N} \cong 84{,}21 \text{ kN}$$

Nastřihovací střižník

$$l_{s2} = 45 + 5 + 2 \cdot 85 + 5 = 225 \text{ mm}$$
$$F_{s2} = n \cdot (l_{s2} \cdot s) \cdot \tau_{ps} = 1{,}2 \cdot (225 \cdot 0{,}7) \cdot 480 = 90720 \text{ N} \cong 90{,}72 \text{ kN}$$

Kruhový střižník Ø 6 mm

$$l_{s3} = 2 \cdot \pi \cdot 3 = 18{,}84$$
$$F_{s3} = n \cdot (l_{s3} \cdot s) \cdot \tau_{ps} = 1{,}2 \cdot (18{,}84 \cdot 0{,}7) \cdot 480 = 7596 \text{ N} \cong 7{,}60 \text{ kN}$$

Odstřihovací střižník

$$l_{s4} = 2 \cdot 102 = 204 \text{ mm}$$
$$F_{s4} = n \cdot (l_{s4} \cdot s) \cdot \tau_{ps} = 1{,}2 \cdot (204 \cdot 0{,}7) \cdot 480 = 82253 \text{ N} \cong 82{,}25 \text{ kN}$$

Celková střižná síla

Vzhledem k použití dvou nastřihovacích a dvou kruhových střižníků, bude celková střižná síla vypočítána následujícím způsobem.

$$F_{s\,celk} = F_{s1} + 2 \cdot F_{s2} + 2 \cdot F_{s3} + F_{s4}$$
$$F_{s\,celk} = 84208 + 2 \cdot 90720 + 2 \cdot 7596 + 82253 = 363093 \text{ N} \cong 363{,}1 \text{ kN}$$

Výpočet střižné práce

Použitý výpočet (2.4) z kap. 2.5 a součinitel plnosti $\lambda = 0{,}6$ byl zvolen podle obr. 9.

$$A_s = \lambda \cdot F_{s\,celk} \cdot s = 0{,}6 \cdot 363093 \cdot 0{,}7 = 152499{,}06 \text{ J} = 152{,}5 \text{ kJ}$$

Výpočet střižné vůle

Použitý výpočet (2.1) z kap. 2.3. Součinitel střižné vůle c je zvolen 0,015.

$$z = c \cdot s \cdot 0{,}32 \cdot \sqrt{\tau_{ps}} = 0{,}015 \cdot 0{,}7 \cdot 0{,}32 \cdot \sqrt{480} = 0{,}071 \text{ mm}$$
$$v = 2 \cdot z = 2 \cdot 0{,}074 = 0{,}142 \text{ mm}$$

Kontrola střižníku na vzpěr [17]

Zpravidla bývá kontrolován střižník s nejmenším průřezem, u kterého může dojít k vybočení z osy a následnému zlomení. Bude tedy kontrolován kruhový střižník o Ø 6 mm.

$$l_{krit} = \sqrt{\frac{2 \cdot \pi^2 \cdot E \cdot I}{n \cdot d \cdot s \cdot \tau_{ps}}} \quad [mm] \tag{5.6}$$

kde:

l_{krit} – kritická délka [mm]

I – moment setrvačnosti v průřezu [mm^4]

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

d – průměr střižníku [mm]

E – modul pružnosti v tahu [MPa]

$$l_{krit} = \sqrt{\frac{2 \cdot \pi^2 \cdot E \cdot I}{n \cdot d \cdot s \cdot \tau_S}} = \sqrt{\frac{2 \cdot \pi^2 \cdot 2{,}1 \cdot 10^5 \cdot 63{,}62}{1{,}75 \cdot 6 \cdot 0{,}7 \cdot 480}} = 268.81 \text{ mm} \tag{5.7}$$

$$I = \frac{\pi \cdot d^4}{64} = \frac{\pi \cdot 6^4}{64} = 63{,}62 \text{ mm}^4$$

Z tohoto výpočtu vyplývá, že délka střižníků nesmí překročit 268,81 mm, a proto můžeme říci, že použitý střižník o délce 131 mm tuto podmínku splňuje.

Kontrola střižníku na otlačení [17]

Je provedena z důvodu kontroly namáhání dosedacích ploch střižníků v kotevní desce. Pokud dojde k překročení dovoleného napětí, je nutné podložku kalit. Plochy střižníků na dosedacích plochách jsou zjištěny z výkresové dokumentace.

$$\sigma_{TL} = \frac{F_s}{S} \leq \sigma_{DOV} \quad [mm] \tag{5.8}$$

kde: σ_{TL} – tlakové namáhání [MPa]

σ_{DOV} - dovolené napětí (180 MPa)

S – plocha průřezu střižníku na dosedací ploše [mm]

Tvarový střižník

$$\sigma_{TL} = \frac{84208}{2378} = 35{,}41 \text{ MPa}$$

Nastřihovací střižník

$$\sigma_{TL} = \frac{90720}{1459} = 62{,}18 \text{ MPa}$$

Kruhový střižník Ø 6 mm

$$\sigma_{TL} = \frac{7596}{78{,}53} = 96{,}71 \text{ MPa}$$

Odstřihovací střižník

$$\sigma_{TL} = \frac{82253}{742} = 110{,}85 \text{ MPa}$$

U žádného ze střižníku není překročeno dovolené napětí, a proto není nutné podložku kalit. Ale velmi často je i v takovýchto případech kalená podložka používána pro její větší životnost.

5.4 Výpočty ohybové části nástroje

Výpočet úhlu odpružení

Protože se jedná o jeden ohyb ve tvaru „U“ a dva shodné ohyby tvaru „V“, jsou použity následující výpočty (3.1 a 3.2) z kap. 3.2. Součinitel k = 0,52 je určen z tab. 3.1. Velikosti poloměrů pro výpočty l_m a L jsou určeny podle výkresové dokumentace.

$$\mathrm{tg}\beta_u = 0{,}75 \cdot \frac{l_m}{k \cdot s} \cdot \frac{R_e}{E} = 0{,}75 \cdot \frac{6{,}14}{0{,}52 \cdot 0{,}7} \cdot \frac{210}{2{,}1 \cdot 10^5} => \beta_u = 0°44´$$

$$l_m = r_m + r_p + 1{,}2 \cdot s = 3 + 2{,}3 + 1{,}2 \cdot 0{,}7 = 6{,}14 \text{ mm}$$

$$\mathrm{tg}\beta_v = 0{,}375 \cdot \frac{L}{k \cdot s} \cdot \frac{R_e}{E} = 0{,}375 \cdot \frac{L}{k \cdot s} \cdot \frac{R_e}{E} = 0{,}375 \cdot \frac{7{,}54}{0{,}52 \cdot 0{,}7} \cdot \frac{210}{2{,}1 \cdot 10^5} => \beta_{v=}0°27´$$

Výpočet ohýbací síly a práce

Výpočet dle kap. 3.4 pro ohyb „U“ a „V“.

Síla pro ohyb tvaru „V“

$$F_v = \frac{b \cdot s^2 \cdot Re}{2R} \cdot \mathrm{tg}\frac{\alpha}{2} = \frac{45 \cdot 0{,}7^2 \cdot 210}{2 \cdot 3} \cdot \mathrm{tg}\frac{90}{2} = 771{,}75 \text{ N}$$

Síla pro ohyb tvaru „U“

$$F_u = (1 + 7 \cdot f) \cdot \frac{b \cdot s^2 \cdot Re}{R + s} = (1 + 7 \cdot 0{,}1) \cdot \frac{45 \cdot 0{,}7^2 \cdot 210}{3 + 0{,}7} = 2127{,}52 \text{ N}$$

Celková ohýbací síla

$$F_o = 2 \cdot F_v + F_u = 2 \cdot 771{,}75 + 2127{,}52 = 3671\ N$$

Výpočet ohýbací práce

$$A_o = F_o \cdot h \cdot \psi = 3671 \cdot 38 \cdot 0{,}6 = 83698{,}8\ J = 83{,}7\ kJ$$

Minimání a maximální poloměr ohybu

Výpočty a určený koeficient c = 0,6 podle kap. 3.3.

$$R_{min} = \frac{s}{2} \cdot \left(\frac{1}{\varepsilon_c} - 1\right) = c \cdot s = 0{,}6 \cdot 0{,}7 = 0{,}42 \text{ mm}$$

Na vyráběné součásti je nejmenší poloměr ohybu 3 mm. Tím je podmínka minimálního poloměru podle uvedeného výpočtu splněna.

$$R_{max} = \frac{s}{2} \cdot \left(\frac{E}{Re} - 1\right) = \frac{0{,}7}{2} \cdot \left(\frac{2{,}1 \cdot 10^5}{210} - 1\right) = 338 \text{ mm}$$

5.5 Poloha stopky

Výpočet dle kap. 2.5.

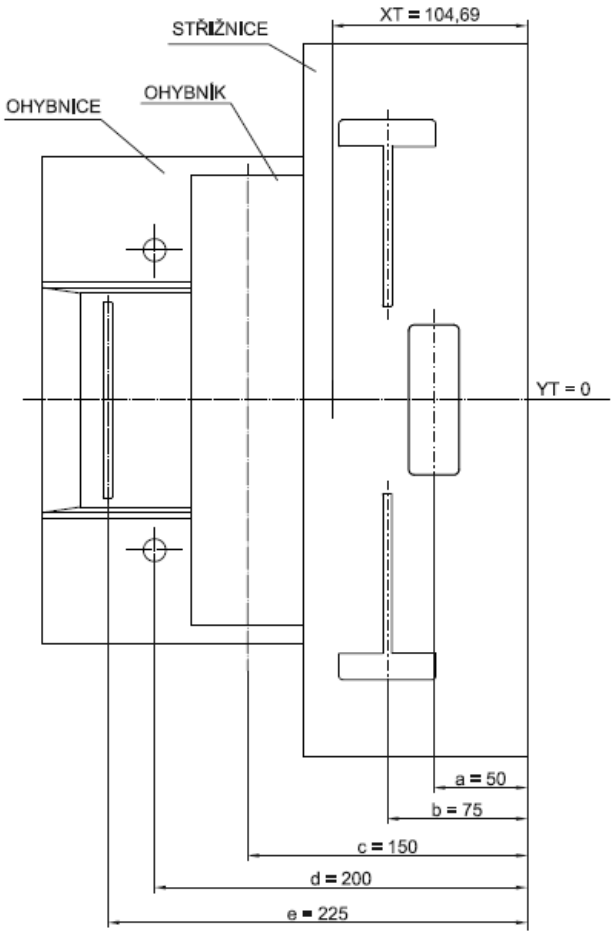
Pro zvolení polohy těžiště v ose X je zvolena hrana střižnice, od které jsou počítány výslednice jednotlivých střižných a ohýbacích sil.

$$X_T = \frac{F_{s1} \cdot a + (2 \cdot F_{s2}) \cdot b + F_u \cdot c + (2 \cdot F_v) \cdot c + F_{s3} \cdot d + F_{s4} \cdot e}{F_{s\,celk} + F_{u+} 2 \cdot F_v} =$$

$$= \frac{84208 \cdot 50 + 181440 \cdot 75 + 2128 \cdot 150 + 1544 \cdot 150 + 7596 \cdot 200 + 82253 \cdot 225}{363093 + 2128 + 2 \cdot 772} =$$

$$= 104{,}69 \text{ mm}$$

V ose X bude osa stopky umístěna 104,69 mm od hrany střižnice. Polohu těžiště v ose Y není nutno dále počítat, protože součást bude vyráběna souměrně a tím je jisté, že poloha stopky v tomto směru bude v ose nástroje, tedy $Y_T = 0$.



Obr. 31 Schéma pro určení těžiště

5.6 Návrh stroje a nástroje [24]

Z výše uvedených výpočtů velikosti střižné a ohýbací síly je určena minimální jmenovitá síla lisu pro zhotovení součásti F_{celk} = 366,76 kN. Je tedy nutné zvolit stroj s větší silou, aby nedošlo k jeho přetížení. Dalšími požadavky na stroj, kterými je nutné se řídit, jsou rozměry upínací plochy stolu a beranu, aby bylo možné navržený nástroj do stroje upnout a také zdvih stroje.

Podle těchto uvedených údajů a požadavků je zvolen výstředníkový lis LEXN 100 C od firmy Šmeral Trnava, který disponuje dostatečnou jmenovitou silou 1000 kN. Podrobné informace o stroji jsou uvedeny v příloze 2. Pro podávání plechu ze svitku do nástroje bude použito odvíjecí zařízení a válečkový podavač.

Základní hodnoty výstředníkového lisu LENX 100 C

- tvářecí síla	1000 kN
- zdvih	10 – 125 mm
- stavitelnost berana	90 mm
- sevření	380 mm
- vyložení	355 mm
- upínací plocha – stůl	1000 x 640mm
- upínací plocha – beran	560 x 360mm
- maximální tloušťka plechu	7,0mm
- výkon hlavního motoru	6,0/10,0kW

Obr. 32 Lis LEXN 100 C [24]

Popis nástroje

Pro výrobu součásti byl navržen sdružený postupový nástroj, který byl zkonstruován tak, aby byla součást vyrobena v 5 krocích tvářecími technologiemi stříhání a ohýbání. Nástroj je detailně rozkreslen na výkrese 2013-BP-107344-SN-00, k němuž je přiřazen seznam položek 2013-BP-107344-SN-01. Hlavními částmi nástroje je střižnice (9), ve které jsou pro střih otvorů o Ø6 mm vloženy dvě střižná pouzdra (14) a ohybnice (4). V horní pohyblivé části nástroje jsou uloženy střižníky (11, 12, 13, 15) a pro ohyb součásti ohybík (5). Pro zahledání otvoru slouží hledák (10) a pro zajištění polohy plechu v nástroji přidržovač (6). Tyto části jsou ukotveny v kotevní desce (7) a opřeny o kalenou podložku (3). Střižníky jsou vedeny vodící deskou (8). Tato činná část horního dílu nástroje je pomocí normalizovaných šroubů upevněna k upínací desce (2). Ta je opatřena vodícími pouzdry (18), jejichž pomocí je zajištěn pohyb této celé části nástroje po vodících sloupcích (19). Ke stroji je nástroj upnut pomocí upínací stopky (20). Spodní část nástroje, která je upnuta pomocí upínek na stole stroje, tvoří základová deska (1) a na ni je upevněna normalizovanými šrouby a kolíky již zmíněná střižnice a ohybnice. Při stříhání by měl vystřižený materiál samovolně propadávat průchozími otvory ve střižnici a základové desce, které jsou proto odlehčeny, aby nedocházelo k zachytávání materiálu v nástroji. V pracovní části nástroje je pás plechu veden mezi vodícími lištami (16), ke kterým je z přední strany nástroje upevněn pomocí šroubů podložný plech (17). Délka kroku je zajištěna pomocí podavače, a proto není nutné použití dorazů.

6 EKONOMICKÉ HODNOCENÍ

Tímto hodnocením budou zjištěny náklady na výrobu jedné součásti a následně bude určeno, od jakého množství výrobků se stane výroba zisková. Bude stanoven bod zvratu. Počítáno je s výrobní sérií 500 000 ks/rok. Náklady na nástroj uváděny nejsou.

Náklady na materiál

V kap 5.1, byly některé potřebné hodnoty vypočítány.

Celková hmotnost materiálu: m_{cs} = 38220 kg

Hmotnost jedné součásti: m = 0,055 kg

Celková hmotnost součástí: m_s = 27500 kg

Celková hmotnost odpadu: m_{co} = 10720 kg

Zhodnocení odpadu

Cena pro zhodnocení odpadu byla zvolena C_{zo} = 2,8 Kč/kg

$$z_o = m_{co} \cdot C_{zo} = 10702 \cdot 2{,}8 = 29\,965 \text{ Kč} \quad (6.1)$$

Náklady na materiál

Cena materiálu 17 240 zjištěna z ceníku firmy FERONA: 83 Kč/kg

$$N_m = m_{cs} \cdot C_m = 38220 \cdot 83 = 3172260 \text{ Kč} \quad (6.2)$$

Celkové náklady na materiál

$$N_{cm} = N_m - C_{zo} = 3172260 - 29965 = 3142295 \text{ Kč} \quad (6.3)$$

Náklady na materiál jedné součásti

$$N_{m1} = \frac{N_{cm}}{Q} = \frac{3142295}{500000} = 6{,}30 \text{ Kč/ks} \quad (6.4)$$

Náklady na mzdy

Pro výpočet nákladů na mzdu bude počítáno s délkou pracovní doby 7,5 hod. Ta je následně rozdělena na čas přípravný t_p = 0,5 hod, čas výrobní t_v = 6,5 hod a čas kontrolní t_k = 0,5 hod.

Počet vyrobených součástí za hodinu

Z přílohy č. 2 byl zvolen počet zdvihů lisu $n_z = 80\ min^{-1}$

$$n_{sh} = n_z \cdot 60 = 80 \cdot 60 = 4800 \text{ ks/hod} \quad (6.5)$$

Počet vyrobených součástí za směnu

$$n_{ss} = n_{sh} \cdot 6{,}5 = 4800 \cdot 6{,}5 = 31200 \text{ ks/směnu} \quad (6.6)$$

Počet potřebných směn

$$n_{sm} = \frac{Q}{n_{ss}} = \frac{500000}{31200} \cong 16 \text{ směn} \quad (6.7)$$

Počet hodin potřebných na výrobu celé série

$$n_h = n_{sm} \cdot (t_p + t_v + t_k) = 16 \cdot (0{,}5 + 6{,}5 + 0{,}5) = 120 \text{ hod} \quad (6.8)$$

Náklady na mzdy

Mzda w je stanovena na 120 Kč/hod.

$$N_{mz} = n_h \cdot w = 120 \cdot 120 = 14400 \text{ Kč} \quad (6.9)$$

Celkové náklady na mzdy

$$N_{cpmz} = N_{mz} + 0{,}34 \cdot N_{mz} = 14400 + 4896 = 19296 \text{ Kč} \quad (6.10)$$

Režijní náklady [25]

Výrobní režie 120 % => $V_r = 1{,}2$

Správní režie 90 % => $S_r = 0{,}9$

$$N_r = (V_r + S_r) \cdot N_{cpmz} = (1{,}2 + 0{,}9) \cdot 19269 = 40465 \text{ Kč} \quad (6.11)$$

Náklady na celkové výdaje

$$N_{cmz} = N_{cpmz} + N_r = 19269 + 40465 = 59734 \text{ Kč} \quad (6.12)$$

Náklady na nástroj

Jsou odhadnuty na $N_n = 320000$ Kč.

Cena součásti

Náklady na výrobu jedné součásti

$$N_{v1} = \frac{N_{cm}+N_n}{Q} + N_{m1} = \frac{3142295+320000}{500000} + 6{,}3 = 13{,}22 \text{ Kč} \quad (6.13)$$

Celková cena součásti se ziskem

Zisk bude uvažován 25 %.

$$C_c = N_{v1} \cdot Z_{sk} = 13{,}22 \cdot 1{,}25 = 16{,}50 \text{ Kč} \quad (6.14)$$

Určení bodu zvratu [26]

Fixní náklady

$$FN = N_n + N_{cmz} - N_{cpmz} = 320000 + 59734 - 19296 = 360438 \text{ Kč} \quad (6.15)$$

Variabilní náklady

$$VN = N_{m1} + \frac{N_{cpmz}}{Q} = 6{,}3 + \frac{19296}{500000} = 6{,}34 \text{ Kč/ks} \quad (6.16)$$

Bod zvratu

$$Z = \frac{FN}{C_c - VN} = \frac{360438}{16{,}5-6{,}34} = 35476 \text{ ks} \quad (6.17)$$

Z uvedených výpočtů bylo zjištěno, že při vyrobení a následném prodeji 35476 ks součástí nastává bod zvratu a výroba s následným prodejem začíná být zisková. Vzhledem k vyráběné sérii 500000 ks/rok je zřejmé, že výroba bude z ekonomického hlediska efektivní za velmi krátké období.

7 ZÁVĚR

Cílem této práce je konstrukce tvářecího nástroje, jehož pomocí bude možné tvářecími operacemi zhotovit vyráběnou součást, kterou je kotevní prvek. Je používána ve stavebnictví, jako ukotvení nosičů k podkladovým podložkám na betonovém podloží při sestavení konstrukce, na kterou jsou následně připevňována prkna nebo kazety při stavbě teras u domů, na zahrádkách, kolem bazénů apod. Vzhledem ke zmíněnému účelu součásti bude na výrobu použit antikorozní plech 17 240 o tloušťce 0,7 mm. Tento materiál zajistí odolnost proti povětrnostním a jiným vlivům venkovního prostředí. Je počítáno s výrobní sérií 500 000 ks za rok.

Bylo zhodnoceno několik možných výrobních variant jako např.: děrování a řezání laserem, vysekávání, přesné vystřihování, stříhání s použitím postupového střižného nástroje a stříhání s použitím postupového sdruženého nástroje. Po zhodnocení vlastností těchto technologií výroby byla jako nejvýhodnější metoda vybrána stříhání a ohýbání v postupovém sdruženém nástroji. Touto technologií bude výrobek vyráběn v jednom nástroji na jednom stroji a nebude proto nutné použít více nástrojů jako by tomu bylo u jiných metod. Technologicky je tato varianta dostačující, protože vzhledem k použití součásti na výrobu nejsou kladeny velké rozměrové ani tvarové přesnosti. Na tuto výrobní technologii byla následně vypracována teoretická část práce.

Následující praktická část této práce obsahuje návrh technologie výroby součásti. Při výpočtech využitelnosti materiálu byla zjištěna větší využitelnost při poloze výstřižků v podélné ose posuvu plechového svitku do nástroje, která dosahovala 73,3 %. Při poloze výstřižku kolmo na osu posuvu byla tato využitelnost 71,9 % a vzhledem k výhodnějšímu postupu výroby byla zvolena tato druhá varianta. Dále byly provedeny technologické výpočty, potřebné pro konstrukci sdruženého postupového nástroje. Tedy výpočty pro střih a ohyb, z kterých byla zjištěna celková tvářecí síla 366,76 kN potřebná pro výrobu součásti. Dle těchto vypočtených hodnot byl vybrán pro výrobu výstředníkový lis LENX 100 C od firmy Šmeral Trnava o jmenovité tvářecí síle 1000 kN.

Na základě výpočtů, zvoleného výrobního postupu a technologiemi výroby byl zkonstruován sdružený postupový nástroj, ve kterém bude součást v pěti krocích vyrobena.

V závěrečném ekonomickém hodnocení, kde jsou uvedeny náklady na výrobu součásti byla zjištěna ziskovost výroby od 35 476 ks.

SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

1. BOBČÍK Ladislav. *Střižné nástroje pro malosériovou výrobu*. 1. vyd. Praha: Nakladatelství technické literatury, 1983. 216 s. ISBN L13-B2-IV-31/22703.
2. FOREJT, Milan a Miroslav PÍŠKA. *Teorie obrábění, tváření a nástroje*. 1. vyd. Brno: Akademické nakladatelství CERM, s. r. o., 2006. 225 s. ISBN 80-214-2374-9.
3. KŘÍŽ, Rudolf a Pavel VÁVRA. *Strojírenská příručka 8. svazek: V-Tváření, W- Výrobky ze slinovaných prášků, X- Výrobky z plastů, Z- Svařování součástí, Z- Protikorozní ochrana materiálu*. 1. vyd. Praha: Scientia, 1998, 255 s. ISBN 80-718-3054-2.
4. TATÍČEK, František a Tomáš PILVOUSEK. MM průmyslové spektrum. *Akademie tváření: Stříhání* [online]. 2010, č. 6, s. 72 [cit. 2013-02-26]. Dostupné z: http://www.mmspektrum.com/clanek/akademie-tvareni-strihani.html
5. FOREJT, Milan. *Teorie tváření*. Brno: Akademické nakladatelství CERM, s. r. o., 2004, 167 s. ISBN 80-214-2764-7.
6. PETRUŽELKA, Jiří a Richard BŘEZINA. *Úvod do tváření II plošné tváření* [online]. [cit. 2013-02-28]. Dostupné z: http://www.345.vsb.cz/jiripetruzelka/Texty/Uvod_TV2.pdf
7. DVOŘÁK, Milan, František GAJDOŠ a Karel NOVOTNÝ. *Technologie tváření: Plošné a objemové tváření.* 4.vyd. Brno: Akademické nakladatelství CERM, s. r. o., 2007, 169 s. ISBN 978-80-214-3425-7.
8. KOTOUČ, Jiří, Jan ŠANOVEC, Jan ČERMÁK a Luděk MÁDLE. *Tvářecí nástroje.* 1. vyd. Praha: Vydavatelství ČVUT, 1993, 349 s. ISBN 80-01-01003-1.
9. DVOŘÁK, Milan, František GAJDOŠ a Ladislav ŽÁK. *Technologie tváření: Návody do cvičení.* 2. vyd. Brno: Akademické nakladatelství CERM, s. r. o, 2005, 103 s. ISBN 80-214-2881-3.
10. NOVOTNÝ, Josef a Zdeněk LANGER. *Stříhání a další způsoby dělení kovových materiálů*. 1.vyd. Praha: Nakladatelství technické literatury, n. p., 1980, 216 s. ISBN L13-B3-IV-41/22674.
11. TATÍČEK, František a Tomáš PILVOUSEK. MM průmyslové spektrum. *Akademie tváření: Ohýbání* [online]. 2010, č. 7, s. 52 [cit. 2013-03-06]. Dostupné z: http://www.mmspektrum.com/clanek/akademie-tvareni-ohybani.html
12. DVOŘÁK, Milan et al. *Technologie II*. 3. dopl. vyd. Brno: Akademické nakladatelství CERM, s. r. o., 2004, 238 s. ISBN 80-214-2683-7.
13. TATÍČEK, František, Martin OUŠKA a Lukáš TURZA. MM průmyslové spektrum. *Akademie tváření: Technologičnost konstrukce při ohýbání*[online]. 2012, č. 4 [cit. 2013-03-14]. ISSN 120426. Dostupné z: http://www.mmspektrum.com/clanek/akademie-tvareni-technologicnost-konstrukce-pri-ohybani.html
14. *MojeTerasa.cz: Montážní návod Werzalit TerraZa* [online]. [cit. 2013-03-26]. Dostupné z: http://www.mojeterasa.cz/ke-stazeni-219
15. *INOX, spol.s r. o.: Nerezový hutní materiál* [online]. [cit. 2013-03-26]. Dostupné z: http://inoxspol.cz/index.php?act=a&cat=4&art=16

16. *Nekonvenční technologie: Řezání laserem a vodním paprskem* [online]. [cit. 2013-03-27]. Dostupné z: http://www.chps.cz/rezani-laserem/technologie.html

17. NOVOTNÝ, Karel. *Tvářecí nástroje*. 1.vyd. Brno: Nakladatelství Vysokého učení technického v Brně, 1992, 186 s. ISBN 80-214-0401-9.

18. PRIBAN, Jiří. *Střižné nástroje: Střižnice a střižníky* [online]. [cit. 2013-05-07]. Dostupné z: http://www.vyrobaforem.cz/cs/strizne_nastroje.html

19. KOTOUČ, Jiří. *Nástroje pro tváření za studena*. dotisk. Praha: Vydavatelství ČVUT, 1978, 158 s. ISBN 60-964-78.

20. NOVOTNÝ, Karel. *Výrobní stroje: Část I. - tváření*. 2. vyd. Brno: Nakladatelství Vysokého učení technického v Brně, 1987, 112 s. ISBN 55-593/1-87.

21. POKORNÝ, Přemysl. *Výrobní stroje II.: Mechanické lisy* [online]. 1998 [cit. 2013-05-15]. Dostupné z: http://www.kvs.tul.cz/download/vyrobni_stroje/tvareci.pdf

22. Zappis, s. r. o.: Kovovýroba. [online]. [cit. 2013-05-16]. Dostupné z: http://www.zappis.cz/produkty-drobna-kovovyroba-detail-11

23. Janspo Zlín, s. r. o.: Dělení a ohýbání plechu. [online]. [cit. 2013-05-16]. Dostupné z: http://www.janspo.cz/deleni-ohybani-plechu-zlin

24. TST servis, a.s.: Výstředníkový lis LEXN 100 C. [online]. [cit. 2013-05-19]. Dostupné z: http://www.tstservis.cz/lexn100c.php

25. Obchodní akademie Karviná, s.r.o. Kalkulace 1. [online]. [cit. 2013-05-20]. Dostupné z: www.obaka-karvina.cz/files/eko04.ppt

26. EBITDA zisk před úroky, daněmi a odpisy: Bod zvratu. [online]. [cit. 2013-05-20]. Dostupné z: http://ebitda.cz/zisk/8-bod-zvratu

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

označení	legenda	jednotka
A	tažnost	[%]
A_s	střižná práce	[J]
a	vzdálenosti stříhaných otvorů	[mm]
B	šířka pásu plechu	[mm]
b	šířka ohýbané součásti	[mm]
c	součinitel střižné vůle	[-]
c_1	součinitel stírání	[-]
c_2	součinitel protlačování	[-]
d	průměr díry	[mm]
E	modul pružnosti v tahu	[MPa]
F_{pr}	protlačovací síla	[N]
F_s	střižná síla	[N]
F_{st}	stírací síla	[N]
$F_{s\ max}$	maximální střižná síla	[N]
$F_{1,2,3}$	síly působící ve směru osy y	[N]
$F´_{1,2,3}$	síly působící ve směru osy x	[N]
$F_{u,v}$	síla pro ohyb tvaru „U a V“	[N]
f	součinitel tření	[-]
I	moment setrvačnosti v průřezu	[mm^4]
K	délka kroku	[mm]
k	součinitel polohy neutrální plochy	[-]
k_{sv}	využitelnost plechu	[%]
L	vzdálenost mezi opěrami ohybnice	[mm]
L_c	celková délka rozvinuté součásti	[mm]
L_{sv1}	celková délka svitku	[mm]
l	délka střihu	[mm]
l_{krit}	kritická délka	[mm]
l_o	délka ohnutého úseku	[mm]
N_{cm}	celkové náklady na materiál	[Kč]
N_{cm2}	celkové náklady na mzdy	[Kč]
N_{cpm2}	celkové přímé náklady na mzdy	[Kč]
N_n	náklady na nástroj	[Kč]
N_{opm2}	ostatní přímé náklady	[Kč]
N_r	režijní náklady	[Kč]
n	součinitel otupení	[-]
n_{sh}	počet součástí vyrobených za hodinu	[-]
n_{sm}	počet směn	[-]
n_{ss}	počet součástí vyrobených za směnu	[-]
n_{sv}	celkový počet výstřižků ze svitku	[-]
n_z	počet zdvihů	[min^{-1}]
Q	výrobní série	[ks/rok]
R	poloměr ohybu	[mm]
Re	mez kluzu	[MPa]
Rm	mez pevnosti	[MPa]
R_{max}	maximální poloměr ohybu	[mm]
R_{min}	minimální poloměr ohybu	[mm]
r	poloměr zaoblení	[mm]

S	plocha střihu	$[mm^{2]}$
$V_{1,2}$	objem materiálu pro sérii	$[mm^3]$
V_s	objem součásti	$[mm^3]$
s	tloušťka plechu	[mm]
v	střižná vůle	[mm]
X_t	vzdálenost těžiště od osy y	[mm]
x	velikost posunutí neutrální plochy	[mm]
Y_t	vzdálenost těžiště od osy x	[mm]
z	střižná mezera	[mm]
α	úhel ohybu	[°]
$\beta_{u,v}$	úhel odpružení	[°]
γ	úhel ohnutého úseku	[°]
ε_c	mezní prodloužení	[mm]
ρ	hustota železa	$[kg\ m^{-3}]$
τ_{ps}	pevnost ve střihu	[MPa]
τ_s	pevnost materiálu ve střihu	[MPa]
τ_{TL}	tlakové namáhání	[MPa]
τ_{DOV}	dovolené napětí	[MPa]
φ	úhel zkosení střižné hrany	[°]

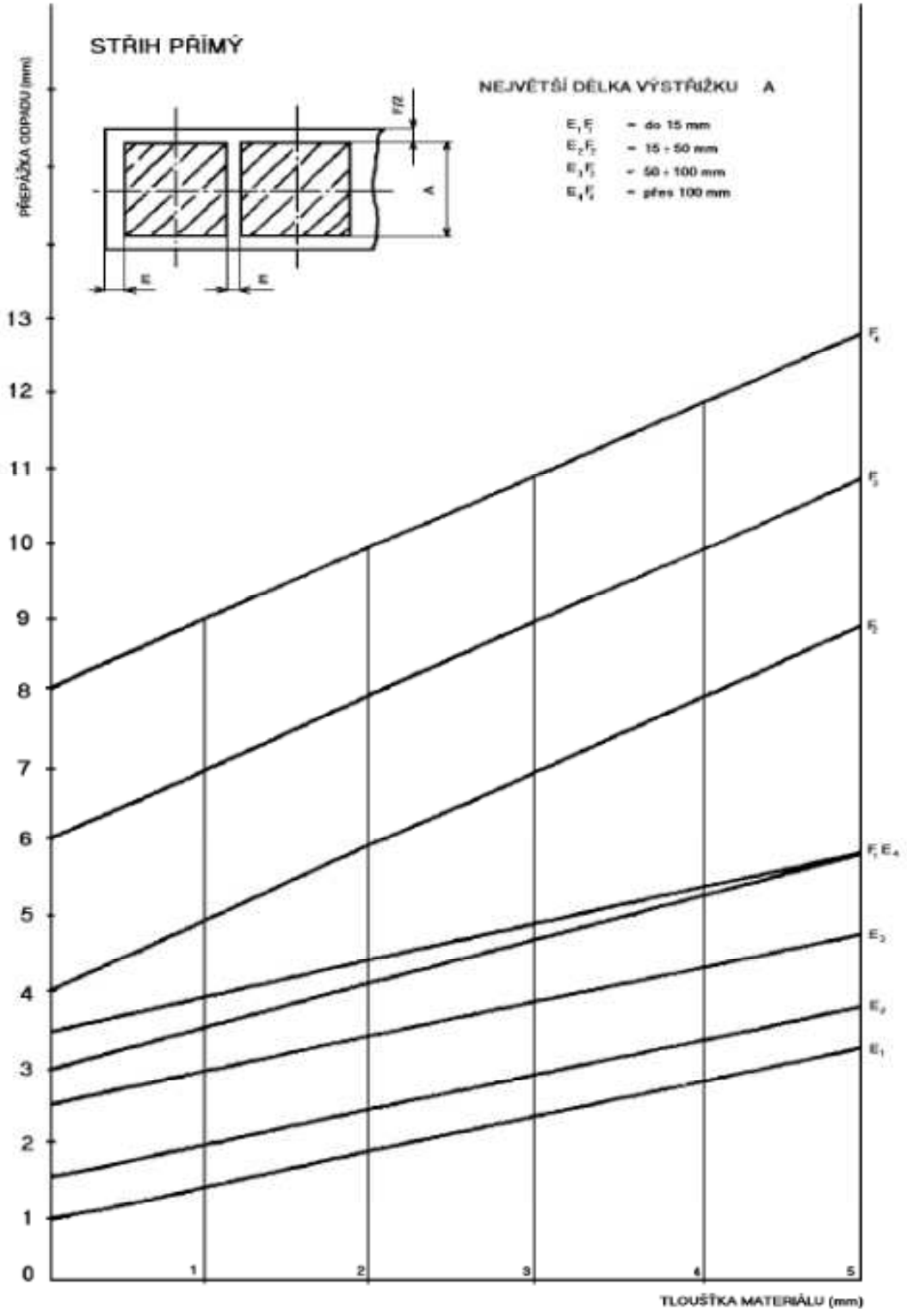
SEZNAM PŘÍLOH

Příloha č. 1 – Monogram k určení můstků a okrajů plechu
Příloha č. 2 – Technické údaje stroje
Příloha č. 3 – Minimální vzdálenosti stříhaných děr

SEZNAM VÝKRESŮ

2013-BP-107344-VS-1	- Výkres součásti
2013-BP-107344-SN-00	- Výkres sestavy střihadla
2013-BP-107344-SN-01	- Seznam položek
2013-BP-107344-SN-09	- Výkres střižnice
2013-BP-107344-SN-11	- Výkres střižníku 1
2013-BP-107344-SN-12	- Výkres střižníku 2
2013-BP-107344-SN-13	- Výkres střižníku 3
2013-BP-107344-SN-04	- Výkres ohybnice
2013-BP-107344-SN-05	- Výkres ohybníku

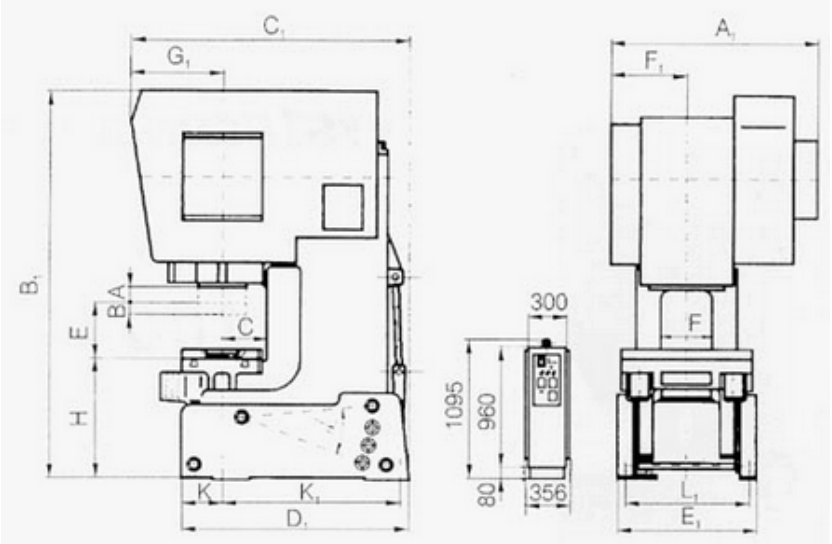
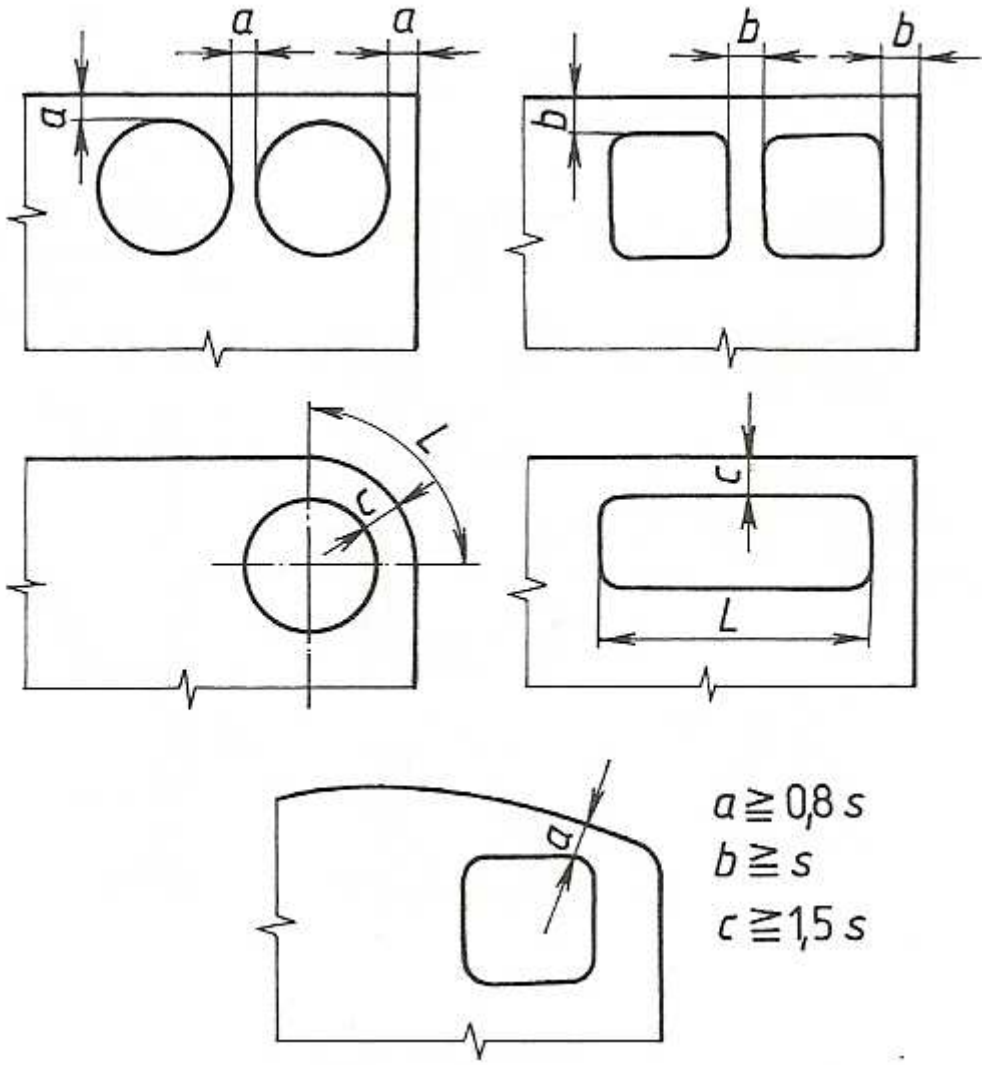
Příloha č. 1 – Monogram k určení můstků a okrajů plechu



Příloha č. 2 – Technické údaje stroje

TECHNICKÉ ÚDAJE		LEXN100 C	
JMENOVITÁ SILA LISU		1000	KN
POČET ZDVIHŮ TRVALÝ CHOD P/R		75/150	1/min
VYUŽITELNÝ POČET JEDNOTLIVÝCH ZDVIHŮ - POMALOBĚH		45	1/min
MAX. TLOUŠŤKA ZPRACOVÁVANÉHO PLECHU	TRVALÝ CHOD	4	Mm
	JEDNOTLIVÉ ZDVIHY	7	Mm
MAXIMÁLNÍ ODEVZDANÁ PRÁCE	JEDNOTLIVÉ ZDVIHY	3000/2500	J
	TRVALÝ CHOD	1650/950	J
ELEKTROMOTOR	VÝKON	6/10	kW
	OTÁČKY	725/1445	1/min.
ELEKTRICKÉ NAPĚTÍ	SÍŤOVÉ	380/50	V/Hz
	OVLÁDACÍ	24/50	
	OSVĚTLENÍ	24/50	
TLAKOVÝ VZDUCH	PRACOVNÍ TLAK	0,5	Mpa
	SPOTŘEBA VZDUCHU	0,020	m^3/zdvih
	PŘÍPOJKA VZDUCHU	G	

PARAMETRY A ROZMĚRY		LEXN 100 C	MJ
STAVITELNOST ZDVIHU	A	10 125	mm
STAVITELNOST BERANA	B	90	
VYLOŽENÍ	C	355	
SEVŘENÍ	E	380	
PŘECHOD	F	380	
PLOCHA STOLU		640 x 1000	
PLOCHA BERANA		360 x 560	
TLOUŠŤKA DESKY STOLU		80	
ROZMĚRY LISU	A_1	1655	
	B_1	2970	
	C_1	2220	
	D_1	1800	
	E_1	1050	
	F_1	585	
	G_1	720	
	H_1	930	
	K_1	300	
	K_1	1400	
	L_1	890	
SKLOPENÍ STOJANU	A	0, 9O, 17O, 25O	
HMOTNOST LISU		10600	Kg



Příloha č. 3 – Minimální vzdálenosti stříhaných děr