



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING
INSTITUTE OF MANUFACTURING TECHNOLOGY

VÝROBA PETLICE SDRUŽENÝM NÁSTROJEM THE MANUFACTURE OF LATCH WITH USE COMPOUND TOOL

DIPLOMOVÁ PRÁCE
MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

Bc. PAVEL PETŘEK

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

Ing. EVA ŠMEHLÍKOVÁ, Ph.D.

BRNO 2011

ABSTRAKT

PETŘEK P: Výroba petlice sdruženým nástrojem

Projekt vypracovaný v rámci inženýrského studia oboru M-STG předkládá návrh technologie výroby součásti z ocelového plechu S195T stříháním a ohýbáním. Na základě literární studie byl navržen sdružený nástroj pracující ve třech krocích. Nástroj je upnut ve výstředníkovém lisu LE 250 s jmenovitou silou 2500 kN. Střížník a střížnice jsou vyrobeny z nástrojové oceli 1.2379 podle výkresové dokumentace.

Klíčová slova: plošné tváření, stříhání, ohýbání, sdružený nástroj, ocel S195T (11 343)

ABSTRACT

PETŘEK PPavel: The manufacture of latch with use compound tool

The project drawn up within engineering studies, field M-STG, presents a design for processing a single part – the part is made of sheet steel number S195T by shearing and bending. On the basis of literary study was design compound tool which is working in three steps. The tool is fixed in eccentric press LE 250 with nominal force 25000 kN. Blanking punch and blanking die are made from tool steel 1.2379 according the drawing documentation.

Keywords: sheet metal forming, shearing, bending, compound tool, steel S195T (11 343)

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

PETŘEK, Pavel. *Výroba dveřní petlice sdruženým nástrojem*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2011. 59 s. Vedoucí diplomové práce Ing. Eva Šmehlíková, 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 dne __.__.2011

.....

Podpis

PODĚKOVÁNÍ

Tímto děkuji Ing. Evě Šmehlíkové za cenné připomínky a rady týkající se zpracování mé diplomové práce.

OBSAH

Titulní list

ABSTRAKT.....	2
BIBLIOGRAFICKÁ CITACE.....	3
ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ.....	4
PODĚKOVÁNÍ.....	5
1. ÚVOD	9
2. SOUČASNÝ STAV ŘEŠENÍ	9
3. LITERÁRNÍ STUDIE K ZADANÉ PROBLEMATICE	11
3.1 Stříhání (podle ČSN 226015)	11
3.1.1 Průběh stříhání	11
3.1.2 Střížná vůle	12
3.1.3 Kvalita střížné plochy.....	13
3.1.4 Střížný odpor	13
3.1.5 Síly při stříhání na stříhadlech	14
3.1.6 Možnost snížení střížné síly	15
3.1.7 Střížná práce	16
3.1.8 Přesnost a jakost povrchu při stříhání	18
3.1.9 Stanovení rozměrů střížníku a střížnice	18
3.1.10 Pevnostní výpočty střížníku a střížnice	19
3.1.11 Technologičnost konstrukce výstřížku	21
3.1.12 Nástřihový plán	22
3.1.13 Funkční části nástroje.....	23
3.2 Ohýbání	27
3.2.1 Minimální poloměr ohybu	28
3.2.2 Maximální poloměr ohybu	29
3.2.3 Odpružení při ohybu	29
3.2.4 Ohýbací síla a ohýbací práce	31
3.2.5 Vůle mezi ohybníkem a ohybnicí	32
3.2.6 Jakost a přesnost ohýbaných součástí	32
3.2.7 Technologičnost ohýbaných součástí	34
3.3 Popis nástroje	34
3.3.1 Horní část nástroje.....	35
3.3.2 Spodní část nástroje.....	37
3.3.3 Stroje a zařízení ke stříhání	39
ABSTRAKT.....	2
BIBLIOGRAFICKÁ CITACE.....	3
ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ.....	4
PODĚKOVÁNÍ.....	5
1. ÚVOD	9
2. SOUČASNÝ STAV ŘEŠENÍ	10
Materiál součásti	11
Zhodnocení současného stavu výroby:	11
3. LITERÁRNÍ STUDIE K ZADANÉ PROBLEMATICE	12
3.1 Stříhání (podle ČSN 226015) [8]	12
3.1.1 Průběh stříhání [4], [8] , [12].....	12
3.1.2 Střížná vůle [1], [8], [13].....	13
3.1.3 Kvalita střížné plochy [1], [8], [13].....	14
3.1.4 Střížný odpor [8]	14

3.1.5 Síly při stříhání na stříhadlech [2], [5], [8].....	15
Síla potřebná pro setření materiálu ze střížníku	16
Protlačovací síla potřebná pro protlačení výstřížku střížnicí	16
Stanovení celkové střížné síly	16
3.1.6 Možnost snížení střížné síly [2], [14].....	16
3.1.7 Střížná práce [8]	17
3.1.8 Přesnost a jakost povrchu při stříhání [1], [8]	18
3.1.9 Stanovení rozměrů střížníku a střížnice [1], [8].....	19
3.1.10 Pevnostní výpočty střížníku a střížnice [9], [12].....	20
3.1.11 Technologičnost konstrukce výstřížku [1], [12]	22
3.1.12 Nástřihový plán [1], [6].....	23
3.1.13 Funkční části nástroje [6], [9]	24
Střížnice.....	24
Střížníky	27
3.2 Ohýbání [6], [11].....	28
3.2.1 Minimální poloměr ohybu [6], [9]	29
3.2.2 Maximální poloměr ohybu [6], [9].....	30
3.2.3 Odpružení při ohybu [4], [9], [11].....	30
3.2.4 Ohýbací síla a ohýbací práce [1]	32
3.2.5 Vůle mezi ohybníkem a ohybnicí [9].....	33
3.2.6 Jakost a přesnost ohýbaných součástí [1].....	33
3.2.7 Technologičnost ohýbaných součástí [1]	35
3.3 Popis nástroje [2], [5], [6], [9].....	35
3.3.1 Horní část nástroje.....	36
3.3.2 Spodní část nástroje.....	38
Obr. 3.49 Kuličkové vedení (vlevo), Válečkové vedení (vpravo) [9].....	40
3.3.3 Stroje a zařízení ke stříhání [10]	40
4. NÁVRH TECHNOLOGIE VÝROBY	41
4.1 Návrh variant – konstrukční řešení	41
Varianta č.1	41
Varianta č.2	42
4.2 Využití materiálu.....	43
4.3 Příklad výrobní linky.....	43
5. KONSTRUKČNÍ ŘEŠENÍ TECHNOLOGIE VÝROBY DOLOŽENÉ	
TECHNICKÝMI VÝPOČTY	44
5.1 Výpočty pro stříhání.....	44
5.1.1 Výpočty síly na stříhadlech	44
Střížná síla	44
Síla potřebná pro setření materiálu ze střížníku	44
Protlačovací síla potřebná pro protlačení výstřížku střížnicí	44
Celková střížná síla	45
5.1.2 Střížná práce	45
5.1.3 Střížná vůle.....	45
5.1.4 Kontrola střížníku na otlacení	45
5.2 Výpočty pro ohýbání.....	46
5.2.1 Minimální poloměr ohybu.....	46
5.2.2 Maximální poloměr ohybu	46
5.2.3 Odpružení při ohybu.....	46
5.2.4 Síla při ohýbání	47
5.2.5 Síla přidržovače při ohýbání	47

5.3 Celková lisovací síla.....	47
5.4 Výpočet těžiště všech sil pro určení pozice stopky.....	47
5.5 Stanovení rozměrů střížníku a střížnice	48
5.6 Technický popis stroje stroje [15].....	49
Technický popis stroje Excentrický lis LE 250	49
6. TECHNICKO – EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ	50
6.1 Vstupní hodnoty	50
6.2 Náklady na materiál	50
6.3 Náklady na nástroj.....	51
6.4 Celkové náklady.....	52
7. ZÁVĚR.....	53
Seznam použité literatury	54
Seznam použitých symbolů:.....	55
Seznam příloh.....	58

1. ÚVOD

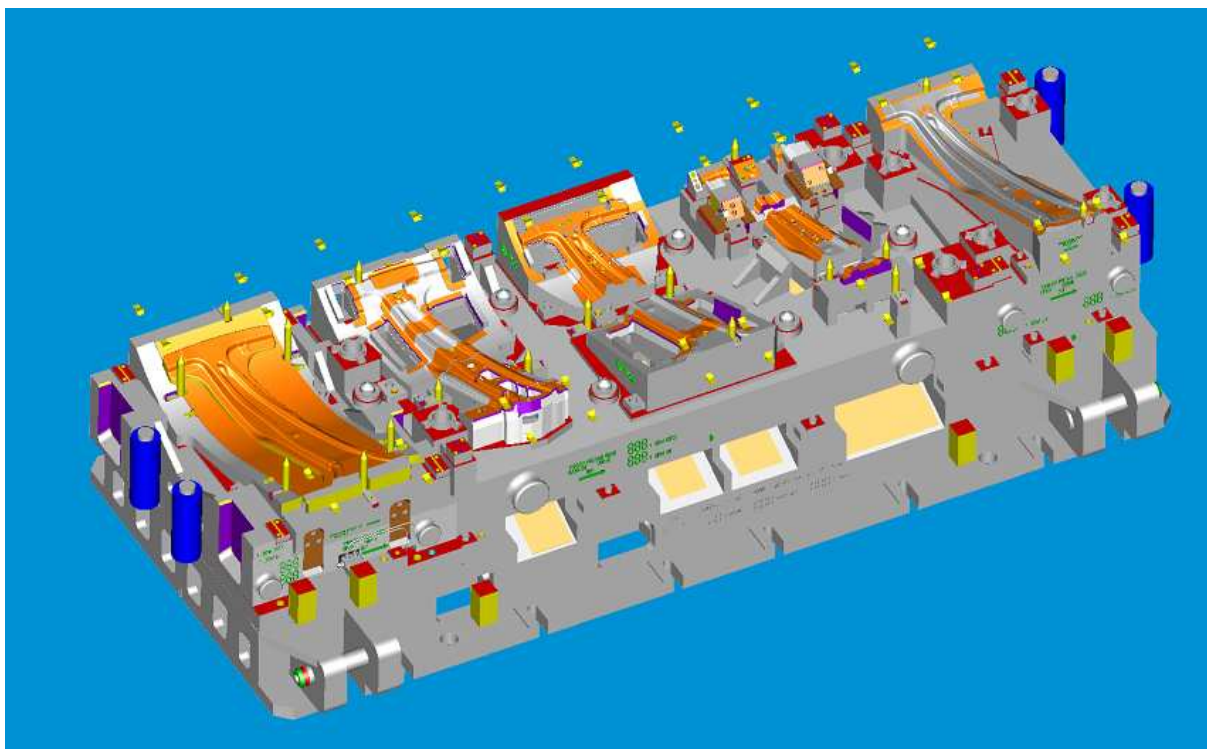
Stříhání a ohýbání je jedna z nejrozšířenějších metod plošného tváření plechů. Pracovní proces je plně automatický a jediný okamžik, kdy člověk ovlivňuje pracovní chod je výměna svitku s materiálem na automatické odvíječe a zakládání pasu do nástroje a jeho rozjždění. Spojením několika jednodušších tvářecích operací do jednoho sdruženého postupového nástroje se výrazně zvýší produktivita, čímž odpadá mnoho přidružených kroků jako je přeprava a manipulace s polotovary a materiálem. Tím se razantně zkracují strojní časy a stoupá celková produktivita práce.

Postupové nástroje jsou vhodné pro výrobu menších až středně velkých dílů. Postupové nástroje spočívají v tom, že při jednom pracovním kroku proběhne několik operací současně. Postupové nástroje jsou vysoce produktivní pracovní „stroje“. Téměř všechny jsou koncipovány jako dvouřadé a vyrábí tedy pravý i levý díl současně.

Bezproblémový chod nástrojů a výsledná kvalita výrobků je dána použitím kvalitních materiálů funkčních částí nástrojů, vlastní konstrukcí nástroje s ohledem na vyměnitelnost a opravy nejvíce namáhaných částí nástroje. Samozřejmě také záleží na přesnosti výroby nástroje a zvolených technologiích výroby.

Všechny tyto kroky tvorby nového nástroje, od návrhu přes konstrukci až po výrobu, ovlivňují kvalitu a požadovanou přesnost konečného výrobku.

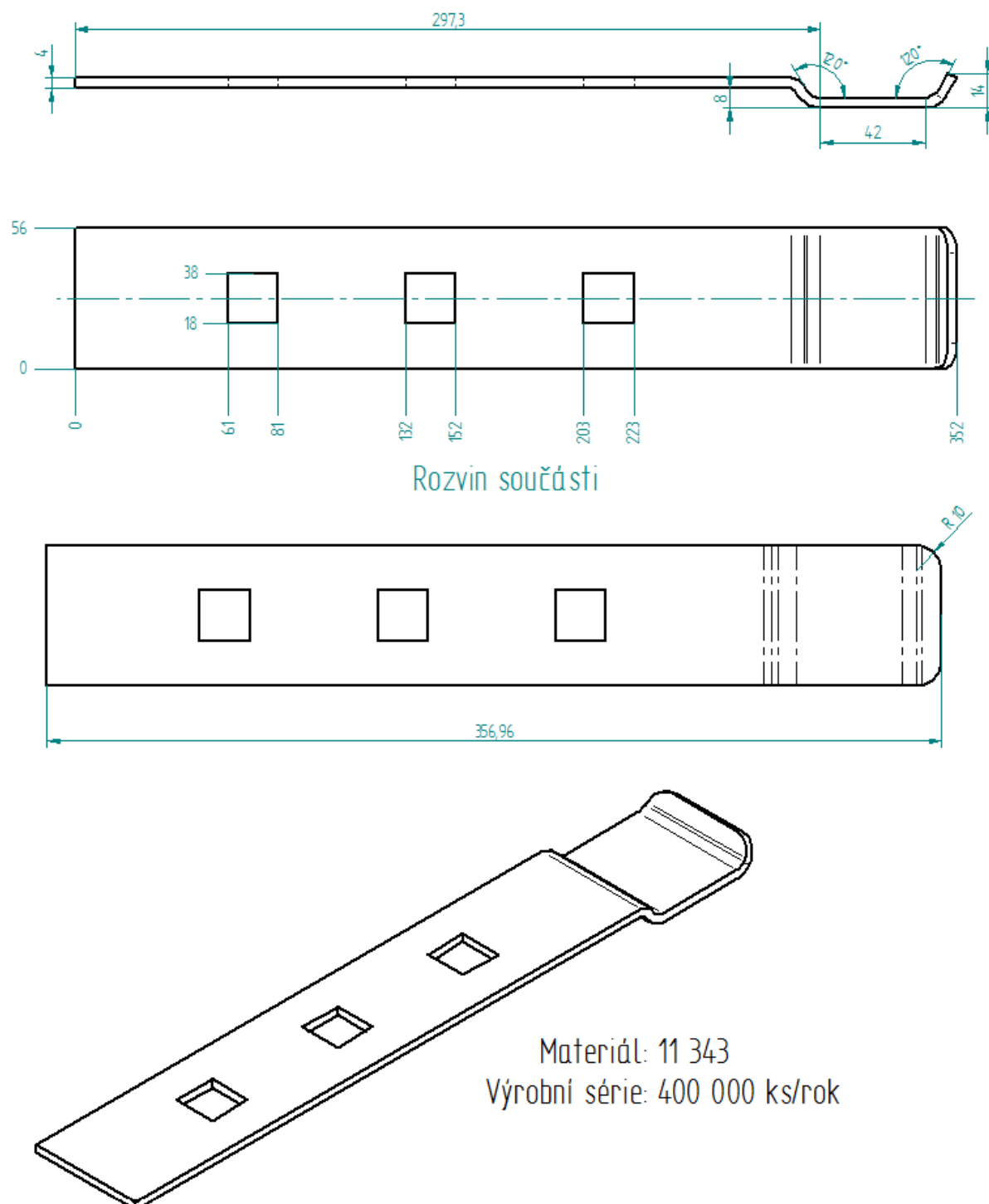
Operace stříhání a ohýbání budou uplatněny pro výrobu „dveřní petlice“. Výsledkem práce by měl být návrh sloučeného nástroje, k výrobě této součástky.



Obr. 1.1 Příklad postupového nástroje. Výrobce nástroje je firma TOOL Werkzeugbau s.r.o.

2. SOUČASNÝ STAV ŘEŠENÍ

Tvar a rozměry součásti, kterých má být dosaženo při výrobě.
Součást „petlice“, sloužící jako uzavírací mechanismus.



Obr. 2.1 Rozměry zadané součásti

Materiál součásti

Neušlechtilá konstrukční ocel. Vhodná na součásti konstrukcí a strojů menších tlouštěk, tavně svařované namáhané staticky, popř. i mírně dynamicky. Drobné lisované výrobky jako přezky, stavební a nábytkové kování, přídržky, pravítka, žaluzie apod. Různé tváření a svařované součásti, vložky, třmeny, rozpěrky, závlačky, oka, páky, rukojeti, čepy, svorníky, držáky apod. Trubky pro všeobecné účely. Vhodná ke svařování. Označení podle normy:

- ČSN **11 343**
- EN 10027-1, **S195T**
- DIN **St34-2**
- WNr **1.0026**

Chemické složení:

max. 0,16% C
max. 0,045% P
max. 0,045% S

Mechanické vlastnosti:

Minimální mez kluzu: $R_{emin} = 240$ MPa
Mez pevnosti: $R_m = 400$ MPa
Minimální tažnost: $A = 10\%$

Zhodnocení současného stavu výroby:

Součást je vyráběna na dvou samostatných nástrojích, což je časově a tudíž i finančně náročné. Pro výrobu je zapotřebí střižný nástroj, na kterém se provede vystřížení kontury a prostřížení třech obdélníkových otvorů. Poté následuje vytvoření prohýbu v tvarovém nástroji. Každá s těchto operací (stříh a ohyb), vyžaduje samostatný lis a obsluhu.

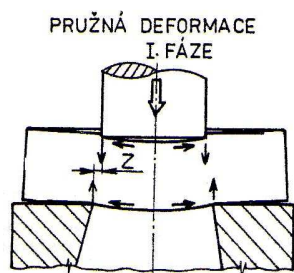
Z těchto výše popsaných důvodů je zvažována konstrukce jednoho sdruženého nástroje, který by nahradil současnou technologii výroby. Dosáhne se tak úspory času a energií výrobního zařízení. Z toho vyplývá i snížení výrobních nákladů a celkové ceny petlice.

3. LITERÁRNÍ STUDIE K ZADANÉ PROBLEMATICE

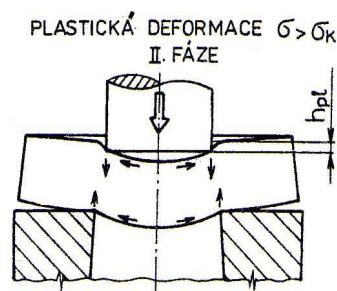
3.1 Stříhání (podle ČSN 226015) [8]

Stříhání je takový postup tváření, při kterém je materiál postupně nebo současně oddělován v celém průřezu materiálu stříhadly podél křivky stříhu. Tu vytváří obvod výstřižku, střížníku nebo střížnice.

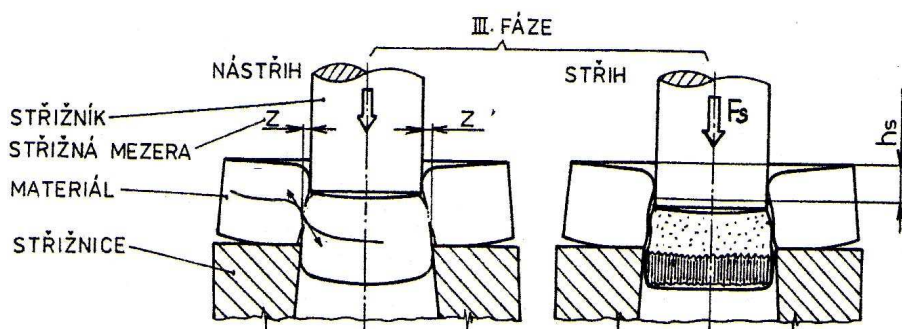
3.1.1 Průběh stříhání [4], [8], [12]



Obr. 3.1 I. Fáze stříhání [4]



Obr. 3.2 II. Fáze stříhání [4]



Obr. 3.3 III. Fáze stříhání [4]

1. fáze (obr. 3.1): Proces stříhání začíná dosednutím střížníku na stříhaný materiál. Při následném pohybu střížníku do materiálu dochází k pružné deformaci stříhaného materiálu. Dvojice sil působící mezi střížníkem a střížnicí vyvolává ohyb. Hloubka vniku činí 5 až 8 % tloušťky materiálu podle mechanických vlastností materiálu.
2. fáze (obr. 3.2): Střížník se dále pohybuje směrem do materiálu, napětí v materiálu přesahuje mez kluzu R_e čímž dochází k trvalé deformaci materiálu. Hloubka vniku bývá dle mechanických vlastností materiálu 10 až 25 % materiálu.
3. fáze (obr. 3.3): Vlivem dalšího pohybu střížníku směrem do materiálu je materiál namáhán nad mezi pevnosti ve smyku $\Rightarrow$ u hran střížníku a střížnice vznikají trhliny tzv. nástřih, které se rychle rozšiřují, až se výstřižek oddělí od základního materiálu. Výstřižek se oddělí dříve, než střížník projde celou tloušťkou materiálu. Při dalším pohybu je výstřižek ze střížnice vytlačen. Střížník vnikl do 10 až 60 % tloušťky materiálu. Mezi střížníkem a střížnicí musí být určitá vůle v . Na ní také, mimo jiné, závisí rychlost šíření trhlín v materiálu.

3.1.2 Střížná vůle [1], [8], [13]

Střížná vůle je rozdíl mezi rozměrem střížníku a střížnice, tj. součet střížných mezer po obou stranách mezi střížníkem a střížnicí.

Jakost střížné plochy a velikost střížné síly a s tím související opotřebení nástroje jsou hlavní hlediska, která mají vliv na volbu vůle mezi střížnými nástroji (viz obr. 3.4). Pro přímé určení velikosti vůle se proto přihlíží k tloušťce stříhaného materiálu a k pevnosti ve stříhu.

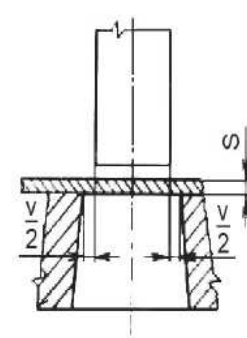
Pro plechy do $s < 3\text{ mm}$ platí

$$v = 2m = c \cdot s \cdot 0,32 \cdot \sqrt{\tau_s} \quad (3.1)$$

Pro plechy $s \geq 3\text{ mm}$ platí

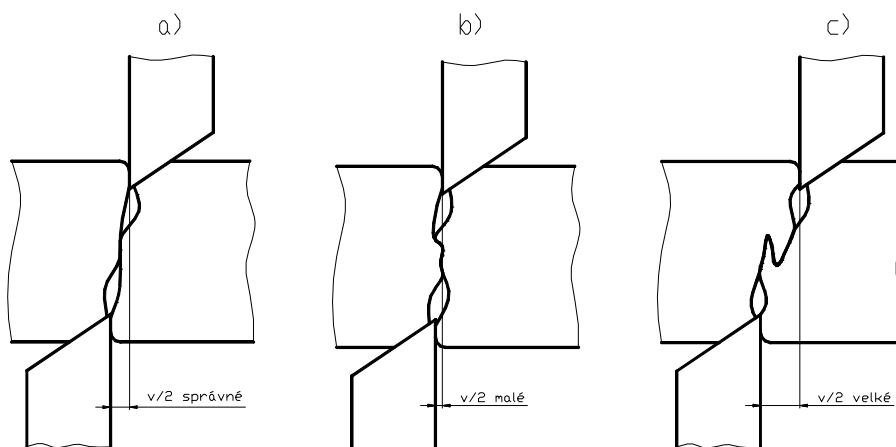
$$v = 2m = (1,5 \cdot c \cdot s - 0,0015) \cdot 0,32 \cdot \sqrt{\tau_s} \quad (3.2)$$

Kde je s - tloušťka plechu [mm]
 τ_s - pevnost ve stříhu [MPa]
 C - součinitel, jehož velikost se volí v rozmezí 0,005-0,035

	Druh materiálu	Střížná vůle [% s]	
		do 2,5 mm	2,5 až 6 mm
	Ocel měkká	5	7 až 8
	Ocel středně tvrdá	6	6 až 8
	Ocel tvrdá	7 až 9	7 až 10
	Hliník	4 až 7	5 až 9
	Dural	7 až 8	7 až 10
	Měď měkká	4 až 5	5 až 9
	Měď tvrdá	6 až 7	6 až 7

Obr. 3.4 Střížná vůle [2]

Nižší hodnoty součinitele C volíme, jestliže chceme získat lepší střížnou plochu, kdežto vyšší hodnoty součinitele C umožní dosáhnout minimální střížné síly.

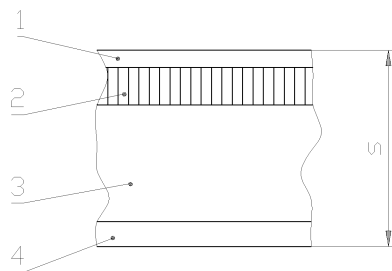


Obr. 3.5 Vliv střížné vůle na kvalitu střížné plochy [8]

a) optimální střížná vůle, b) střížná vůle malá, c) střížná vůle velká

3.1.3 Kvalita střížné plochy [1], [8], [13]

Střížná plocha je vytvořena obecně čtyřmi plochami (viz obr.3.6).



- 1 – zaoblení vstupní hrany plechu
- 2 – zatlačení nože do vzniku trhliny
- 3 – vlastní střížná plocha
- 4 – zatlačení spodního nože

Příklad: 1. část - 6%
2. část - 10%
3. část - 80%
4. část - 4%

Obr. 3.6 Kvalita střížné plochy [8]

Trhliny postupují od břitů obou nožů, setkají se uprostřed děleného materiálu a vytvoří střížnou plochu. Nemusí se však setkat vždy přesně svými čely. Pak vznikne tříška, nebo se na povrchu střížné plochy vytvoří zátrh. Třísky se shromažďují pod místem stříhu a mohou působit obtíže, např. při přesném děrování, když se dostanou mezi pohybující se části nástroje.

Třetí část tvoří u běžného stříhu 80% střížné plochy, a proto je pro posouzení kvality střížné plochy charakteristická.

Jakost střížné plochy je ovlivněna stejně jako její přesnost, ovšem navíc k nim přistupují ještě následující vlivy:

- velikost střížné vůle
- opotřebení střížného nástroje

mechanické vlastnosti stříhaného materiálu (čím je materiál tvrdší, tím horší je kvalita střížné plochy)

geometrický tvar výstřížku

Bylo zjištěno, že při vystřihování je drsnost povrchu výstřížku v rozmezí $R_a=3,6$ až $3,2$, při děrování v rozmezí $R_a=6,3$ až $2,5$

3.1.4 Střížný odpor [8]

Střížný odpor je odpor, který klade materiál při stříhání. Velikost střížného odporu je ovlivňována řadou faktorů. Nejdůležitějším z nich je druh stříhaného materiálu, kde platí, že odpor roste s jeho rostoucí pevností. Dalším faktorem je tloušťka stříhaného polotovaru a délka křivky stříhu. S jejich zvětšením střížný odpor klesá. Důležitý je také vliv střížné vůle, jejíž velikost musí být optimální, protože jinak odpor značně vzroste. Mezi další faktory ovlivňující velikost střížného odporu patří podmínky, za kterých stříháme. Čímž se myslí hlavně rychlost stříhání, mazání a kvalita nabroušení střížných hran nástroje.

Střížný odpor závisí rovněž na tření uvnitř stříhaného materiálu. Koeficient tření na boku výstřížku v případě stříhu bez mazání je $\mu=0,18 - 0,30$. Tření na styku střížníku a střížnice se stříhaným materiálem je zanedbatelné.

Střížný odpor je možné stanovit ze vztahu:

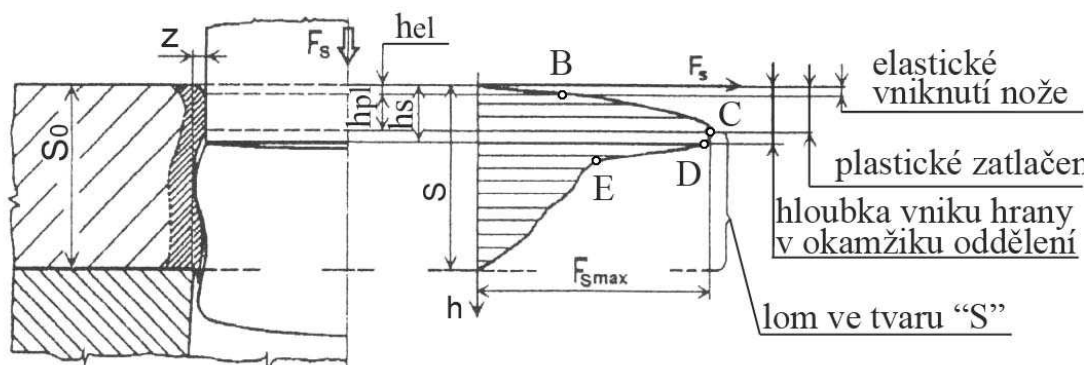
$$K_s = \frac{F_s}{S_s} \quad \text{Kde} \quad \begin{array}{l} K_s \text{ je střížný odpor [MPa]} \\ F_s \text{ je střížná síla [N]} \\ S_s \text{ je plocha stříhu [mm}^2\text{]} \end{array} \quad (3.3)$$

Ve výpočtech se však většinou uvádí přibližné určení střížného odporu podle:

$$K_s = (0,75-0,85) \cdot R_m \quad (3.4)$$

3.1.5 Síly při stříhání na stříhadlech [2], [5], [8]

Znalost velikosti střížné síly je jedním ze základních předpokladů při návrhu strojů a nástrojů pro stříhání. Je nejdůležitějším parametrem, který slouží pro stanovení velikosti stroje. Její velikost je závislá na mnoha činitelích jako je délka stříhaného obvodu, tloušťka plechu, materiál výstřižku i stav střížného nástroje.



Obr. 3.7 Průběh střížné síly v závislosti na hloubce h [5]

Dle obrázku 3.7 je patrné, že existuje závislost mezi velikostí střížné síly a fázemi stříhu. Průběh střížné síly z nulové hodnoty (nezatížený stav) do bodu **B** je lineární a probíhá v oblasti elastických deformací. Přesto, že se střížná plocha zmenšuje, dochází při dalším vtlačování střížníku do materiálu k nárůstu střížné síly. Toto je způsobeno lokálním zpevněním materiálu. V bodě **C** dosahuje střížná síla svého maxima. Tento bod na diagramu odpovídá hloubce vniknutí střížníku, kdy ve stříhaném materiálu vznikají první trhliny (nástrihy), tzn. došlo k překročení meze pevnosti ve stříhu. Oblast mezi body **B** a **C** odpovídá druhé fázi střížného procesu. Po překročení maximální střížné síly dochází k jejímu pozvolnému poklesu. Tento mírný pokles je způsoben rozvojem trhlín, který probíhá do bodu **D** a hloubky vniku střížníku h_s , kdy dojde k porušení spojitosti materiálu. Zde lze předpokládat prudký pokles střížné síly až do její nulové hodnoty. Takovýto předpoklad by byl v rozporu s průběhem síly na obr. č. 3.7, kde v bodě **E** dochází ke snížení rychlosti jejího poklesu. To lze vysvětlit tím, že plocha vzniklá při oddělení výstřižku ze základního materiálu. Má tvar křivky „S“ a při dalším postupu střížníku materiálem dochází k tření mezi výstřižkem a základním materiálem.

Střížnou sílu je možno vypočítat ze vztahu

$$F_s = o \cdot s \cdot \tau_s \cdot n \text{ [N]} \quad (3.5)$$

Kde je o – obvod, který stříháme [mm]

s – tloušťka stříhaného plechu [mm]

τ_s – pevnost ve stříhu [MPa]

n – koeficient, který zahrnuje otupení nožů [-] Bývá $n = 1,2$ až $1,55$

Pevnost ve stříhu $\tau_s = 0,77 \cdot R_m$

Síla potřebná pro setření materiálu ze střížníku

Po vystřížení může materiál ulpět na střížníku. Sílu potřebnou k jeho setření určíme z empirického vztahu:

$$F_{ST} = k_{eu} \cdot F_s \text{ [N]} \quad (3.6)$$

kde je k_{eu} – koeficient závislý na druhu materiálu viz. příloha 2
 F_s – Střížná síla [N]

Protlačovací síla potřebná pro protlačení výstřížku střížnicí

$$F_{PR} = k_{ev} \cdot F_s \text{ [N]} \quad (3.7)$$

kde je k_{ev} – koeficient závislý na druhu materiálu viz. příloha 2
 F_s – Střížná síla [N]

Stanovení celkové střížné síly

Při výpočtech střížné síly je třeba mít na paměti, že síla potřebná k oddělení výstřížku ze základního materiálu není jedinou silou, jež ve střížném procesu figuruje. Po oddělení výstřížku ze základního materiálu ulpí pás plechu vlivem elasticity na střížníku a je potřeba vyvinout sílu na jeho setření a tato síla se nazývá silou stírací. Další silou je síla protlačovací. Celková střížná síla se tedy stanoví ze vztahu :

$$F_{CS} = F_s + F_{ST} + F_{PR} \text{ [N]} \quad (3.8)$$

kde F_{CS} – celková střížná síla [N]

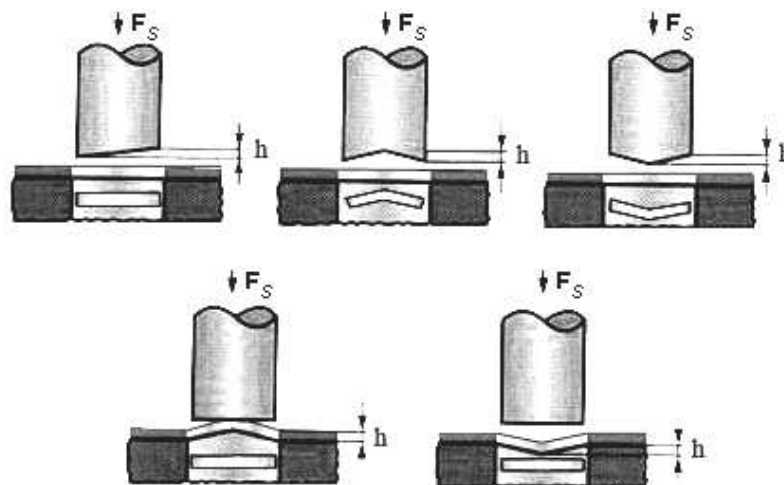
F_s – střížná síla [N]

F_{ST} – stírací síla [N]

F_{PR} – protlačovací síla [N]

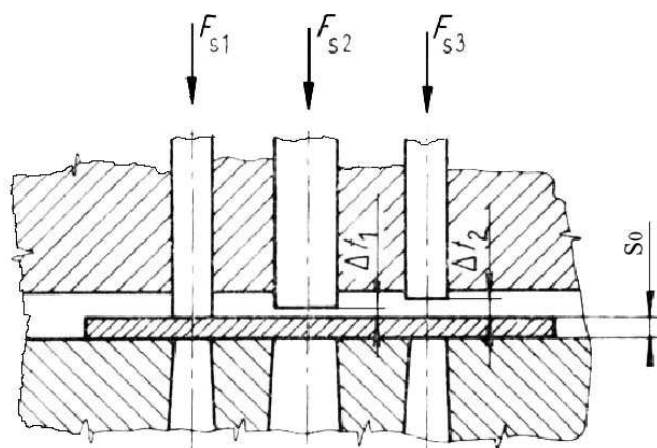
3.1.6 Možnost snížení střížné síly [2], [14]

Znalost střížné síly je základem pro navrhování strojů a nástrojů pro stříhání. Každý stroj máve svých technických specifikacích uvedenu maximální sílu, jež je schopen vyvinout a překročení této síly může mít za následek jeho poruchu. V případě, kdy se zpracovává nový projekt řešící výrobu součásti určitého tvaru ve výrobě, kde je již definované strojové vybavení, může v některých případech vyvstat potřeba hledat cestu ke snížení střížné síly. Toho lze dosáhnout technologickými úpravami funkčních částí stříhadel dle obr. č. 3.8, nebo odstupňováním střížníků obr. č. 3.9.

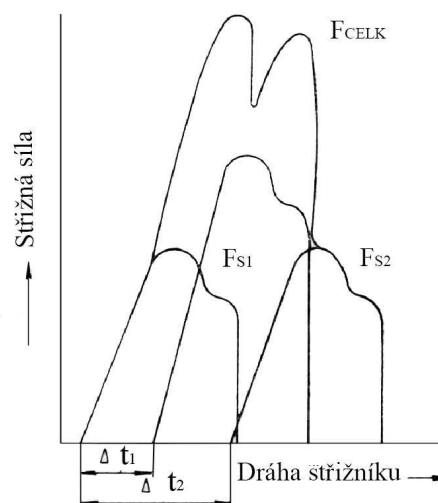


Obr. 3.8 Snížení střížné síly zkosením střížníku či střížnice [14]

V případě, že je užito některého z uvedených řešení, je třeba si uvědomit, že také vztahy uvedené pro stanovení celkové střížné síly dostojí určitých změn. V těchto vztazích musí být zohledněn úhel, který byl pro konstrukci nástroje užit. Literatura tento úhel udává v rozmezí 5-8°. Při děrování (vystřížený materiál je odpad) by měla být střížnice rovná a střížník zkosený, tím se zajistí, že vyráběná součást zůstane rovinná a odpad deformovaný. Použijeme-li zkosené střížnice, pak se deformuje pás plechu a vystřížená součást zůstává rovinná. Použití stříhadel se zkosenými hranami není vhodné při prostřihování složitějších tvarů.



Obr. 3.9 Snížení střížné síly odstupňováním střížníků [2]



Obr. 3.10 Střížná síla při odstupňování střížníků [2]

Při využití odstupňovaných střížníků (obr. 3.9), dochází k jejich aplikaci na stříhaný materiál postupně a z toho důvodu je celková střížná síla sumou všech dílčích střížných sil podle charakteru odstupňování.

3.1.7 Střížná práce [8]

Práci potřebnou pro vystřížení výstřížku při stříhání noži paralelními by bylo možno stanovit jako integrál plochy pod křivkou (obr. 2.11), jež znázorňuje průběh střížné síly v závislosti na hloubce (dráze) vniknutí střížníku do materiálu podle obecného vztahu:

$$A = \int F_s ds [J] \quad (3.9)$$

kde A - střížná práce [J]

F_s - střížná síla [N]

V praxi však neexistuje matematické vyjádření takovéto funkce. Z tohoto důvodu se používá náhrady formou elipsy, jejíž jedna poloosa je rovna velikosti střížné síly F_s a druhá hloubce vniknutí střížníku do materiálu (obr. 3.12). Velikost střížné práce je tedy polovinou této elipsy:

$$S = \pi \cdot a \cdot b [\text{mm}^2] \quad (3.10)$$

kde S - plocha elipsy [mm²]

a - délka hlavní poloosy [mm]

b - délka vedlejší poloosy [mm]

Nahradíme-li velikost hlavní poloosy „a“ velikostí střížné síly a velikost vedlejší poloosy „b“ polovinou hloubky zatlačení střížníku $\varepsilon/2$ vztah pro výpočet střížné práce bude:

$$A = \frac{S}{2} = \frac{1}{2} \pi \cdot F_s \cdot \frac{\varepsilon}{2} = \frac{\pi \cdot F_s \cdot k \cdot s}{4} [J] \quad (3.11)$$

kde A - střížná práce [J]

F_s - střížná síla [N]

k - koeficient vtlačení – viz příloha 3.

s - tloušťka stříhaného materiálu [mm]

Norma ČSN 226015 uvádí vztah pro výpočet střížné práce:

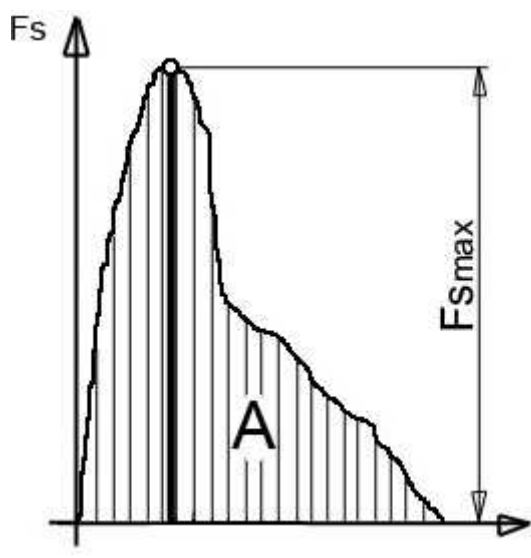
$$A = \frac{k \cdot F_s \cdot s}{1000} [J] \quad (3.12)$$

kde A - střížná práce [J]

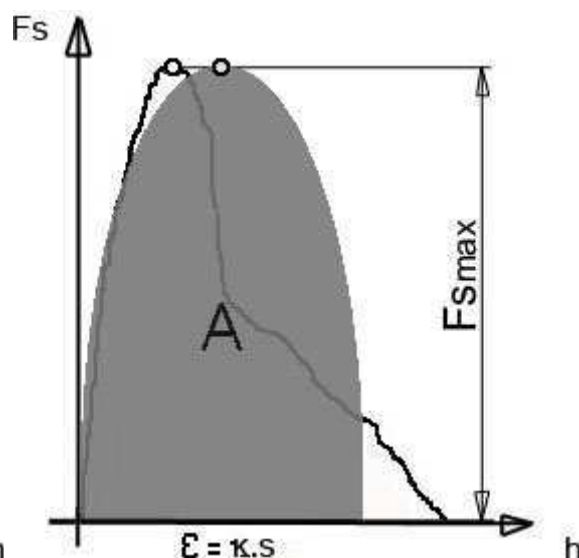
F_s - střížná síla [N]

k - koeficient vtlačení – viz příloha 2.

s - tloušťka stříhaného materiálu [mm]



Obr. 3.11 Střížná práce [8]



Obr. 3.12 Eliptická aproximace [8]

3.1.8 Přesnost a jakost povrchu při stříhání [1], [8]

Přesnost součástí vyráběných stříháním úzce souvisí s jakostí povrchu střížné plochy a závisí na řadě faktorů:

- na přesnosti zhotovení střížníku a střížnice (tab. 1.)
- na konstrukci nástroje a způsobu zajištění polohy materiálu při stříhání
- na druhu a stavu stříhaného materiálu
- na druhu a stavu stříhadla
- na velikosti střížné vůle
- na pružné deformaci při stříhání
- na tloušťce a přesnosti rozměru stříhaného materiálu

Tab. 1. Závislost mezi přesností stříhadla a výstřižku [8]

Základní výrobní tolerance IT vystřihovaného výrobku	8 až 9	10	11	12	13	14	15
Základní výrobní tolerance IT střížníku a střížnice	5 až 6	6 až 7	7 až 8	8 až 9	10	11	12

Stříháme-li z materiálu do tloušťky 4mm a součást je menších rozměrů než 150mm, je možné dosáhnout přesnosti v rozmezí tolerance IT 12 až IT 14. Pokud je nástroj opatřen vodícím stojánkem a přidržovačem, je možné dosáhnout přesnosti IT 9 až IT 11.

3.1.9 Stanovení rozměrů střížníku a střížnice [1], [8]

Rozměry pracovních částí stříhadel jsou určeny buď rozměrem výstřižku nebo otvoru v materiálu s příslušnou tolerancí. Platí také zásada, že při vystřihování bude rozměr střížnice roven jmenovitému rozměru výstřižku a střížník bude o střížnou vůli menší. Při děrování je rozměr otvoru roven průměru střížníku a střížnice bude o střížnou vůli větší. Pro stanovení funkčních rozměrů střížníku a střížnice se postupuje podle následujících vztahů:

a) Pro vystřihování platí: Rozměr střížnice: $A_e = A_j - \Delta + \delta_e$ (3.13)

Rozměr střížníku: $A_k = A_j - \Delta - 2 \cdot v_{\min} - \delta_k$ (3.14)

b) Pro děrování platí: Rozměr střížnice: $A_e = A_j - \Delta - 2 \cdot v_{\min} + \delta_e$ (3.15)

Rozměr střížníku: $A_k = A_j + \Delta - \delta_k$ (3.16)

A_e – rozměr střížnice

A_k – rozměr střížníku

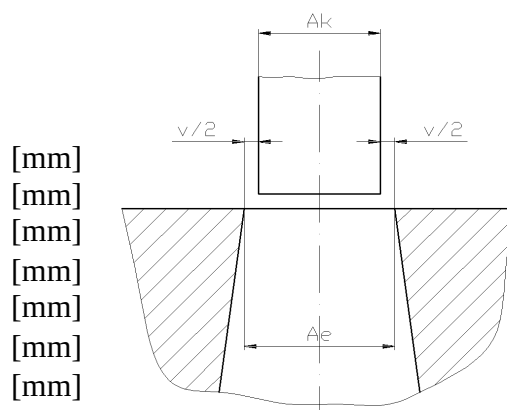
A_j – jmenovitý rozměr výstřižku nebo otvoru

Δ – tolerance součásti nebo otvoru

$v_{\min}$ – nejmenší zaručená střížná mezera

δ_e – výrobní tolerance střížnice

δ_k – výrobní tolerance střížníku



Obr. 3.13 Rozměry střížníku a střížnice [8]

3.1.10 Pevnostní výpočty střižníku a střižnice [9], [12]

Pro stanovení namáhání střižného nástroje je třeba nejprve znát výslednou tvářecí sílu jako hlavní parametr.

Kontrola střižníku na otlačení:

$$\sigma_{dov} = \frac{F_s}{S} \text{ [MPa]} \quad (3.17)$$

kde je σ_{dov} - dovolené namáhání v tlaku [MPa]
 F_s - střižná síla [N]
 S - plocha průřezu střižníku [mm²]

Pokud namáhání v ploše střižníku přesáhne u oceli 180 MPa a u litiny 90 MPa, je nutno použít kalenou opěrnou desku o tloušťce 4 mm, jako součást upínací hlavice. U střižníků kruhového průřezu je možné vztah upravit na tvar vhodný k okamžitému posouzení namáhání nástroje:

$$\left(\frac{d}{s}\right) = 1 \text{ až } 0,8 \quad (3.18)$$

kde je d – průměr střižníku [mm]
 s – tloušťka stříhaného materiálu [mm]

Střižníky je též nutno kontrolovat na vzpěr. Střižník je možné považovat za vetknutý nosník a kontrolujeme kritickou délku, při které by došlo ke ztrátě vzpěrné stability. Kontrola střižníku na vzpěr:

$$F_{krit} = \frac{2 \cdot \pi^2 \cdot E \cdot I}{l^2} = x \cdot F_s \text{ [N]} \quad (3.19)$$

Potom kritická délka střižníku je:

$$l_{krit} = \sqrt{\frac{2 \cdot \pi^2 \cdot E \cdot I}{x \cdot F_s}} \text{ [mm]} \quad (3.20)$$

kde je E – modul pružnosti v tahu [MPa]
 I – moment setrvačnosti průřezu [mm⁴]
 x – koeficient bezpečnosti $n=1,5$ až 2
 F_s – střižná síla [N]

Moment setrvačnosti kruhového průřezu se určí ze vztahu:

$$I = \frac{\pi \cdot d^4}{64} \approx 0,05 \cdot d^4 \text{ [mm}^4\text{]} \quad (3.21)$$

kde je d – průměr střižníku [mm]

Délku volné části střížníku je třeba vždy volit tak, aby byla menší než kritická. Pro kruhový střížník, který je veden ve vodící desce (je vetknutý na obou koncích) platí vztah:

$$l_{krit} = \sqrt{\frac{4 \cdot \pi^2 \cdot E \cdot I}{n \cdot F_s}} \text{ [mm]} \quad (3.22)$$

kde τ_s je pevnost ve stříhu stříhaného materiálu [MPa]

Střížnice vyrobené z jednoho kusu je možné považovat za rovinné desky, které jsou namáhané ohybem, kde tlak je rovnoměrně rozložen po střížném obvodu. Pro jednostranně upnutou střížnici, která se používá pro stříhání tenkých materiálů a barevných kovů se pro výpočet ohybového napětí používá vztah:

$$\sigma_o = \frac{6 \cdot F_s \cdot l}{a \cdot H^2} \text{ [MPa]} \quad (3.23)$$

kde je a – délka střížnice [mm]

H – tloušťka střížnice [mm]

Tloušťka střížnice se dimenzuje podle maximálního dovoleného napětí v ohybu σ_o , které je 300 MPa.

$$H = \frac{6 \cdot F_s \cdot l}{a \cdot [\sigma_o]} \text{ [mm]} \quad (3.24)$$

U střížnic s vyšší kvalitou materiálu volíme namáhání v ohybu $\sigma_o = 300$ až 400 MPa a pro přesné nástroje 400 až 500 MPa. Pro obdélníkové střížnice oboustranně podepřené, kdy otvor ve střížnici má průměr $d=a/2$, kde a je vzdálenost podpor, vypočteme ohybové napětí podle:

$$\sigma_o = \frac{2,5 \cdot F_s}{H^2} \text{ [MPa]} \quad (3.25)$$

Z tohoto vztahu vyplývá vztah pro tloušťku střížnice:

$$H = \sqrt{\frac{2,5 \cdot F_s}{\sigma_o}} \text{ [mm]} \quad (3.26)$$

Pro hrubou kontrolu tloušťky střížnice lze použít vztah:

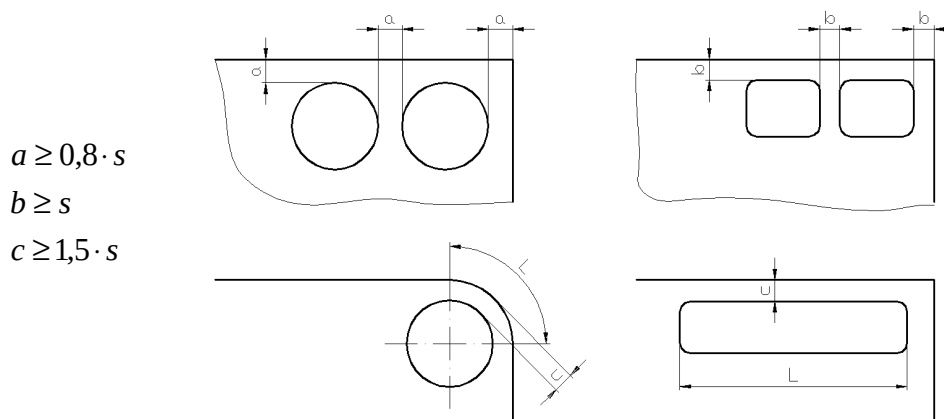
$$H = \sqrt[3]{F_s} \text{ [mm]} \quad (3.27)$$

3.1.11 Technologičnost konstrukce výstřížku [1], [12]

Technologičností rozumíme soubor takových vlastností výstřížku, které zaručí, že součást bude výrobně jednoduchá, účelná, estetická a s malou spotřebou materiálu. To znamená zhotovit výrobek tak, aby za cenu nejmenších možných nákladů byl schopen plnit svoji funkci dle jeho technologického účelu. Tuto část při tvorbě nových výrobků ovlivňuje konstrukce. Ta se však často řídí jinými kritérii, než těmi, jež jsou důležité pro technologii, jako je např. design součásti, její vzhled a pod. Z tohoto důvodu je vždy potřeba úzká spolupráce konstrukce a technologie. Některé tvary součástí jsou pro výrobu vhodnější, než jiné a umožňují například lepší využití plechu při stříhání atd. Právě využití materiálu je dalším parametrem, který určuje hospodárnost výroby. Tu lze zajistit vhodnou orientací výstřížků na pásu plechu. Při navrhování součástí, která se má vyrábět stříháním, je třeba dodržovat tyto zásady:

- dávat přednost kruhovým otvorům před nekruhovými - značně se tím zlevní výroba otvoru
- nezužovat tolerance rozměrů výstřížku pod hodnoty, které jsou touto technologií běžně dosažitelné
- nepřepisovat drsnost povrchu střížných ploch, pokud tyto plochy nejsou součástí plochami funkčními
- nepředepisovat rovinnost povrchu výstřížku, protože je obtížně dosažitelná
- dodržovat nejmenší velikost děrovaného otvoru, která závisí na druhu a tloušťce stříhaného materiálu
- dodržovat minimální vzdálenost otvorů od kraje výstřížku

Vztahy pro minimální vzdálenosti viz obr. 3.28:



Obr. 3.28 Vzdálenost otvorů mezi sebou nebo od kraje výstřížku [1]

Minimální šířka štíhlých výstřížků, nebo šířka vyčnívajících částí má být minimálně 1,5x tloušťka plechu nedělat ostré rohy u vnitřních obrysů, minimální poloměr zaoblení je 0,5x tloušťka plechu nedělat ostré úhly rohů a vnitřních zářezů, rohy mají být srazeny (pod úhlem 45°) nebo zaobleny.

3.1.12 Nástřihový plán [1], [6]

Nástřihový plán určuje způsob, jakým budou výrobky vystřihovány z tabule nebo z pásu plechu. Z něho se zjišťuje postup stříhání tj. sled jednotlivých střížných operací, dále počet výstřížků vyrobených z jedné tabule plechu a v neposlední řadě i velikost a tvar stříhadla. Náklady na materiál představují 80-90 % celkových nákladů. Nástřihový plán proto musí být navržen tak, aby odpad byl co nejmenší a tím bylo docíleno co nejnižších nákladů.

Mezi hlavní kritéria při tvorbě nástřihových plánů lze počítat:

- úspora materiálu
- snížení pracnosti
- mechanizovatelnost procesu

Při tvorbě nástřihového plánu je třeba nejprve určit následující parametry:

- šířka pásu plechu se určí ze šířky výrobku jeho vhodným rozložením na pásu s přidáním okrajů po stranách můstků mezi jednotlivými výstřížky
- zjištěním můstků můžeme určit počet výstřížků na pásu - pokud je pás uštěřižen z tabule, známe jeho délku, je-li ze svitku, pak určujeme počet výstřížků na jeden metr délky pásu
- procento využití pásu plechu lze stanovit podle následujícího vztahu:

$$\text{využití pásu} = \left(1 - \frac{S_t + S_k}{S_{kr}} \right) \cdot 100 [\%] \quad (3.28)$$

Kde je S_t – plocha technologického odpadu [mm^2]
 S_k – plocha konstrukčního odpadu [mm^2]
 S_{kr} – Celková plocha plechu na jeden krok [mm^2]

nebo:

$$\text{využití materiálu} = \frac{S_v}{S_o} \cdot 100 [\%]$$

Kde je s_v - plocha výstřížku [mm^2]
 s_o - plocha pásu na jeden krok [mm^2]

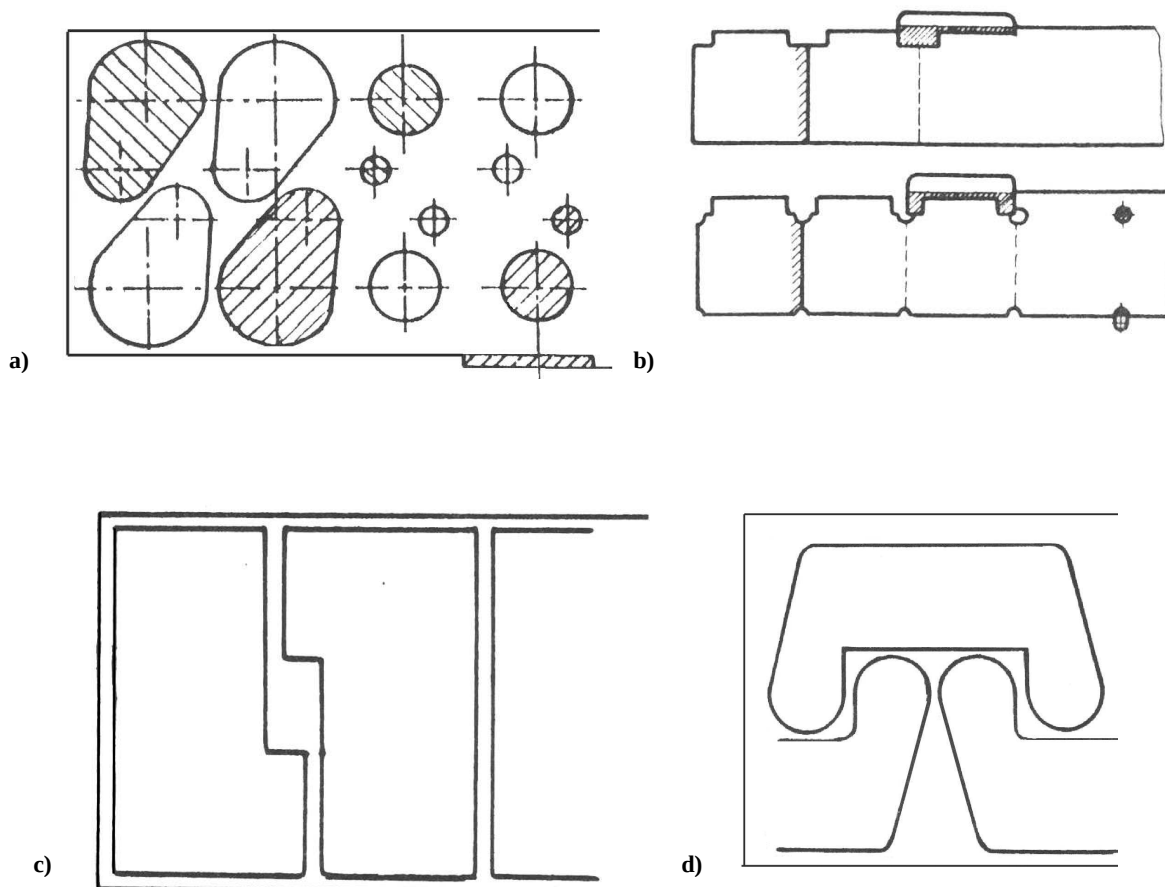
Počet výstřížků z jednoho metru svitku určíme podle vztahu:

$$n_{vm} = \frac{1000}{K} [\text{ks}] \quad (3.29)$$

Kde K – krok [mm]

Možnosti pro zvýšení využití plechu tedy jsou:

- volba víceřadých, vystřídáných a šikmých nástřihových plánů, obr. 3.29 a.
- stříhání do řetízku, součást se stříhá a děruje, snahou je udržet součást na pásu co nejdéle a odstříhnout ji až v poslední či předposlední operaci obr. 3.29 b.
- stříhání bez bočních můstků při zachování hran pásu nebo svitku
- volba vystřídáného nástřihového plánu obr. 3.29 c,d.



Obr. 3.29 Možnosti nástřihových plánů [6]

3.1.13 Funkční části nástroje [6], [9]

Střižnice

Střižnice je částí střižných nástrojů, upevněnou přímo nebo nepřímo na základové desce. Přes střižnou hranu je do střižnice působením střižníku protlačován základní materiál. Upnutí se může provést různými způsoby podle možností konkrétního podniku a strojového vybavení.

Kritériem je velikost a složitost tvaru výstřižku, velikost série, druh nástroje, druh stříhaného materiálu aj. Na základě těchto kritérií se střižnice konstruuje takto:

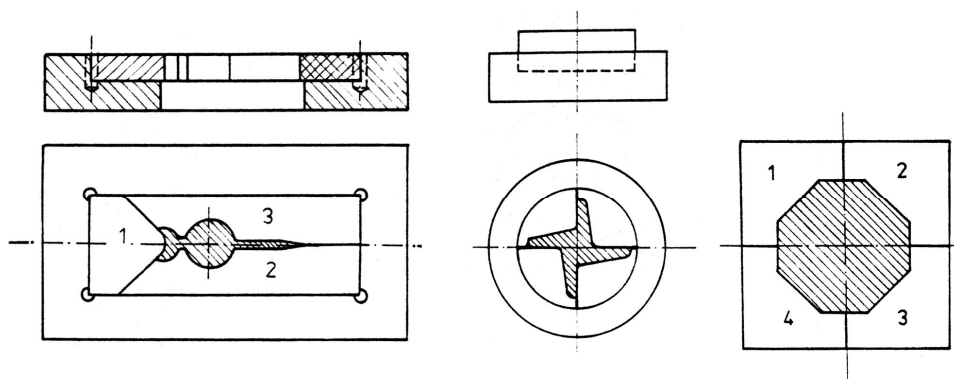
- monolitní (tj. z jednoho kusu)
- dělené (skládané)
- vložkované

Monolitní - používají se v případě menších výstřižků a jejich upevnění k základové desce se realizuje různými způsoby:

- středícími elementy a šrouby přímo na základovou desku
- zalisováním do ocelového rámu
- zapuštěním do základové desky a upevnění šrouby, klíny atd.

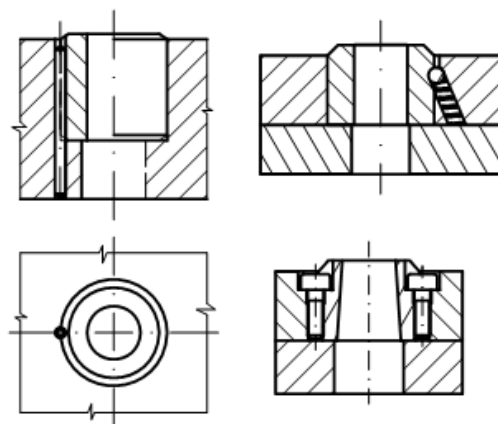
Podle způsobu použití a složitosti jsou kalené nebo nekalené. U víceukrokových střížnic se musí brát ohled na umístění střížných a upínacích otvorů, aby střížnice nebyla nikde extrémně zeslabena. Tímto se zamezí možnému ovlivnění sousedních otvorů při stříhání a vzniku velkého pnutí a prasklin při tepelném zpracování.

Dělené (skládáné) - jestliže požadovaný tvar součásti je složitý, velký nebo se skládá z více operací, střížnice se rozdělí na vhodné úseky, které se nalisují do měkké nekalené střížnice nebo se připevní šrouby a kolíky přímo na základovou desku. Vhodné rozdělení na jednotlivé elementy je výhodné jak z hlediska výroby, tak z tepelného zpracování. A dodatečné zpřesnění rozměrů je možno jednoduše provést broušením. Ukázky dělených střížnic jsou na obr. 3.30.



Obr. 3.30 Příklady dělené střížnice [9]

Vložkované - se využívají hlavně pro úsporu drahého nástrojového materiálu, kterým nemusí být jen nástrojová ocel třídy 19, ale i karbidy. Karbidové vložky se vyznačují velkou odolností proti otěru, pevností v tlaku, rozměrovou stálostí a mnohem vyšší životností než u nástrojů z nástrojové oceli. U nástroje využívajícího karbidové vložky musíme zajistit vysokou tuhost a pevnost stroje a správné vedení, aby nedocházelo k namáhání na ohyb. Jak základová deska, tak upínací deska se zhotovuje asi o 50 % silnější než u nástrojů s vložkami z nástrojové oceli. U střížnic vložkovaných se střížná deska vyrobí z konstrukční oceli a jednotlivé vložky jsou vsazeny do předem vyvrtaných otvorů. Vložky jsou proti vytažení zajištěny nalisováním s uložením H7/n6 nebo pomocí kolíku, příložky, či příruby. Některé druhy upnutí jsou na obr. 3.31. Takto zhotovené střížnice jsou výhodné z hlediska oprav, protože se vymění jen vložka.



obr. 3.31 Příklady upnutí střížných vložek u vložkovaných střížnic [9]

Určujícím kritériem pro zvolení vhodné konstrukce střížnic je velikost a složitost tvaru výstřížku, velikost série, druh nástroje, druh stříhaného materiálu aj.

Provedení střížných otvorů ve střížnici je závislé na druhu a tloušťce stříhaného materiálu a na velikosti stříhaného otvoru, viz. tab. 2

Tab.2 Geometrie funkční části střížníku [11]

A	$\alpha = 10' - 15'$ pro $t = 0,1 - 0,5\text{mm}$ $\alpha = 15' - 20'$ pro $t = 0,5 - 1,0\text{mm}$ $\alpha = 20' - 30'$ pro $t = 1,0 - 2,0\text{mm}$ $\alpha = 20' - 45'$ pro $t = 2,0 - 4,0\text{mm}$ $\alpha = 45' - 1^\circ$ pro $t > 4,0\text{mm}$	Použití - pro střední počty kusů - vystřihování malých částí - střední přesnost
B	$h = 3 - 5\text{mm}$ pro $t = 0,5\text{mm}$ $h = 5 - 10\text{mm}$ pro $t = 0,5 - 5\text{mm}$ $h = 10 - 15\text{mm}$ pro $t = 5 - 10\text{mm}$ $\alpha = 5^\circ - 10^\circ$	Pro vysoké počty kusů
C	válcový nebo prismatický tvar	Ke stříhání při použití vyhazovače nebo pro rozměrné tvary
D	válcově vybraný tvar h stejně jako při B	K děrování ($d > 5\text{ mm}$)

Střížníky

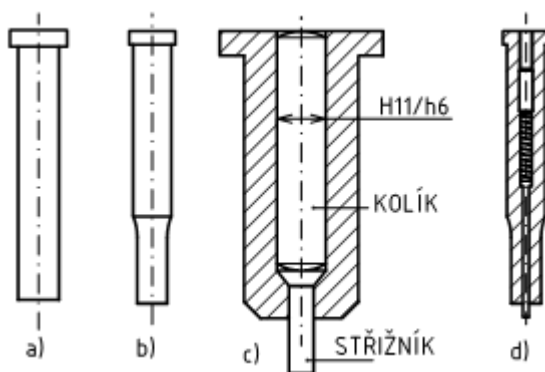
Slouží jako protikus střížnici a lze je rozdělit dle několika hledisek:

- odstříhovací a přestříhovací
- vystříhovací
- odstříhovače

Odstříhovací střížníky se používají v případě příčného dělení pásu nebo svitku (stříhání do řetízku). Vystříhovací a prostříhovací slouží k vystříhování vnějšího tvaru a děrování. Odstříhovače jsou speciální střížníky, jejichž funkce je technologická. Většinou slouží jako doraz k zajištění kroku.

Z hlediska vedení se dělí střížníky na:

- nevedené (obr. 3.32 a, b)
- vedené (obr. 3.32 c)
- zesílené



obr. 3.32 Příklady upnutí střížných vložek u vložkovaných střížnic [9]

Střížníky větších průměrů, rozměrů a tvarové střížníky se konstruují jako nevedené, protože vyhovují podmínce vzpěru a nedochází tedy k namáhání ohybem. Nevedené střížníky se používají od děrovacího poměru $s/d > 0,7$ a pro délky střížníků $l/d < 4$. V případě nesplnění výše zmíněných kritérií je potřeba zajistit střížníku vedení. Střížníky větších rozměrů je možno konstruovat jako dělené (podobně jako dělené střížnice), kde horní část se vyrobí z konstrukční oceli a střížná část je z nástrojové oceli nebo z karbidů. Spojení obou částí je realizováno šroubem s vnitřním šestihranem a středění je zajištěno válcovým osazením (případné zajištění proti pootočení kolíky).

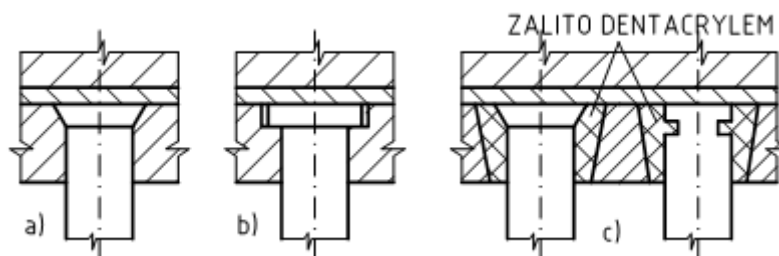
Střížníky, které mají zajistit prostřížení otvorů malých průměrů ($d < 5$ mm) nebo otvorů tvrdších materiálů musí být vedené. To zajistí, že střížník nebude namáhán na vzpěr a bude schopen prostříhnout otvory menších průměrů, aniž dojde k jeho porušení.

Na obr. 3.32 d) je střížník s odlepovačem, který zajistí, aby vystřížený materiál neulpíval na střížníku vlivem plastické deformace a nánosu maziva.

Uchycení střížníků v kotevní desce je velmi různorodé a je závislé na druhu materiálu, složitosti tvaru, na konstrukci, na způsobu výroby a zvyklostech podniku. Ukotvení má zajistit, aby střížník nebyl vysunut z kotevní desky vlivem stahovací síly při zpětném chodu nástroje. Stahovací síla dosahuje maximálně 20 % střížné síly.

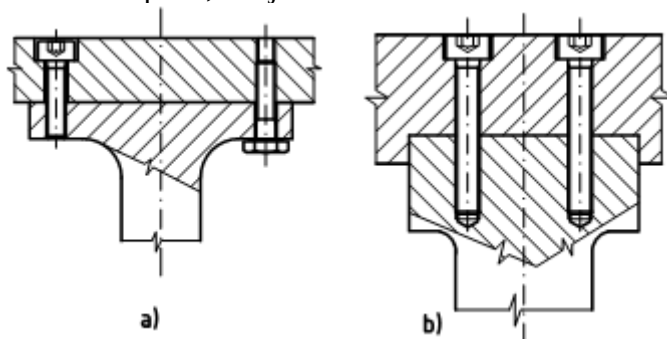
Nejnámější způsob ukotvení je roznýtování horní části do kotevní desky. Takto vytvořený střížník je zakalen na 60 HRC a v kotevní části v délce 10 až 15 mm je popuštěn na 40 HRC. Další způsob je vytvoření válcového osazení, které se zalisuje do kotevní desky.

Příklady jsou uvedeny na obr. 3.33 a),b). Aby kotevní deska neobsahovala upínací otvory složitých tvarů, kotvení se provede zalitím pryskyřicí. Otvor v desce má zpravidla jednoduchý kuželový otvor, který není složitý na výrobu obr. 3.33 c).



Obr. 3.33 Ukotvení střižníků [9]

Střižníky větších rozměrů se přišroubují za přírubu do kotevní desky nebo se ještě do kotevní desky částečně zapustí, tak jako na obr. 3.34.



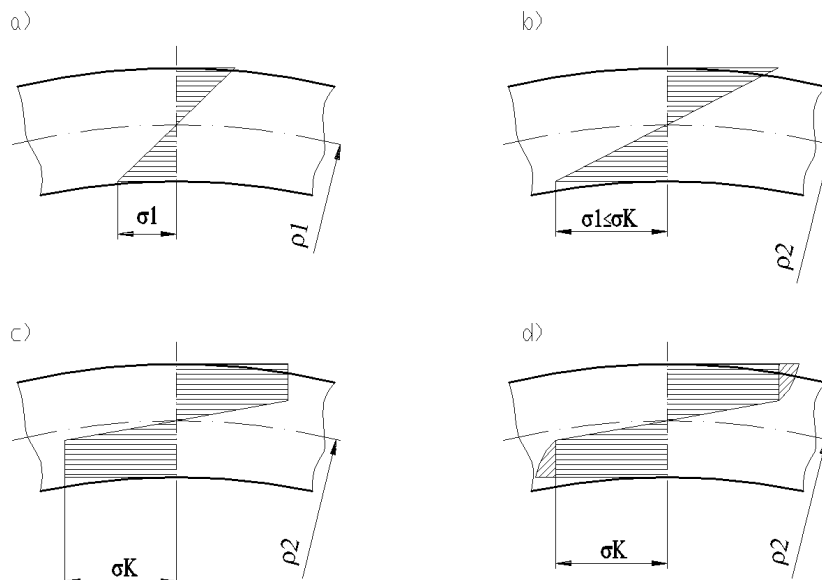
Obr. 3.34 Upnutí větších střižníků [9]

3.2 Ohýbání [6], [11]

Ohýbání je způsob tváření, při kterém je materiál trvale deformován pod různými úhly ohybu s menším nebo větším zaoblením hran. Nástrojem je ohýbadlo, výrobkem výlisek. Nejčastějším polotovarem je plech.

Průběh ohýbání můžeme rozdělit do následujících fází:

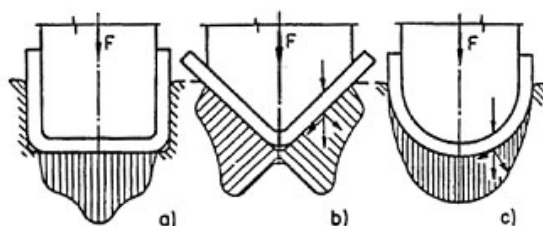
- Napětí v materiálu zůstává menší než R_e , dochází k pružné deformaci a platí Hookův zákon. To znamená, že v žádném místě příčného průřezu nebylo dosaženo meze kluzu. Materiál by se po odlehčení vrátil do původního stavu.
- Ve vnějších vláknech vzniká plastická deformace, která se může šířit od povrchu směrem ke středu pásu.
- Plastická deformace se šíří od povrchu směrem k neutrální ose. V ideálním případě by bylo dosaženo meze kluzu v celém průřezu až k neutrální ose. Vždy však zůstává jistý podíl pružné deformace ve vzdálenosti e od neutrální osy.
- Při postupující plastické deformaci se začne projevovat v materiálu vliv zpevnění. Na obrázku č.3.35 je zobrazeno šikmo šrafovanou plochou. Průběh zpevňování materiálu již není přímkový.



Obr 3.35 Fáze ohýbání [1]

Na obr. 3.36 jsou znázorněny diagramy měrných tlaků při ohýbání jež mají maximum tlaku uprostřed úseku. Je třeba rozlišovat dva případy ohybu:

- ohyb s malým poloměrem zakřivení při velkém stupni tvárné deformace
- ohyb s velkým poloměrem zakřivení při malém stupni tvárné deformace

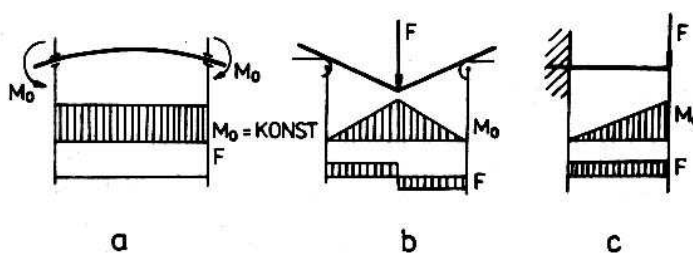


Obr č. 3.36: Rozložení tlaku při ohýbání [11]

- Diagram normálních měrných tlaků
- Diagram měrných tlaků podél čáry ohybu
- Diagram tangenciálních sil

Teoreticky se ohýbá:

- ohybovým momentem (obr. a)
- lokální silou (obr. b, c)
- ohýbáním a současně tažením, nebo stlačováním



Obr. 3.37 Ohyb momentem a silou [11]

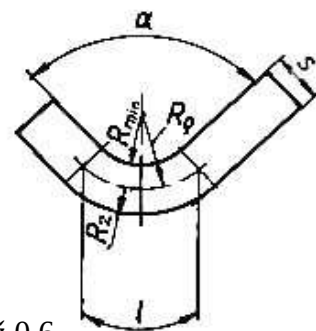
3.2.1 Minimální poloměr ohybu [6], [9]

Minimální poloměr ohybu je nejmenší vnitřní poloměr, při kterém ještě nedojde k porušení materiálu na vnější straně. Znamená to, že napětí v materiálu nedosáhne v žádném místě průřezu meze pevnosti.

Minimální poloměr ohybu lze stanovit podle vzorce:

$$R_{\min} = \frac{s}{2} \cdot \left(\frac{1}{\varepsilon_k} - 1 \right) = C \cdot s \quad [\text{mm}] \quad (3.30)$$

Kde je $R_{\min}$ – minimální poloměr ohybu [mm]
 s – tloušťka materiálu [mm]
 ε_k – mezní přetvoření v krajních vláknech [MPa]
 C – koeficient, který např. pro měkkou ocel je roven 0,5 až 0,6



Obr. 3.38 Schéma ohybu [3]

3.2.2 Maximální poloměr ohybu [6], [9]

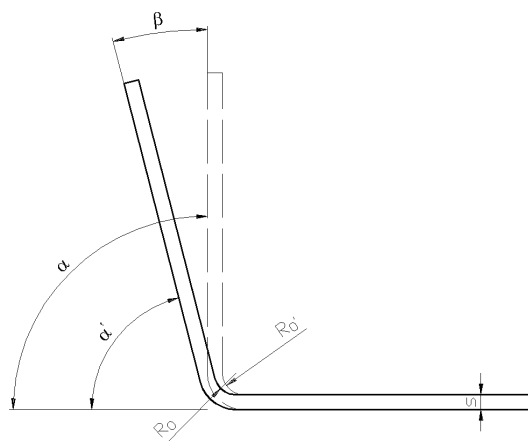
Maximální poloměr ohybu je poloměr, při kterém v krajních vláknech dojde k trvalé deformaci. Je tedy možné ho určit ze vztahu:

$$R_{\max} = \frac{s}{2} \cdot \left(\frac{E}{R_e} - 1 \right) \quad [\text{mm}] \quad (3.31)$$

Kde je $R_{\max}$ – maximální poloměr ohybu [mm]
 s – tloušťka materiálu [mm]
 E – modul pružnosti v tahu [MPa]
 R_e – mez kluzu [MPa]

3.2.3 Odpružení při ohybu [4], [9], [11]

Odpružení ohýbané součásti je významným průvodním jevem v technologii ohýbání. Ohyb je pružně tvárnou deformací. Jakmile přestane na součást působit ohýbací síla, zmenší se deformace o pružnou složku, materiál se snaží vrátit do původního tvaru a to o úhel odpružení. Vlivem odpružení se neshoduje tvar ohnuté součásti s tvarem nástrojem. Úhel ohybu nebo ohýbací čelisti se zmenší o úhel odpružení, aby se dosáhlo požadovaného úhlu ohnuté součásti. Proto je třeba úhel ohýbání o velikosti odpružení zmenšit, aby výsledný výrobek měl tvar daný výkresem.



Obr. 3.39 Odpružení ohnuté součásti [4]

$$\beta' = \alpha - \alpha' = \frac{M \cdot l_{so}}{E \cdot I} \quad [^\circ] \quad (3.32)$$

Kde β, α, α' jsou úhly viz obr. 3.39

M – ohybový moment [Nm]

l_{so} – délka středního oblouku [mm]

E – modul pružnosti v tahu [MPa]

I – moment setrvačnosti průřezu [mm⁴]

$$l_{so} = \frac{\rho \cdot \pi \cdot \alpha}{180} [\text{mm}] \quad (3.33)$$

Kde je ρ - poloměr neutrální osy [mm]
 α - úhel ohybu [°]

$$\rho = R + x \cdot s [\text{mm}] \quad (3.34)$$

kde x – je posunutí neutrální osy [mm]
 Pro ohýbání do tvaru V platí:

$$\text{tg} \beta = 0,0375 \cdot \frac{l}{k \cdot s} \cdot \frac{R_e}{E} \quad (3.35)$$

Pro ohýbání tvaru U platí:

$$\text{tg} \beta = 0,075 \cdot \frac{l_m}{k \cdot s} \cdot \frac{R_e}{E} \quad (3.36)$$

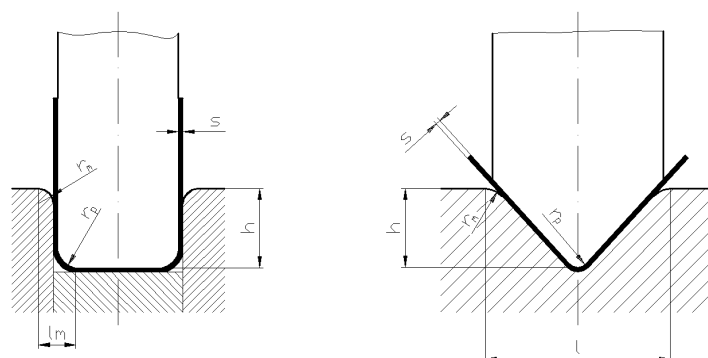
$$l_m = r_m + r_p + 1,2 \cdot s [\text{mm}] \quad (3.37)$$

Kde je β - úhel odpružení [°]
 l – vzdálenost ohýbacích hran [mm]
 l_m – rameno ohybu [mm]
 E - modul pružnosti v tahu [MPa]

k – součinitel viz. Tab.3

R_e - mez kluzu [MPa]

s – tloušťka plechu [mm]



Obr. 3.40: Ohyb do tvaru U a V [11]

Tab.3 Hodnoty koeficientu k [17]

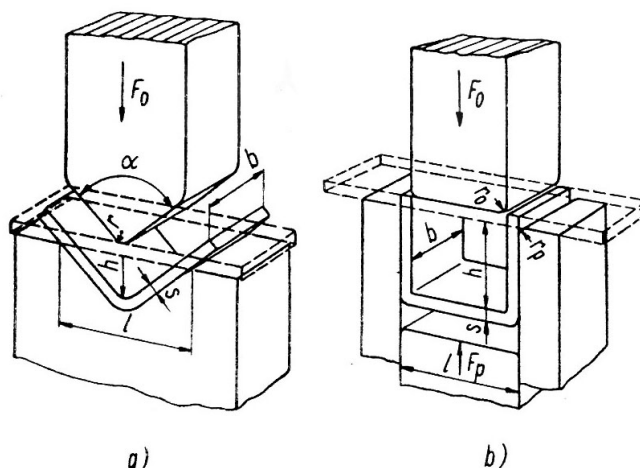
R/s	0,1	0,25	0,5	1	2	3	4	5	6	8	10	15	20
k	0,68	0,65	0,62	0,58	0,54	0,53	0,52	0,52	0,52	0,51	0,51	0,5	0,5

3.2.4 Ohýbací síla a ohýbací práce [1]

Norma ČSN 22 7340 uvádí dva základní způsoby ohýbání do tvaru V a U. K rychlému určení ohýbací síly F_o a práce A_o se používají diagramy. Ohýbací síla a práce jsou jedním ze základních parametrů, které ovlivňují volbu výrobního stroje. Ve fázi pružné deformace roste síla a je překonán odpor proti plastickým deformacím. Dále ještě síla narůstá při kalibrování součástí.

Velikost ohýbací síly závisí na:

- mechanických vlastnostech ohýbaného materiálu
- geometrických parametrech ohýbacího nástroje
- tření mezi nástrojem a ohýbaným polotovarem



Obr.3.41 Schéma ohybu do tvaru: a) V, b) U [1]

Při ohybu do tvaru V nebo U bývá nejčastější úhel ohybu roven 90° . K rychlému určení ohýbací síly je možné použít následujících vztahů:

Pro ohyb do tvaru V:

$$F_o = \frac{R_m \cdot b \cdot s^2}{100 \cdot l_o} \text{ [kN]} \quad (3.38)$$

Pro ohyb do tvaru U:

$$F_o = 0,5 \cdot \frac{R_m \cdot b \cdot s^2}{100} \text{ [kN]} \quad (3.39)$$

Kde je F_o – ohýbací síla [kN]
 b – šířka součásti [mm]
 s – tloušťka plechu [mm]
 l_o – šířka ohybnice [mm] viz obr. č.3.41

Jde-li o ohyb s kalibrací, pak výslednou sílu bereme jako dvojnásobek síly zjištěné podle předchozích vztahů. Ohýbací práci stanovíme dle vztahu:

$$A_o = m \cdot (F_o + F_p) \cdot h \text{ [J]} \quad (3.40)$$

Kde je A_o – ohýbací práce [J]
 m – koeficient zaplnění $m = 0,66$
 F_p – síla přidržovače $F_p = 0,25 \cdot F_o$ [N]
 h – hloubka ohybnice viz. obr. č. 2.41 [mm]

3.2.5 Vůle mezi ohybníkem a ohybnicí [9]

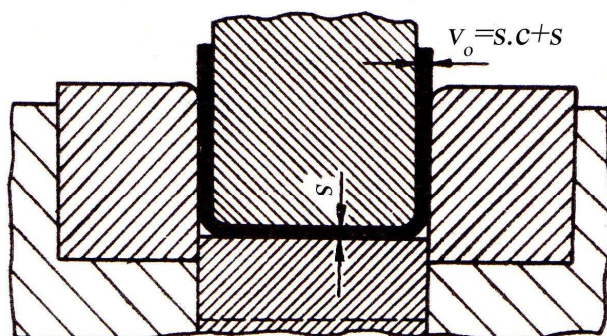
Vůle v ohýbadlech je nutná pro ohýbaný materiál mezi pevnou (tažnice) a pohyblivou (tažník) částí. V závislosti na druhu a způsobu ohýbání se mohou lišit. Při ohýbání do tvaru V a podobných ohybů se šikmými nebo oblými rameny vůle mezi ohybníkem a ohybnicí odpovídá tloušťce ohýbaného materiálu a získá se seřízením lisu. Při ohýbání do tvaru U závisí vůle na tloušťce a toleranci tloušťky a na délce ramene ohýbané součásti. Vůle se stanoví:

$$v_o = s + c \cdot s \quad (3.41)$$

Kde je v_o - vůle mezi ohybníkem a ohybnicí na jedné straně [mm]

c - součinitel vyjadřující vliv tření ohýbané součásti o ohybnici s ohledem na délku ramene (viz tab. 4)

s - tloušťka plechu [mm]



Obr. 3.42 Vůle mezi ohybníkem a ohybnicí [11]

Tab.4 Hodnoty koeficientu k [11]

Délka ramene l_m [mm]	Tloušťka materiálu [mm]											
	do 0,5			0,5 až 2			2 až 4			nad 4		
	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	-	-	-	45	15	0,2	55	22	0,15	65	25	0,15

3.2.6 Jakost a přesnost ohýbaných součástí [1]

Jakost povrchu ohýbané součásti závisí na jakosti povrchu výchozího materiálu, geometrii ohýbacích čelistí, vůli mezi čelistmi, drsnosti čelistí, tloušťce materiálu a mazání.

Přesnost při ohýbání závisí rovněž na mnoha činitelích jako je:

- tvar a rozměr ohýbané součásti
- počet ohybů
- homogenita výchozího materiálu
- různá tloušťka ohýbaného materiálu
- druh a přesnost použitého ohýbadla

- kalibrace pro ohýbání
- přesnost ustavení nástroje na stroji

Jakost povrchu hotového dílce (výlisku) je závislá na:

- jakosti povrchu výchozího polotovaru
- geometrickém provedení ohýbacího nástroje
- velikosti mezery mezi ohybníkem a ohybnicí
- toleranci polotovaru
- způsobu mazání a druhu maziva
- drsnosti povrchu činných částí

Součást na výkrese může být předepsána s tolerancí, do které se při ohýbání daný nástroj musí vejít. Pro toto kritérium jsou stanoveny vzorce, které určí přesné rozměry čelistí ohybníku a ohybnice, viz. tab. 5. Při ohýbání dochází k většímu opotřebení pevné čelisti než u pohyblivé čelisti. Proto se u pevné čelisti volí větší přídavek na optimální opotřebení, který je dán vztahem:

$$P_o = 0,8 \cdot P_u [mm] \quad (3.42)$$

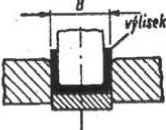
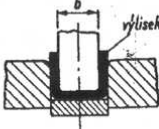
Kde je $P_u [mm]$ - odchylka ohýbaného tvaru

U pohyblivých částí se optimální přídavek volí dle vztahu:

$$P_o = 0,2 \cdot P_u [mm] \quad (3.43)$$

Tab. 5 Vzorce ke stanovení rozměrů pracovních částí ohýbadel [1]

B – vnější jmenovitý rozměr výlisku, b – vnitřní jmenovitý rozměr výlisku,
 U_h – horní úchylka, U_s – spodní úchylka výlisku, p_e – dovolená úchylka na
 zhotovení čelistí

Schéma operace	Způsob předepsání tolerance výlisku	Základní nástroj	Vzorce k stanovení rozměrů pracovních částí ohýbadel s přídavkem na opotřebení $P_o = 0,8P_u$
	$B - U_s$	Pevná čelist	$B_e = (B - 0,8U_s)^{+p_e}$
	$B - \frac{U_h + U_s}{2}$		$B_e = (B - 0,2U_h - 0,8U_s)^{+p_e}$
	$B + \frac{U_h + U_s}{2}$		$B_e = (B + 0,2U_h + 0,8U_s)^{+p_e}$
	$B + \frac{U_h - U_s}{2}$		$B_e = (B + 0,2U_h - 0,8U_s)^{+p_e}$
	$B \pm U$		$B_e = B^{+p_e}$
			$P_o = 0,2P_u$
	$b + U_h$	Pohyblivá čelist	$b_e = (b + 0,2U_h)^{-p_e}$
	$b + \frac{U_h + U_s}{2}$		$b_e = (b + 0,2U_h + 0,8U_s)^{-p_e}$
	$b + \frac{U_h - U_s}{2}$		$b_e = (b + 0,2U_h - 0,8U_s)^{-p_e}$
	$b \pm U$		$b_e = b^{-p_e}$

3.2.7 Technologičnost ohýbaných součástí [1]

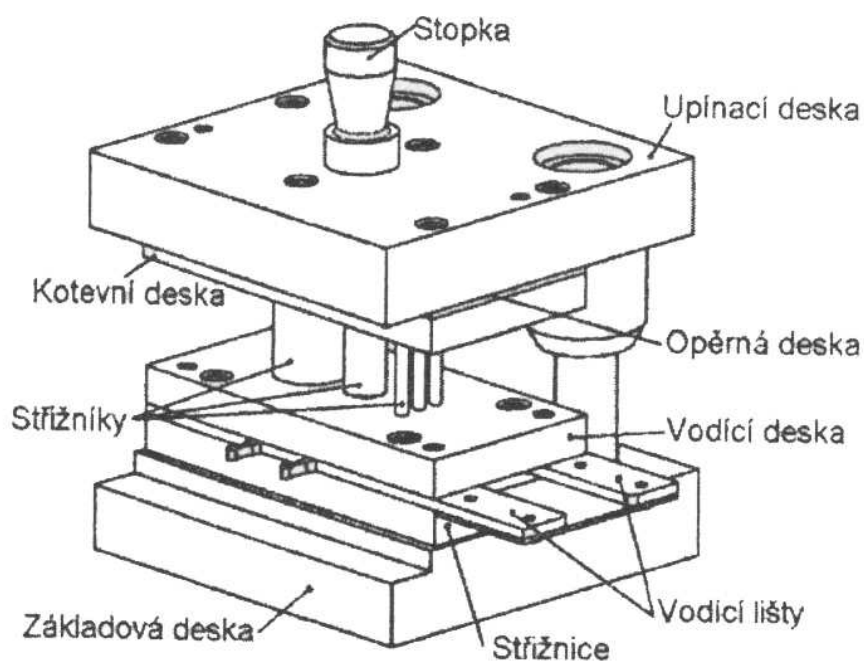
Ohýbání jako výrobní technologie má řadu nedokonalostí, mezi něž patří nepřesnost úhlu ohybu, deformace průřezu nebo ramen blízko oblasti ohybu, nesprávná poloha místa ohybu, trhliny v materiálu a jiná porušení, zpevnění atd.

Zásady při navrhování ohýbané součásti:

- počet ohybů volit pokud možno co nejmenší a konstruovat součást tak, aby se ohýbalo stále jedním směrem
- ohýbaný úsek by měl být odlehčen od neohýbaných částí
- ohyb by neměl ležet při okraji materiálu
- otvory musí ležet v minimální vzdálenosti $r + 2s$ od oblasti ohybu (r je poloměr ohybu, s je tloušťka plechu)
- zmenšit odpružení vhodně voleným poloměrem ohybu, měl by být co nejmenší s ohledem na minimální poloměr ohybu
- osa ohybu musí být kolmá k vláknům, aby se zamezilo vzniku trhlin a celkové náchylnosti výlisku k praskání
- tolerance ohýbaných součástí nezužovat pod hranici běžně dosažitelnou v průměrné lisovně

3.3 Popis nástroje [2], [5], [6], [9]

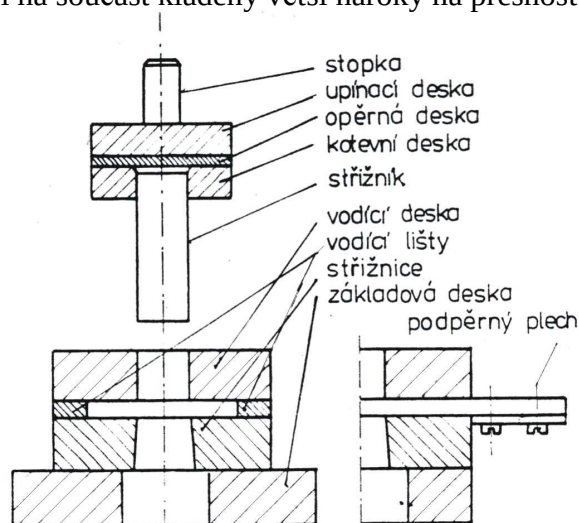
Střížné nástroje jsou v procesu výroby výstřižků hlavním činitelem. Jejich konstrukcí lze ovlivnit velikost střížné síly (tedy možnost použití konkrétního lisu), přesnost vystřižené součásti nebo ekonomické ukazatele spojené s její výrobou. Z těchto důvodů jsou na ně kladeny vysoké technické, konstrukční a technicko-ekonomické nároky. Na obr. č. 3.43 je prostorový model střížného nástroje s vodící deskou a univerzálním stojánkem.



Obr. 3.43 Střížný nástroj [5]

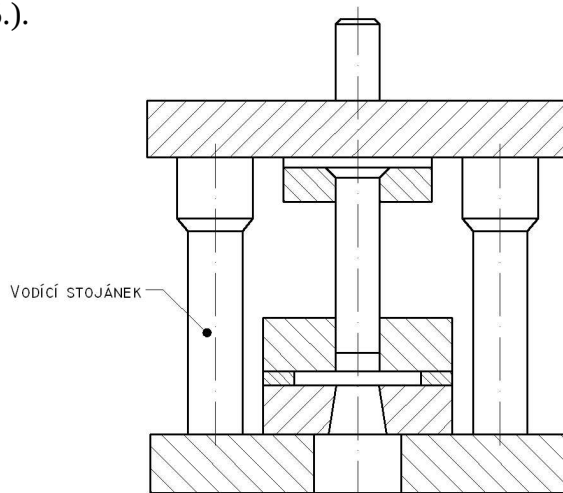
Střížný nástroj bez použití vedení – v tomto případě je vzájemná poloha střížníku a střížnice zajištěna pouze pomocí stojanu a beranu lisu. Správné zavedení nástroje je

realizováno pomocí vodící desky. Toto řešení je vhodné pro kusovou a malosériovou výrobu a to tehdy, nejsou-li na součást kladeny větší nároky na přesnost. Situace je vyobrazena na obr.3.44.



Obr. 3.44 Schéma postupového nástroje bez vodícího stojánu stojánu [9]

Střížný nástroj s vodícími sloupky – zde je vzájemná poloha součástí dána vodícími sloupky, jež v průběhu zdvihu zajišťují správnou polohu horní a dolní poloviny nástroje (obr. 3.45.).



Obr. 3.45 Postupový nástroj s vodícím stojánkem [9]

3.3.1 Horní část nástroje

Upínací deska

Bývá provedena z konstrukčních ocelí o tloušťce 23 až 50 mm, popř. odlita ze šedé litiny. Upínací deska plní v nástroji dvě funkce:

- v nástroji slouží k podepření jednotlivých střížníků a dokonalému spojení s kotevní deskou a vložkou a upevnění vedení
- vně nástroje zajišťuje spojení a upevnění nástroje na beranu lisu

U výstředníkových lisů je upínací deska opatřena v těžišti působících sil stopkou odpovídající velikosti a provedení lisu. Pro ostatní typy lisů, kde upínání na beran je provedeno upínkami, je upínací deska bez stopky a v místě upnutí je proti kotevní desce a vložce zvětšena jednostranně o 25mm a více.

Kotevní deska

Slouží k zakotvení střižníků a vyrábí se ve stejných rozměrech a také s konstrukčních ocelí jako upínací deska, popř. pro nástroje pracující s vyšším výkonem z tepelně zpracované nástrojové uhlíkové oceli. Tloušťka je v rozmezí 10 až 32 mm. Rozmístění otvorů je obdobné jako u vodící desky, má však pro upevnění střižníků a zachycení stíracích sil válcové nebo kuželové zahloubení podle konců střižníků. Jednotlivé otvory musí být kolmé, aby při stříhu nedocházelo k ohybu střižníků.

Opěrná deska

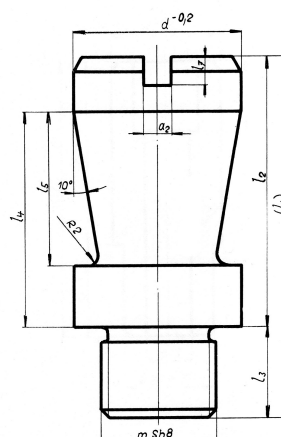
Slouží jako podložení mezi střižníky a kotevní deskou, aby nedošlo k jejímu otlacení. Vyrábí se z konstrukční oceli 19 312.

Stopka

Slouží pro upnutí a středění nástroje na beran výstředníkového lisu. Tvar stopek je normalizován a jejich velikost je volena s ohledem na velikost lisu. Stopky se umísťují do těžiště tvárecích sil působících v nástroji.

Pro správnou funkci lisovacího nástroje musí být nástroj dobře vyvážen, to znamená, že výslednice sil do všech střižníků musí působit v ose beranu. Proto musí být stopka umístěna v této výslednici. Protože stopka je upínacím a zároveň i středícím elementem, vznikl by při jejím nevhodném umístění klopný moment na beranu lisu, který by namáhal vedení beranu a současně negativně ovlivňoval funkci nástroje.

Umístění stopky lze zjistit graficky nebo početně tak, že se najde výslednice sil od všech střižníků v obou směrech a do průsečíku obou výslednic se stopka umístí. Střižné síly na jednotlivých střižnících jsou úměrné obvodu střižníků. Stačí proto nanést z těžiště tvaru příslušného střižníků jeho obvod v libovolném měřítku jako úsečku a pomocí pólového obrazce najít výslednici v obou směrech.

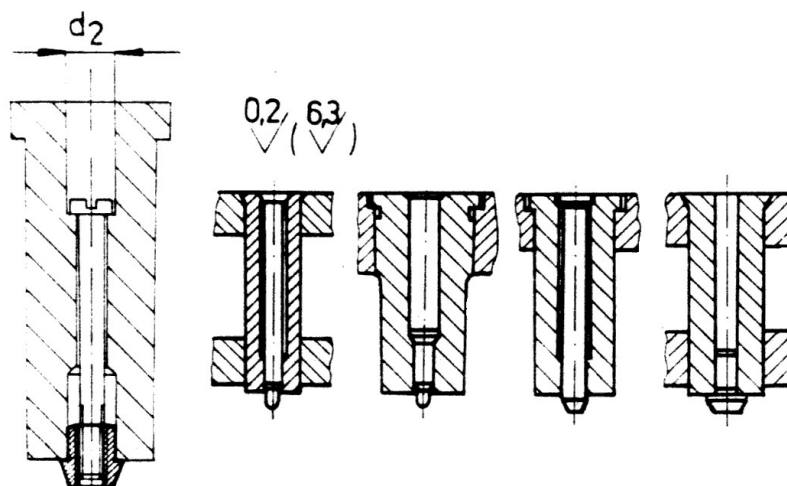


Obr. 3.46 Stopka pro výstředníkový lis [9]

Hledáčky

Používají se většinou při mechanizaci podávání válečkovými podavači, popř. při ručním podávání. Hledáčky slouží pro přímé zavedení polotovaru do nástroje a korigují tak rozptyl podávání.

Hledáčky se konstruují jako přímé (obr. 3.47) nebo nepřímé, kde otvory pro hledáčky jsou stříhány do opadu. Používají se u plechů silnějších než 0,3 mm a umísťují se do druhého kroku s tím, že otvory se stříhají v kroku prvním.



Obr. 3.47 Hledáčky [9]

Hledáčky nepřímé se používají tam, kde součást není opatřena otvory, popř. otvory jsou malé, konstrukce nepřímých hledáček je podobná hledáčkům přímým. Nepřímé hledáčky se používají i pro zajištění polohy rámečků bezpečných ohýbacích nebo tvarovacích nástrojů, kde zajišťují dokonalé uzavření pracovního prostoru nástroje. Upínání hledáček a materiál je stejný jako u střižníků.

3.3.2 Spodní část nástroje

Základová deska

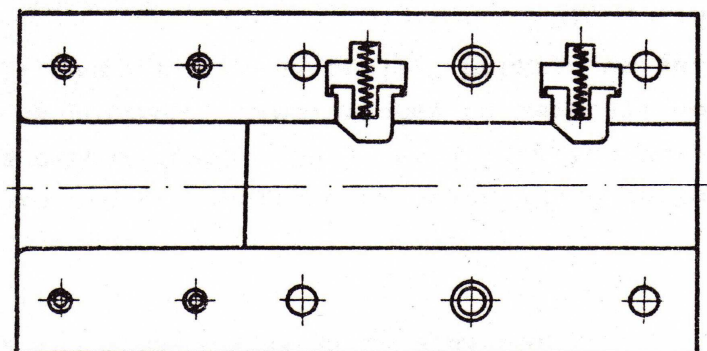
Slouží k upevnění nástroje na stole lisu. Je proto vždy rozměrově větší než střižná deska pro upnutí upínkami. Její velikost závisí rovněž na velikosti stolu lisu, protože musí překrýt propadový otvor. Její tloušťka je dána normou. Materiál je nejčastěji ocel 10 373, 11 523, 11 500 a pro větší nástroje šedá litina 42 2425. Základová deska obsahuje otvory pro propad výlisků, které jsou oproti střižnici zvětšeny přibližně o 2 mm na obvodu. Na obvodu jsou otvory pro nasazení čepů pro snadnou manipulaci pod lisem a mimo něj. Základová deska slouží rovněž pro zakotvení vedení.

Střižnice

Viz. kapitola 3.1.13 Funkční části nástroje

Vodící lišty

Vodící lišty slouží k vedení pásu nebo svitku v pracovním prostoru nástroje. Jejich vzdálenost je určena maximální šíří polotovaru. Druhým účelem vodících lišt je vytvoření bezpečného prostoru pro manipulaci s materiálem mezi vodící deskou a střižnicí. Výška vodících lišt je určena ČSN a pro normální případy je rovna 5 až 8 mm. Tato výška je vhodná pro ruční manipulaci se stříhaným materiálem za předpokladu použití dorazů a stříhání na propad.



Obr. 3.48 Vodící lišty s odpruženým přidržovačem [9]

Za použití střížných nástrojů pro přesné stříhání a nástrojů sloučených se vodící lišty nepoužívají a jejich funkci přebírá podavač. Pro snadnější a přesnější zavedení materiálu do nástroje se vodící lišty prodlužují na zaváděcí straně nástroje přibližně o 80 mm a podkládají se podpěrným plechem. Pro omezení bočního posunu polotovaru se doplňuje jedna z lišt odpruženým přidržovačem, který dotlačuje polotovar stále k protilehlé liště (obr. 3.48.) Materiál vodících lišt je nástrojová ocel nebo se opatřují kalenými vložkami.

Vodící deska

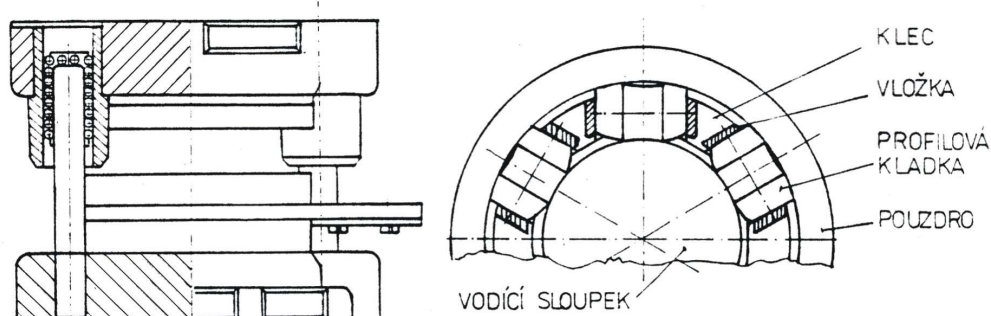
Slouží pro vedení střížníků a pro stírání materiálu při zpětném zdvihu nástroje, případně pro podržení pásu na střížnici při některých technologiích stříhání. Tvoří buď pevnou součást střížné skříně nebo je pružně upevněna na kotevní popř. upevňovací desce. Vyrábí se z oceli 11 500 v tloušťce 18 až 32 mm. Pro lepší mazání střížníků a snížení možnosti jejich zadření ve vodící desce se opatřují kolem vodících otvorů mazacími drážkami. Otvory pro střížníky se zhotovují v tolerancích pro uložení H7/h6.

Vodící stojánky

Přesnost výlisků a životnost lisovacích nástrojů závisí značně na správném a tuhém vedení. Tento požadavek je splněn použitím vodících stojánků. Upínací deska stojánku nahrazuje upínací desku nástroje bez vedení, má dvě nebo čtyři pouzdra, která se pohybují po vodících sloupcích. K beranu se upínací deska připevňuje za stopku.

Druhy vedení:

- a) **kluzné vedení** - má velkou vodící plochu, počet zdvihů menší než 25 zdvihů/minutu. Pouzdro může být zhotoveno z litiny nebo z oceli 14 220, cementováno a kaleno na 62 HRC. Vedení má velkou odolnost proti opotřebení a umožňuje malý počet zdvihů.
- b) **kuličkové vedení** - používá se tam, kde nestačí kluzné vedení, např. u rychloběžných lisů, které mají malý zdvih a je požadována vysoká přesnost.
- c) **válečkové vedení** - je nejpřesnější vedení, při kterém dochází k přímkovému styku válečku s oběžnou dráhou příčně ke směru pohybu. Vysoká a dlouhá životnost, vysoká přesnost chodu, malé tření, plynulý pohyb.



Obr. 3.49 Kuličkové vedení (vlevo), Válečkové vedení (vpravo) [9]

3.3.3 Stroje a zařízení ke stříhání [10]

LISY

Jsou stroje, které se nejčastěji používají pro tvarové stříhání součástí. Lze je rozdělit podle různých hledisek. Pro stříhání se využívají nejvíce mechanické lisy a hydraulické lisy. Na zvolení vhodnosti lisu závisí mnoho parametrů, které záleží především na vyráběné součásti a na strojním parku podniku.

Mechanické

Jsou to nepoužívanější tvářecí stroje, které jsou vhodné pro různé tvářecí operace. Mají velkou výrobnost a jsou konstrukčně jednoduché. I když nevýhodou je, že maximální tvářecí sílu lze odebrat až těsně před dolní úvratí. Mechanický lis může být zatížen takovou silou, která nepřesáhne jmenovitou sílu daného lisu. Pokud by tento případ nastal, dojde k zastavení lisu vlivem různých pojistek, aby se zamezilo přetížení lisu. Mechanické lisy hojně využívají klikového mechanismu pro přenos energie.

Nejpoužívanější z mechanických lisů jsou **výstředníkové lisy**, které se hlavně využívají pro operace zpracovávající plech. Energie se kumuluje v setrvačnicku, který je roztáčen elektromotorem. Zdvih je možno měnit pomocí výstředníkového mechanismu. Tím se zajistí určitá přestavitelnost beranu a hlavně bezpečnost práce, protože se zdvih nastaví podle potřeb používaného nástroje. Různé druhy dosahují 40 až 400 zdvihů za minutu.

Hydraulické

Jsou stroje využívající k vytvoření tlaku vlastností kapalin (Pascalův zákon). Je možno je též použít pro stříhání v nástrojích. Mají menší výrobnost oproti mechanickým lisům, i když rychlost pohybu beranu lze libovolně nastavit podle potřeb v rozmezí

$$v = 0 - v - 0,25 \text{ [m} \cdot \text{s}^{-1} \text{]}.$$

Maximální sílu je možno odebrat v jakémkoliv místě zdvihu. Nevýhodou je jejich složitější konstrukce, údržba, vyšší pořizovací náklady.

4. NÁVRH TECHNOLOGIE VÝROBY

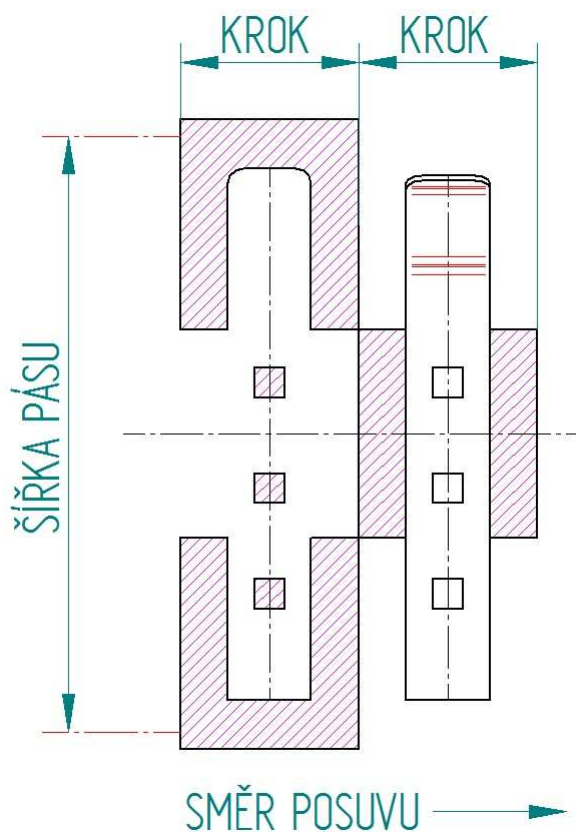
4.1 Návrh variant – konstrukční řešení

Pozice na délku neumožňuje posuv plechu do dalšího kroku po provedení ohybu. Uspořádání na výšku je tedy více vhodné pro tento typ součásti.

Varianta č.1

První varianta zahrnuje výrobu ve dvou krocích.

1. krok – Vystřížení otvorů a vystřížení vnějšího tvaru
2. krok – Přidržení, zahledání na vystřížené otvory, ohyb, odstřížení můstků a vyhození součásti směrem nahoru nebo do stran (záleží na konstrukci vyhazovače).



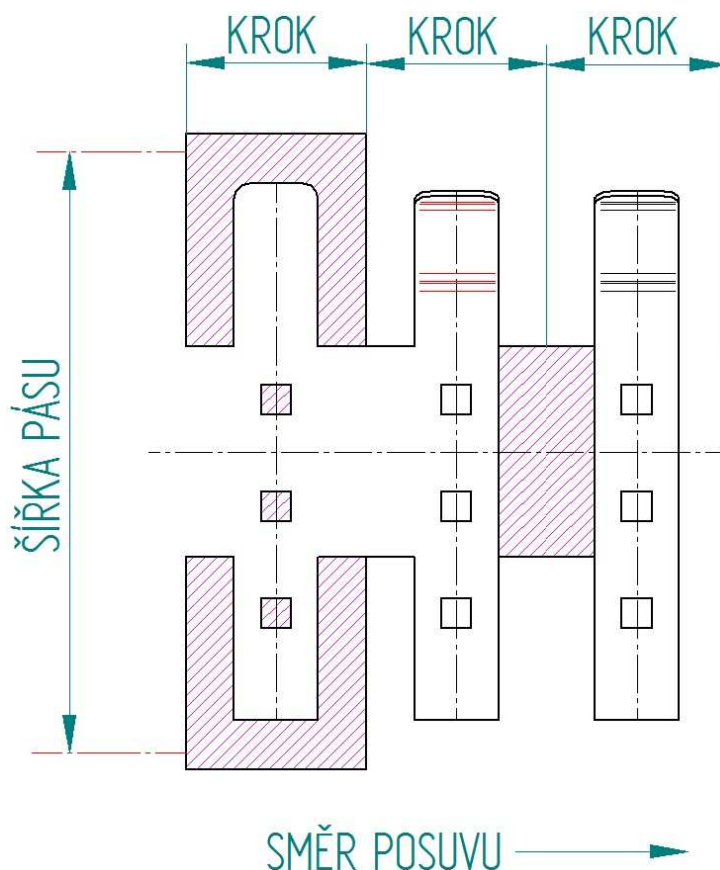
Obr. 4.1 První varianta nástřihového plánu

Konstrukční řešení této varianty, by bylo náročnější. Ve druhém kroku by se musel nejdříve provést ohyb, poté odstřížení a následné vyhození. To vše v jednom kroku, by si vyžádalo vyšší zdvih a složitější řešení vyhazovače.

Varianta č.2

Druhá varianta zahrnuje provedení ve třech krocích.

1. krok – Vystřížení otvorů a vystřížení vnějšího tvaru.
2. krok – Vystředění na otvory, přidržení a současné provedení ohybu.
3. krok – Odstřížení můstku a propad hotové součásti nástrojem.



Obr. 4.2 Druhá varianta nástřihového plánu

Díky přidání třetího kroku se vyhneme stříhu a ohybu v jednom kroku. Není také potřeba vyhazovač, protože hotová součást na konci třetího kroku propadne skrz nástroj.

Přidáním dalšího kroku navíc se nástroj zvětší a tím se zvýší i jeho cena. Konstrukce se však mnohem zjednoduší, zvýší se spolehlivost funkce a také životnost.

Z výše popsaných důvodů **volím variantu č.2.**

4.2 Využití materiálu

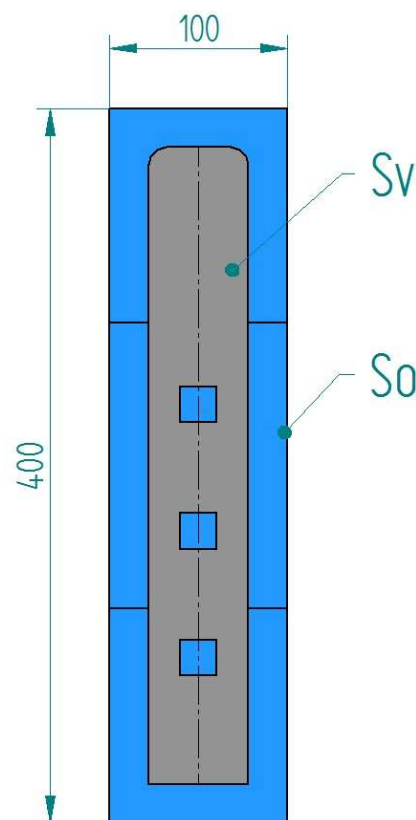
Velikost plochy výstřižku S_v je provedena pomocí programu Solid Edge ST2

Využití materiálu se vypočte dle vztahu 3.28 [6]

$$\text{využití materiálu} = \frac{S_v}{S_o} \cdot 100 \%$$

$$\text{využití materiálu} = \frac{40000}{18747} \cdot 100 \%$$

$$\text{využití materiálu} = \underline{\underline{47 \%}}$$

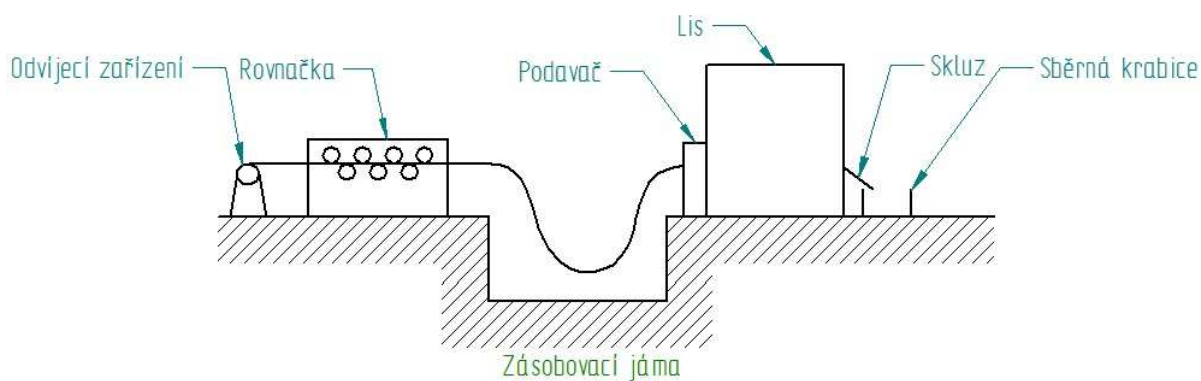


Obr. 4.3 Využití materiálu

4.3 Příklad výrobní linky

Jak bylo popsáno v úvodu, sdružený nástroj je vhodný pro automatizovanou výrobu. Na obr. 4.4 je příklad použití v praxi.

1. **Odvíjecí zařízení** – Slouží jako zásobník materiálu. Jako polotovar se používá svitek plechu, který se postupně odvíjí.
2. **Rovnačka** – Používá se k rovnání pásového polotovaru před jeho vstupem do lisu
3. **Podávací zařízení** – Slouží k přesnému podávání pásového polotovaru do lisu Umožňuje přesné nastavení potřebného kroku.
4. **Lis** – V lisu se pomocí postupového nástroje provádí operace potřebné k vyhotovení dané součástky. Z lisu vypadává hotová součást skluzem nebo propadem.



Obr. 4.4 Schéma výrobní linky

5. KONSTRUKČNÍ ŘEŠENÍ TECHNOLOGIE VÝROBY DOLOŽENÉ TECHNICKÝMI VÝPOČTY

5.1 Výpočty pro stříhání

5.1.1 Výpočty síly na stříhadlech

Střížná síla

Velikost střížné síly se vypočte dle vztahu 3.5 [2]

$$L1 = 36,00\text{mm}$$

$$L2 = 15,71\text{mm}$$

$$L3 = 346,96\text{mm}$$

$$L4 = 56,00\text{mm}$$

$$L5 = 20,00\text{mm}$$

$$L6 = 22,00\text{mm}$$

Střížné hrany plnicí funkci přistřihovače.

$$L7 = 131,60\text{mm}$$

$$L8 = 160,00\text{mm}$$

$$o = L1 + 2 \cdot L2 + 2 \cdot L3 + L4 + 12 \cdot L5 + 4 \cdot L6$$

$$o = 36 + 2 \cdot 15,71 + 2 \cdot 346,96 + 56 + 12 \cdot 20 + 4 \cdot 22$$

$$o = 1145,34\text{mm}$$

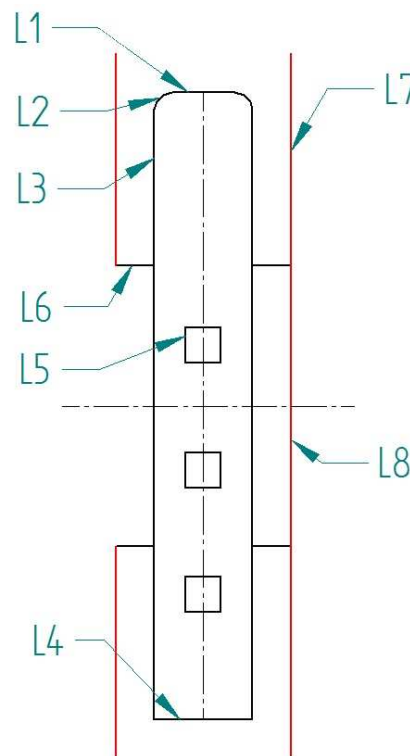
$$F_s = o \cdot s \cdot \tau_s \cdot n$$

$$F_s = o \cdot s \cdot 0,77 \cdot R_m \cdot n$$

$$F_s = 1145,34 \cdot 4 \cdot 0,77 \cdot 570 \cdot 1,3$$

$$F_s = 1834376,54\text{N}$$

$$F_s = 1834,38\text{kN}$$



Obr. 5.1 Stříhaný obvod

Síla potřebná pro setření materiálu ze střížníku

Velikost síly pro setření se vypočte dle vztahu 3.6 [2]

$$F_{ST} = k_{eu} \cdot F_s [\text{kN}]$$

$$F_{ST} = 0,13 \cdot 1834,38$$

$$F_{ST} = 238,47\text{kN}$$

Protlačovací síla potřebná pro protlačení výstřižku střížnicí

Velikost protlačovací síly se vypočte dle vztahu 3.7 [2]

$$F_{PR} = k_{ev} \cdot F_s [\text{kN}]$$

$$F_{PR} = 0,005 \cdot 1834,38$$

$$F_{PR} = 9,17\text{kN}$$

Celková střižná síla

Velikost celkové střižné síly se vypočte dle vztahu 3.8 [2]

$$F_{CS} = F_s + F_{ST} + F_{PR} \text{ [kN]}$$

$$F_{CS} = 1834,38 + 238,47 + 9,17$$

$$\underline{\underline{F_{CS} = 2082,02 \text{ kN}}}$$

5.1.2 Střižná práce

Velikost střižné práce se vypočte dle vztahu 3.9 [8]

$$A = \frac{k \cdot F_s \cdot s}{1000} \text{ [J]}$$

$$A = \frac{0,4 \cdot 1834376,54 \cdot 4}{1000}$$

$$A = 2935 \text{ J}$$

$$\underline{\underline{A = 2,9 \text{ kJ}}}$$

5.1.3 Střižná vůle

Stříhaný plech má tloušťku 4mm použijeme vzorec 3.2 [2]

$$v = 2m = (1,5 \cdot c \cdot s - 0,0015) \cdot 0,32 \cdot \sqrt{\tau_s}$$

$$v = (1,5 \cdot 0,02 \cdot 4 - 0,0015) \cdot 0,32 \cdot \sqrt{0,77 \cdot 400}$$

$$\underline{\underline{v = 0,67 \text{ mm}}}$$

Velikost střižné mezery dle obr.3.4 [10]

$$z = \frac{v}{2} = \frac{0,67}{2} = \underline{\underline{0,34 \text{ mm}}}$$

5.1.4 Kontrola střižníku na otlačení

Velikost dovoleného napětí se vypočte dle vztahu 3.17 [12]

$$\sigma_{dov} = \frac{F_s}{S} \text{ [MPa]}$$

Tvarový střižník:

$$\sigma_{dov} = \frac{o \cdot s \cdot 0,77 \cdot R_m \cdot n}{673,31}$$

$$\sigma_{dov} = \frac{584,38 \cdot 4 \cdot 0,77 \cdot 570 \cdot 1,3}{7687,68}$$

$$\underline{\underline{\sigma_{dov} = 173,49 \text{ MPa} < 180 \text{ MPa}}}$$

Nedojde k otlačení.

Čtvercový střižník:

$$\sigma_{dov} = \frac{o \cdot s \cdot 0,77 \cdot R_m \cdot n}{a^2}$$

$$\sigma_{dov} = \frac{80 \cdot 4 \cdot 0,77 \cdot 570 \cdot 1,3}{20^2}$$

$$\sigma_{dov} = 456,46 \text{ MPa} > 180 \text{ MPa}$$

Napětí přesahuje dovolené napětí 180 MPa, je tedy třeba použít opěrnou desku.

5.2 Výpočty pro ohýbání

5.2.1 Minimální poloměr ohybu

Hodnota minimálního poloměru ohybu se vypočte dle vztahu 3.30 [1]

$$R_{\min} = \frac{s}{2} \cdot \left(\frac{1}{\varepsilon_k} - 1 \right) = C \cdot s$$

$$R_{\min} = 0,6 \cdot 4$$

$$\underline{\underline{R_{\min} = 2,4 \text{ mm}}}$$

5.2.2 Maximální poloměr ohybu

Hodnota maximálního poloměru ohybu se vypočte dle vztahu 3.31 [1]

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

$$R_{\max} = \frac{4}{2} \cdot \left(\frac{2,1 \cdot 10^5}{240} - 1 \right)$$

$$\underline{\underline{R_{\max} = 1748 \text{ mm}}}$$

5.2.3 Odpružení při ohybu

Hodnota odpružení při ohybu se vypočte dle vztahu 3.39 [11]

$$\text{tg} \beta = 0,0375 \cdot \frac{l}{k \cdot s} \cdot \frac{R_e}{E}$$

$$\text{tg} \beta = 0,0375 \cdot \frac{64}{0,58 \cdot 4} \cdot \frac{240}{2,1 \cdot 10^5}$$

$$\text{tg} \beta = 1,18 \cdot 10^{-3} \Rightarrow \underline{\underline{\beta = 0,068^\circ}}$$

5.2.4 Síla při ohýbání

Velikost síly při ohýbání se vypočte dle vztahu 3.38 [1]

$$F_o = \frac{R_m \cdot b \cdot s^2}{100 \cdot l_o}$$

$$F_o = \frac{570 \cdot 56 \cdot 4^2}{100 \cdot 64}$$

$$\underline{\underline{F_o = 79,8 \text{ kN}}}$$

5.2.5 Síla přidržovače při ohýbání

$$F_p = 0,25 \cdot F_o$$

$$F_p = 0,25 \cdot 79,8$$

$$\underline{\underline{F_p = 19,95 \text{ kN}}}$$

5.3 Celková lisovací síla

$$F_C = F_C + F_{ST} + F_o + F_p$$

$$F_C = 1834,38 + 238,47 + 9,17 + 19,95$$

$$\underline{\underline{F_C = 2101,97 \text{ kN}}}$$

5.4 Výpočet těžiště všech sil pro určení pozice stopky

$$F_1 = 883,41 \text{ kN} \quad X_1 = 50 \text{ mm} \quad Y_1 = 211,60 \text{ mm}$$

$$F_2 = 897,15 \text{ kN} \quad X_2 = 50 \text{ mm} \quad Y_2 = 211,60 \text{ mm}$$

$$F_3 = 128,13 \text{ kN} \quad X_3 = 50 \text{ mm} \quad Y_3 = 104,12 \text{ mm}$$

$$F_4 = 128,13 \text{ kN} \quad X_4 = 50 \text{ mm} \quad Y_4 = 175,12 \text{ mm}$$

$$F_5 = 128,13 \text{ kN} \quad X_5 = 50 \text{ mm} \quad Y_5 = 246,12 \text{ mm}$$

$$F_6 = 79,80 \text{ kN} \quad X_6 = 150 \text{ mm} \quad Y_6 = 351,42 \text{ mm}$$

$$F_7 = 512,51 \text{ kN} \quad X_7 = 200 \text{ mm} \quad Y_7 = 211,12 \text{ mm}$$

$$X_T = \frac{\sum F_i \cdot x_i}{\sum F_i} = \frac{F_1 \cdot x_1 + F_2 \cdot x_2 + F_3 \cdot x_3 + F_4 \cdot x_4 + F_5 \cdot x_5 + F_6 \cdot x_6 + F_7 \cdot x_7}{F_1 + F_2 + F_3 + F_4 + F_5 + F_6 + F_7}$$

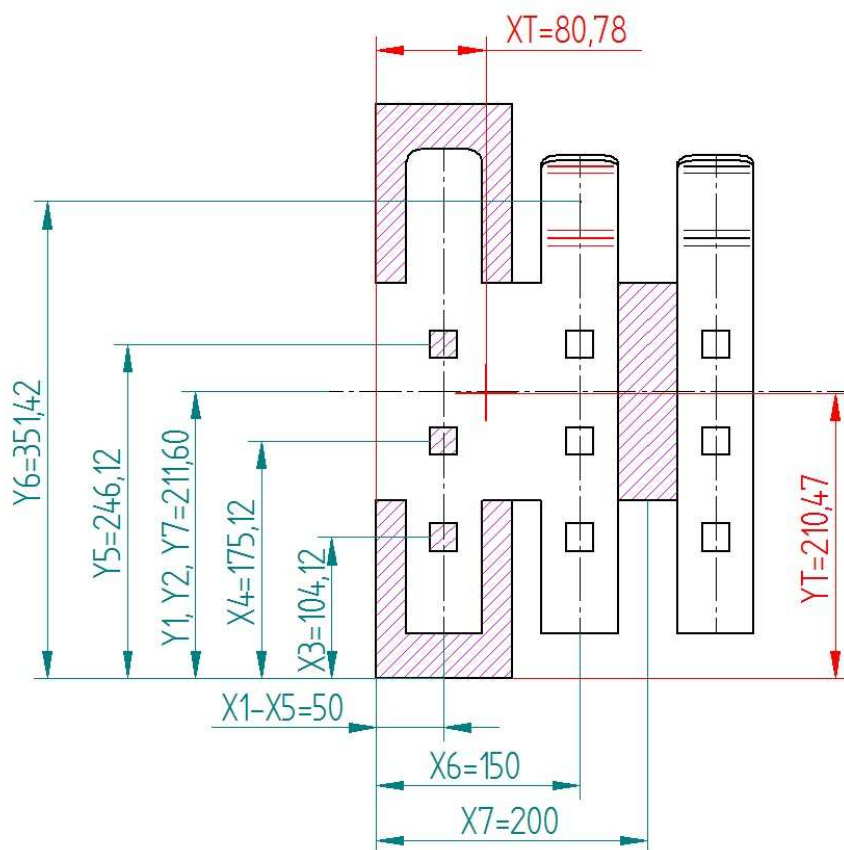
$$X_T = \frac{883,41 \cdot 50 + 897,15 \cdot 50 + 3 \cdot 128,13 \cdot 50 + 79,80 \cdot 150 + 512,51 \cdot 200}{883,41 + 897,15 + 3 \cdot 128,13 + 79,80 + 512,51}$$

$$\underline{\underline{X_T = 80,78 \text{ mm}}}$$

$$Y_T = \frac{\sum F_i \cdot y_i}{\sum F_i} = \frac{F_1 \cdot y_1 + F_2 \cdot y_2 + F_3 \cdot y_3 + F_4 \cdot y_4 + F_5 \cdot y_5 + F_6 \cdot y_6 + F_7 \cdot y_7}{F_1 + F_2 + F_3 + F_4 + F_5 + F_6 + F_7}$$

$$Y_T = \frac{883,41 \cdot 211,6 + 897,15 \cdot 211,6 + 128,13 \cdot (104,12 + 175,12 + 246,12) + 79,8 \cdot 351,42 + 512,5 \cdot 211,1}{883,41 + 897,15 + 3 \cdot 128,13 + 79,80 + 512,51}$$

$$\underline{\underline{Y_T = 210,47 \text{ mm}}}$$



Obr. 5.2 Výpočet těžiště

5.5 Stanovení rozměrů střížníku a střížnice

Zadaná součást nemá po vnějším obvodu žádné funkční části a proto nejsou kladeny na rozměrovou přesnost takové nároky. Z tohoto důvodu nejsou výrobní tolerance na výkrese zakótovány.

Nástroj bude opatřen vodícími stojánky a přidržovačem. Je tedy možné vyrábět součásti v toleranci IT 11. Tomu odpovídá výrobní tolerance střížníku a střížnice IT 8 viz. kapitola 3.1.8. Výroba střížníku se provede podle tolerancí, které jsou dány normou uvedenou v rohovém razítku. Funkční části střížnice se vyrobí podle pozic příslušných střížníků zvětšené o střížnou vůli.

5.6 Technický popis stroje stroje [15]

Celková síla, kterou lis musí vykonat je $F_C = 2101,97\text{kN}$. Na stránkách www.strojeslovakia.sk jsem vybral lis **LE 250** o nejbližší jmenovité síle 2500kN. Tento lis vyhovuje z hlediska potřebné síly a také z hlediska rozměrového. Plocha stolu 1120 x 805mm je pro zkonstruovaný nástroj dostatečná.

Technický popis strje Excentrický lis LE 250

Určený na stříhání, děrování, ohýbání, přetlačení, kalibrování, plytké tahy, resp. ostříhování výkovků. Splňuje všechny bezpečnostní normy platné ve státech Evropské unie. **Byl mu přidělený CERTIFIKÁT CE.**

Konstrukce lisu vyhovuje:

- požadavkům bezpečnosti podle SMĚRNICE 89/392/ RADY EHS
- požadavkům bezpečnosti podle EVROPSKÝCH NOREM EN 292 "Bezpečnost strojních zařízení", EN 692 "Mechanické lisy - bezpečnost "
- evropským normám EN 349, EN 418, pre EN 574 a EN 60204-1.

Chod lisu je možné řídit v režimech :

1. jednotlivé zdvihy a trvalý chod ovládané dvojručně i nožním spínačem

2. řazením

Lis je určený pro práci s bezpečným nástrojem. Při použití jiného nástroje se doporučuje zabezpečit oblast nebezpečí na nástroji a oblastech, které k nim patří (v rozsahu EN 692). Jednou z možností je použití aktivního optoelektronického ochranného zařízení Siemens, které je možné dodat jako zvláštní příslušenství.

Lisy je vybaven počítadlem zdvihů . Použité prvky jsou od firmy **SIEMENS**.

Technické údaje:

Jmenovitá síla lisu :	2500 [kN]
Počet zdvihů – trvalý chod P/R :	451 [min]
Elektromotor :	
- výkon :	22[kW]

6. TECHNICKO – EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ

6.1 Vstupní hodnoty

Ke stanovení ekonomických ukazatelů jsou potřeba tyto údaje:

Výrobní dávka $Q=400000\text{ks/rok}$

Dílenské režie:

- Jednicové mzdy $JM=100\%$
- Výrobní režie $VR=430\%$
- Správní režie $SR=120\%$
- Ostatní přímé náklady $OPN = 25\%$

Zpracovatelská režie:

$$ZR = JM + VR + SR + OPN \quad (3.44)$$

$$ZR = 100 + 430 + 120 + 25$$

$$\underline{\underline{ZR = 675\%}}$$

Pracovní třídy pro výrobu nářadí:

TTK6 = 100 Kč/hod (seřizovač)

TTK7 = 120 Kč/hod (nástrojař)

6.2 Náklady na materiál

Materiál S195T

1 kg plechu ve svitku 32 Kč

1 kg opadu 5 Kč

Výpočet hmotnosti plechu spotřebovaného za rok

$$m_p = \rho \cdot S_o \cdot s \cdot Q \quad (3.45)$$

$$m_p = 7,85 \cdot 10^{-6} \cdot 18747 \cdot 4 \cdot 400000$$

$$\underline{\underline{m_p = 235462,32\text{kg} / \text{rok}}}$$

kde ρ - hustota oceli [kg/dm^3]

S_o - plocha plechu potřebná na jeden kus [mm^2]

s – tloušťka plechu [mm]

Q – počet vyrobených kusů za rok

Cena materiálu za rok

$$c_p = m_p \cdot \text{cena za 1kg plechu} \quad (3.46)$$

$$c_p = 235462,32 \cdot 32$$

$$\underline{\underline{c_p = 7534794\text{Kč} / \text{rok}}}$$

Hmotnost odpadu za rok

$$m_o = \rho \cdot (S_v - S_o) \cdot s \cdot Q \quad (3.47)$$

$$m_o = 7,85 \cdot 10^{-6} \cdot (40000 - 18747) \cdot 4 \cdot 400000$$

$$\underline{\underline{m_o = 266937,68 \text{ kg / rok}}}$$

kde S_o - plocha součásti [mm^2]

Cena odpadu za rok

$$c_o = m_o \cdot \text{cena za 1 kg odpadu} \quad (3.48)$$

$$c_o = 266937,68 \cdot 5$$

$$\underline{\underline{c_o = 1334688 \text{ Kč / rok}}}$$

Náklady na materiál za 1 rok

$$N_m = c_p - c_o \quad (3.49)$$

$$N_m = 7534794 - 1334688$$

$$\underline{\underline{N_m = 6200106 \text{ Kč / rok}}}$$

6.3 Náklady na nástroj

Počet potřebných normohodin na výrobu nástroje $t_n = 600 \text{ Nh}$

Náklady na hodinu práce TKK7 = 120 Kč/hod

Náklady na jednicové mzdy:

$$JM = t_n \cdot TKK7 \quad (3.50)$$

$$JM = 600 \cdot 120$$

$$\underline{\underline{JM = 72000 \text{ Kč}}}$$

Zpracovatelské náklady:

$$ZN = JM \cdot ZR \quad (3.51)$$

$$ZN = JM \cdot 675\%$$

$$ZN = 72000 \cdot 6,75$$

$$\underline{\underline{ZN = 486000 \text{ Kč}}}$$

Zisk nářad'ovny

$$Z = 15\% \cdot ZN \quad (3.52)$$

$$Z = 0,15 \cdot ZN$$

$$Z = 0,15 \cdot 486000$$

$$\underline{\underline{Z = 72900 \text{ Kč}}}$$

Celková cena za nástroj

$$N_n = ZN + Z + \text{předpokládané náklady na materiál nástroje} \quad (3.53)$$

$$N_n = 486000 + 72900 + 95500$$

$$\underline{\underline{N_n = 654400Kč}}$$

6.4 Celkové náklady

Do celkových nákladů na výrobu je třeba do výpočtu zahrnout náklady na vstupní materiál, náklady na nástroj, dále náklady na mzdy, energie a ostatní náklady.

$$N_c = N_m + N_n + N_e + N_o \quad (3.54)$$

$$N_c = 6200106 + 654400 + 10000 + 50000$$

$$\underline{\underline{N_c = 6914506Kč}}$$

Náklady na jednu součást v roční sérii 400000ks

$$N_s = \frac{N_c}{Q} \quad (3.55)$$

$$N_s = \frac{6914506}{400000}$$

$$\underline{\underline{N_s = 17,29Kč}}$$

Při navýšení ceny jedné součásti o zisk 20% by součástka stála $17,29 \cdot 1,2 = 20,75Kč$ a zisk v jednom roce při dané sérii by činil: $(20,75 \cdot 400000) - 6914506 = \underline{\underline{1385494Kč}}$

Při pokračování výroby do dalších let by odpadly náklady za nástroj a zisk by se zvýšil.

7. ZÁVĚR

Cílem zadané diplomové práce bylo navrhnout technologii výroby pro zadanou součást „Petlice“, která je součástí základního dílu dveřní petlice. Jedná se o jednoduchou součást z materiálu **S195T** (11 343) o tloušťce 4mm a výrobní sérii 400 000 ks/rok. Součást je vhodná pro použití v technologii plošného tváření a to konkrétně stříhání a ohýbání. Využití sdruženého nástroje umožní celou výrobu zautomatizovat, čímž se výroba značně zjednoduší, sníží riziko úrazů a zvýší se efektivita práce. Odpadá čas potřebný na manipulaci mezi dvěma operacemi. Tímto se jakákoliv manipulace během výroby minimalizuje pouze na výměnu svitků, manipulaci s hotovými součástmi a s odpadem.

Nástroj se bude vyrábět dle přiložené výkresové dokumentace. Jelikož nejsou na zadanou součást z hlediska její funkce kladeny nároky na přesnost, nejsou uvedeny výpočty pro výpočet funkčních částí nástroje. Výroba bude spočívat ve výrobě střížníků a funkční části střížnice budou vyrobeny zvětšené o střížnou vůli s ohledem na střížníky.

Ve výpočtové části byly provedeny výpočty potřebné pro správnou funkci nástroje a výpočty určující celkovou sílu, která je potřeba pro výrobu součásti. S ohledem na tuto sílu byl zvolen lis LE 250, který plně vyhovuje všem požadavkům na správnou funkci nástroje.

V ekonomickém zhodnocení byly nastíněny náklady spojené s výrobou nástroje, cenou za materiál, energií atd. Při roční sériovosti 400 000 ks je výrobní cena jedné součásti 17,29 Kč. Prodejní cena by se odvíjela s ohledem na požadovaný zisk a především na celkový předpokládaný náklad výroby.

Seznam použité literatury

- [1] BAREŠ, K, et al. Lisování : určeno [také] stud. na střed. a vys. odb. školách. Praha: SNTL, 1971. 542 s.
- [2] BOBČÍK, Ladislav. *Střížné nástroje pro malosériovou výrobu*. 1. vyd. Praha: SNTL, 1983. 213 s. Redakce báňské a strojírenské literatury. (04-229-83).
- [3] DVOŘÁK, Milan, GAJDOŠ, František, NOVOTNÝ, Karel. *Technologie tváření: plošné a objemové tváření*. 2. vyd. Brno: CERM, 2007. 169 s. ISBN 978-80-214-3425-7.
- [4] FOREJT, Milan. *Teorie tváření*. 2. vyd. Brno: AKADEMICKÉ NAKLADATELSTVÍ CERM, 2004. 167 s. ISBN 80-214-2764-7.
- [5] FOREJT, Milan, PÍŠKA, Miroslav. *Teorie obrábění, tváření a nástroje*. 1. vyd. Brno: CERM, 2006. 225 s. Skriptum. ISBN 80-214-2374-9.
- [6] KOTOUČ, Jiří, et al. *Tvářecí nástroje*. 1. vyd. Praha: ČVUT v Praze, 1993. ISBN 80-01-01003-1. s. 349.
- [7] KŘÍŽ, Rudolf. *Strojírenská příručka 8. svazek: Tváření*. 1. vyd. Praha: Scientia, 1998. 55 s. ISBN 80-7183-054-2.
- [8] NOVOTNÝ, Josef. *Stříhání a další způsoby dělení kovových materiálů*. 1. vyd. Praha: SNTL, 1980. 216 s. L 13-B3-IV – 41/22674.
- [9] NOVOTNÝ, Karel. *Tvářecí nástroje*. 1. vyd. Brno: Nakladatelství VUT v Brně, 1992. 186 s. ISBN 80-214-0401-9.
- [10] NOVOTNÝ, Karel. *Výrobní stroje a zařízení: Tvářecí stroje*. [s.l.]: [s.n.], 2002. 27 s. Dostupný z WWW: <<http://ust.fme.vutbr.cz/tvareni/opory.htm>>.
- [11] ROMANOVSKIJ, V. P. *Příručka pro lisování za studena*. Praha: SNTL, 1959. 537 s.
- [12] ŠPAČEK, J., Žak, L.: *Speciální technologie I a II Návodů do cvičení - část plošné tváření*, Rektorát VUT v Brně, 1991, 109 str., ISBN 80-214-0259-8.
- [13] ČSN 22 6015 *Lisovací nástroje STŘIHADLA A STŘIŽNÉ VŮLE: Směrnice pro výpočet a konstrukci*. 1. vyd. Praha: ÚNM, 1977. 28 s.
- [14] Technická univerzita v Liberci. *Technologie II : tváření kovů, zpracování plastů* [online]. 2005 [cit. 2008-05-20]. Text v češtině. Dostupný z WWW: <www.ksp.vslib.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta_tkp/sekce/06.htm>.
- [15] *STROJE SLOVAKIA* [online]. 2010 [cit. 2011-05-26]. Přetlačovací lisy. Dostupné z WWW: <<http://www.strojeslovakia.sk/kovoobrabacie-stroje/product/3903-Excentricky-lis-LE-250/>>.

Seznam použitých symbolů:

SYMBOL	JEDNOTKA	POPIS
a	mm	délka střížnice
A	J	střížná práce
A_e	mm	rozměr střížnice
A_j	mm	jmenovitý rozměr výstřížku nebo otvoru
A_k	mm	rozměr střížníku
A_o	J	ohýbací práce
b	mm	šířka součásti
C	-	součinitel pro výpočet střížné vůle
c_0	Kč	cena odpadu za rok
c_p	Kč	cena materiálu za rok
d	mm	průměr střížníku
E	MPa	modul pružnosti v tahu
F_C	N	celková lisovací síla
F_{CS}	N	celková střížná síla
F_{krit}	N	kritická síla
F_o	kN	ohýbací síla
F_p	N	síla přidržovače
F_S	N	střížná síla
F_{ST}	N	síla potřebná pro setření materiálu ze střížníku
F_{PR}	N	síla potřebná pro protlačení výstřížku střížnicí
h	mm	hloubka ohybnice
H	mm	tloušťka střížnice
I	mm ⁴	moment setrvačnosti průřezu
k	-	koeficient závislý na druhu a tloušťce materiálu
k	-	součinitel
K	mm	krok
k_{eu}	-	koeficient závislý na druhu materiálu
K_S	MPa	střížný odpor
l	mm	vzdálenost ohýbacích hran
l_{krit}	mm	kritická délka střížníku
l_m	mm	rameno ohybu
l_o	mm	šířka ohybnice
l_{so}	mm	délka středního oblouku
m	-	koeficient zaplnění
m	kg	hmotnost
M	Nm	ohybový moment
m_0	kg	hmotnost odpadu za rok
m_p	kg	hmotnost plechu spotřebovaného za rok
n	-	koeficient, který zahrnuje otupení nožů
N_c	Kč	celkové náklady

N_m	Kč	náklady na materiál za 1 rok
N_n	Kč	celková cena za nástroj
N_s	Kč	náklady na jednu součást
n_{vm}	-	počet výstřížku z jednoho metru svitku
o	mm	obvod, který stříháme
p_r	MPa	měrný tlak
Q	ks/rok	počet vyrobených kusů za rok
ρ	mm	poloměr neutrální osy
ρ	kg/dm ³	hustota
R_a	-	drsnot povrchu
R_e	MPa	mez kluzu
R_m	MPa	pevnost v tahu
R_{max}	mm	maximální poloměr ohybu
R_{min}	mm	minimální poloměr ohybu
s	mm	tloušťka plechu
S	mm ²	plocha průřezu střížníku, půdorysná plocha raženého reliéfu
s_0	mm ²	plocha pásu na jeden krok
S_0	mm ²	plocha plechu potřebná na jeden kus
σ_{dov}	MPa	dovolené namáhání v tlaku
S_k	mm ²	plocha konstrukčního odpadu
S_{kr}	mm ²	celková plocha plechu na jeden krok
σ_o	MPa	ohybové napětí
S_p	mm ²	plocha pásu
S_s	mm ²	plocha stříhu
S_t	mm ²	plocha technologického odpadu
s_v	mm ²	plocha jednoho výstřížku
$\check{S}p$	mm	šířka pásu
t_n	Nh	počet potřebných normohodin na výrobu nástroje
v	mm	střížná vůle
V	mm ³	objem
v_{min}	mm	nejmenší zaručená střížná mezera
x	-	koeficient bezpečnosti
x	mm	posunutí neutrální osy
X_T	mm	poloha těžiště v ose X
Z	Kč	zisk nářad'ovny
α	°	úhel ohybu
β	°	úhel odpružení
Δ	mm	tolerance součásti nebo otvoru

δ_e	mm	výrobní tolerance střižnice
δ_k	mm	výrobní tolerance střižníku
ψ	-	součinitel zaplnění diagramu, roste se zmenšující se tloušťkou a stoupající tažností
μ	-	koeficient tření
τ_s	MPa	pevnost ve stříhu

Seznam příloh

- PŘÍLOHA 1 – Přehled chemického složení vybraných konstrukčních ocelí dle ČSN EN 10025-2
- PŘÍLOHA 2 – Koeficienty k_{eu} a k_{ev}
- PŘÍLOHA 3 – Závislost mezi střížným odporem k a pevností v tahu R_m

PŘÍLOHA 1 – Přehled chemického složení vybraných konstrukčních ocelí

Nelegované konstrukční oceli podle normy ČSN EN 10025-2 - přehled chemického složení. Značky vytisknuté tučně jsou zařazeny do skladového programu Bohdana Bolzana.

Chemické složení značek ocelí a jakostních stupňů, u kterých se stanovuje nárazová práce																		
Označení oceli		Způsob desoxidace 1)	Chemické složení taveniny (hmotnostní podíl v %)								Chemické složení hotového výrobku							
Značka	Číselné označení		C v % pro výrobek jmenovité tloušťky v mm			Mn max.	Si max.	P max. 3)	S max. 3),4)	N max. 5)	C v % max. pro výrobek jmenovité tloušťky v mm			Mn max.	Si max.	P max. 3)	S max. 3),4)	N max. 5)
			≤ 16	>16≤40	>40 2)						≤16	>16≤40	>40 2)					
S235JR	1.0038	FN	0,17	0,17	0,20	1,40	-	0,035	0,035	0,012	0,19	0,19	0,23	1,50	-	0,045	0,045	0,014
S235JO	1.0114	FN	0,17	0,17	0,17	1,40	-	0,030	0,030	0,012	0,19	0,19	0,19	1,50	-	0,040	0,040	0,014
S235J2	1.0117	FF	0,17	0,17	0,17	1,40	-	0,025	0,025	-	0,19	0,19	0,19	1,50	-	0,035	0,035	-
S275JR	1.0044	FN	0,21	0,21	0,22	1,50	-	0,035	0,035	0,012	0,24	0,24	0,25	1,60	-	0,045	0,045	0,014
S275JO	1.0143	FN	0,18	0,18	0,18 6)	1,50	-	0,030	0,030	0,012	0,21	0,21	0,21 6)	1,60	-	0,040	0,040	0,014
S275J2	1.0145	FF	0,18	0,18	0,18 6)	1,50	-	0,025	0,025	-	0,21	0,21	0,21 6)	1,60	-	0,035	0,035	-
S355JR	1.0045	FN	0,24	0,24	0,24	1,60	0,55	0,035	0,035	0,012	0,27	0,27	0,27	1,70	0,60	0,045	0,045	0,014
S355JO	1.0553	FF	0,20 7)	0,20 8)	0,22	1,60	0,55	0,030	0,030	0,012	0,23 7)	0,23 8)	0,24	1,70	0,60	0,040	0,040	0,014
S355J2	1.0577	FF	0,20 7)	0,20 8)	0,22	1,60	0,55	0,025	0,025	-	0,23 7)	0,23 8)	0,24	1,70	0,60	0,035	0,035	-
S355K2	1.0596	FF	0,20 7)	0,20 8)	0,22	1,60	0,55	0,025	0,025	-	0,23 7)	0,23 8)	0,24	1,70	0,60	0,035	0,035	-
S450JO 9)	1.0590	FF	0,20	0,20 8)	0,22	1,70	0,55	0,030	0,030	0,025	0,23	0,23 8)	0,24	1,80	0,60	0,040	0,040	0,027
Chemické složení značek ocelí a jakostních stupňů, u kterých se nestanovuje nárazová práce																		
S185	1.0035	volitelný	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
E295	1.0050	FN	-	-	-	-	-	0,045	0,045	0,012	-	-	-	-	-	0,055	0,055	0,014
E335	1.0060	FN	-	-	-	-	-	0,045	0,045	0,012	-	-	-	-	-	0,055	0,055	0,014
E360	1.0070	FN	-	-	-	-	-	0,045	0,045	0,012	-	-	-	-	-	0,055	0,055	0,014

Pro uvedené oceli platí Cu max. 0,055% (obsah Cu nad 0,45% může způsobit zkřehnutí za červeného žáru při tváření za tepla). Obsah Cu v hotovém výrobku max. 0,60%
Uvedené oceli mohou obsahovat max. 0,05% Nb, max. 0,013% V a max. 0,05% Ti. Pokud jsou dodávány další prvky, musí být uvedeny v atestu.

1) FN neuklidněná ocel není dovolena, FF plně ukladněná ocel obsahuje prvky, které vážou dusík (např. celkový obsah Al je min. 0,020% - obvykle min. Al : N=2 : 1).
2) Pro profily se jmenovitou tloušťkou nad 100 mm se obsah C stanoví po dohodě.
3) Obsah P a S může být o 0,005% vyšší.
4) Maximální obsah S může být po dohodě zvýšen pro zlepšení obrobitelnosti o 0,015% za předpokladu modifikace morfologie sulfidických vměstků. Ocel pak obsahuje minimálně 0,0020% Ca. U ocelí E295, E335 a E360 činí možné zvýšení obsahu S pro zlepšení obrobitelnosti o 0,010% za výše uvedeného předpokladu (min. 0,0020% Ca).
5) Maximální hodnota neplatí, jestliže celkový Al je min. 0,020%, nebo rozpustný Al je min. 0,015%. Též jsou-li přítomny jiné vhodné prvky, které vážou N (nutno uvést v atestu).
6) Pro jmenovitou tloušťku > 150 mm je obsah C maximálně 0,22%.
7) Pro jakostní stupně vhodné pro válcování za studena je obsah C maximálně 0,22%.
8) Pro jmenovité tloušťky > 30 mm je obsah C maximálně 0,22%.
9) Používá se pouze pro dlouhé výrobky.

PŘÍLOHA 2 – Koeficienty k_{eu} a k_{ev} [13]

Materiál	Koeficient	
	k_{eu}	k_{ev}
Ocel	0,1 až 0,13	0,05
Mosaz	0,06 až 0,07	0,04
Slitiny Al	0,09	0,02 až 0,04

PŘÍLOHA 3 – Závislost mezi střížným odporem k a pevností v tahu R_m [13]

Materiál	Tloušťka plechu [mm]			
	do 1	1 až 2	2 až 4	nad 4
Ocel měkká $R_m=250 - 350\text{MPa}$	0,75 - 0,70	0,70 - 0,65	0,65 - 0,55	0,50 - 0,40
Ocel středně tvrdá $R_m=350 - 500\text{MPa}$	0,65 - 0,60	0,60 - 0,55	0,55 - 0,48	0,45 - 0,35
Ocel tvrdá $R_m=500 - 700\text{MPa}$	0,50 - 0,47	0,47 - 0,45	0,44 - 0,38	0,35 - 0,25
Hliník, měď (žíhané)	0,80 - 0,75	0,75 - 0,70	0,70 - 0,60	0,65 - 0,50