



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING
INSTITUTE OF MANUFACTURING TECHNOLOGY

VÝROBA SOUČÁSTI VYSOKORYCHLOSTNÍM STŘÍHÁNÍM

PRODUCTION SINGLE PARTS BY TECHLOGY HIGH - SPEED CUTTING

DIPLOMOVÁ PRÁCE
MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

BC. PETR VÁLKA

VEDOUcí PRÁCE
SUPERVISOR

ING. LADISLAV ŽÁK, PH.D

BRNO 2011

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Ústav strojírenské technologie
Akademický rok: 2010/2011

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

student(ka): Bc. Petr Válka

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

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

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

Výroba součásti vysokorychlostním stříháním

v anglickém jazyce:

Production single parts by techlogy high - speed cutting

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Vypracování technologického postupu a konstrukčního řešení nástroje pro součást "Kontakt".

Cíle diplomové práce:

1. Zhodnocení technologičnosti výroby součásti.
2. Literární studie dané problematiky
3. Návrh technologie výroby součásti
4. Konstrukční řešení tvářecího nástroje
5. Ekonomické hodnocení

Seznam odborné literatury:

FREMUNT, Přemysl, PODRÁBSKÝ, Tomáš. Konstrukční oceli. Brno : CERM, 1966. 267 s. ISBN 80-85867-95-8 .

KOTOUČ, Jiří, et al. Tvářecí nástroje. ČVUT. 1. vyd. Praha : ČVUT, 1993. 350 s. ISBN 80-01-01003-1.

KŘÍŽ, Václav, VÁVRA, Pavel. Strojírenská příručka. 1. vyd. Praha : Scientia, 1998. 255. ISBN 80-7183-054-2 (váz.)

BOLJANOVIC, Vukota. Sheet metal forming processes and die design . New York : Industrial Press,, 2004. 219 s. ISBN 0-8311-3182-9.

Vedoucí diplomové práce: Ing. Ladislav Žák, Ph.D.

Termín odevzdání diplomové práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2010/2011.

V Brně, dne 22.11.2010

L.S.

prof. Ing. Miroslav Píška, CSc.
Ředitel ústavu

prof. RNDr. Miroslav Doupovec, CSc.
Děkan fakulty

ABSTRAKT

VÁLKA Petr: Výroba součástí vysokorychlostním stříháním.

Diplomová práce zpracovává návrh technologie výroby kontaktu z bronzového pásu CuSn4 pomocí vysokorychlostního stříhání. První část teoretického rozboru je zaměřena na problematiku technologie stříhání. Druhá část rozboru je zaměřena na rozbor technologie vysokorychlostního stříhání. Díky těmto rozborům byl následně zkonstruován modulový postupový nástroj. Nástroj se upíná ke stroji přes rychloupínací systém. Stroj BSTA 250 od společnosti Bruderer byl zvolen pomocí technologických výpočtů. V práci jsou uvedeny potřebné výpočty, vybrané části výkresové dokumentace a technicko-ekonomické zhodnocení navržené technologie.

Klíčová slova: stříhání, vysokorychlostní stříhání, Bruderer, nástrojové oceli.

ABSTRACT

VÁLKA Petr: Production of single parts by using high-speed cutting technology

This thesis deals with technology design of stamping production made of CuSn4 bronze band by using high-speed cutting. First part of the thesis is focused on description of cutting technology, second part analyses high-speed cutting technology. Thanks to both analysis a module sequential die was constructed. The die is connected to the BSTA machine via quick-clamp system. This BSTA 250 machine produced by Bruderer company was chosen based on technology calculations. All necessary calculations, selected parts of drawing documentation as well as technical-economical evaluation of the technology design are mentioned in the thesis.

Key words: cutting, high-speed cutting, Bruderer, tool steel.

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

VÁLKA, Petr. *Výroba součástí vysokorychlostním stříháním*. Brno, 2011. 69 s. 7 příloh, CD.FSI VUT v Brně, Ústav strojírenské technologie, Odbor technologie tváření kovů a plastů. Vedoucí práce Ing. Ladislav Žák, Ph.D.

ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

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

V Brně dne 20.5.2011

.....
Podpis

PODĚKOVÁNÍ

Tímto děkuji panu Ing. Ladislavu Žákovi za cenné připomínky a rady týkající se zpracování diplomové práce.

Obsah

Zadání

Abstrakt

Čestné prohlášení

Poděkování

1. Úvod.....	10
2. Rozbor technologie stříhání [1], [3], [4], [5], [12], [14]	11
2.1 Proces stříhání [1], [3], [4], [5], [12], [14].....	11
2.2 Střížná vůle [1], [3], [4], [5], [12], [14]	13
2.2.1 Vliv střížné vůle na kvalitu střížné plochy	13
2.3 Střížná síla a střížná práce.....	16
2.3.1 Rozbor střížné síly [1], [3], [4], [5], [12], [14]	16
2.3.2 Výpočet těžiště střížné síly	17
2.3.3 Střížná práce [6], [14]	18
2.4 Základní metody stříhání	20
2.4.1 Stříhání skloněnými noži [12]	20
2.4.2 Stříhání kotoučovými noži [12]	21
2.4.3 Stříhání profilů a tyčí pomocí nožů [12]	22
2.4.4 Stříhání rovnoběžnými noži [12]	22
2.5 Střížné nástroje [8], [12]	22
2.5.1 Rozdělení nástrojů určených pro stříhání [8], [12]	23
2.5.2 Konstrukce střížníku ve střížném nástroji	25
2.5.3 Konstrukce střížnice ve střížném nástroji	27
2.5.4 Určení rozměrů střížníků a střížnic [11], [14]	27
2.5.5 Přesnost a jakost povrchu výstřížků a vystříhovaných otvorů při stříhání [3], [14]	28
2.5.6 Materiály vhodné pro střížné nástroje	29
2.6 Tvářecí stroje [1], [14]	30
2.6.1 Lisy [1], [13], [14], [15]	30
2.6.2 Mechanické lisy [1], [13], [14], [15]	31
2.6.3 Hydraulické lisy [13], [15]	32
2.7 Technologičnost konstrukce u stříhání [1], [3], [12]	32
2.7.1 Spotřeba materiálu u stříhání [1], [3], [8], [12]	32
3. Rozbor technologie vysokorychlostního stříhání [2], [18]	36
3.1 Technologie vysokorychlostního stříhání [2]	36
3.2 Střížná síla a práce	44
3.2.1 Střížná síla.....	44
3.2.2 Střížná práce.....	45
3.3 Střížné nástroje.....	45
3.3.1 Konstrukce střížníku ve střížném nástroji	46
3.3.2 Konstrukce střížnice ve střížném nástroji.....	47

3.3.3	Určení rozměrů střížníků a střížnic.....	47
3.3.4	Materiály vhodné pro vysokorychlostní střížné nástroje.....	47
3.4	Tvářecí stroje a příslušenství [2], [9], [10], [16].....	48
3.4.1	Tvářecí stroje	48
3.4.2	Příslušenství lisů	51
4.	Návrh technologie výroby součástí.....	53
4.1	Rozbor součástí	53
4.1.1	Materiál součástí	53
4.2	Technologické výpočty	53
4.2.1	Nástřihový plán.....	54
4.2.2	Výpočet střížné síly	56
4.2.3	Výpočet střížné práce.....	57
4.2.4	Určení střížné vůle	57
4.3	Výběr střížného stroje	58
4.4	Návrh konstrukce střížného nástroje.....	60
5.	Ekonomické zhodnocení	62
5.1	Náklady na materiál	62
5.2	Náklady na mzdy	63
5.3	Náklady na nástroj	65
5.4	Náklady na spotřebovanou energii	66
5.5	Celkové náklady na mzdy a režii	67
5.6	Cena součástí.....	67
5.7	Určení doby, kdy se zaplatí nový nástroj.....	68
6.	Závěr	69
Seznam použitých zdrojů		
Seznam použitých zkratk a symbolů		
Seznam příloh		

1. Úvod

Strojírenská technologie se skládá z více oborů, např. z technologie obrábění, technologie tváření kovů a zpracování plastů, slévárenské technologie a dalších technologií. Tyto technologie využíváme pro výrobu hotových kusů nebo polotovarů, které se následně používají ke smontování výrobních celků. Strojírenská technologie je nepochybně spjata se znalostí materiálů, které zpracováváme; zabývá se však i těmi, které používáme ke zpracování polotovarů.

V běžné strojírenské praxi se setkáváme s požadavky na co nejvyšší výkonnost při co nejnižších nákladech. Této jednoduché rovnici lze dosáhnout mnoha způsoby, například tvářením kovů, produktivním třískovým obráběním nebo vysokorychlostním plošným tvářením. Tyto technologie mají výhodu ve vysoké produkci výrobků, jejich nevýhodou jsou však vysoké pořizovací náklady jak na stroje, tak na nástroje.

Má diplomová práce se zabývá vysokorychlostním plošným tvářením; jde o progresivní část technologie stříhání, oproti stávajícím technologiím vysoce produktivní. Je hojně využívána v automobilovém průmyslu. Běžný rozsah rychlosti zdvihů se pohybuje od 100 do 2000 úderů za minutu, vše záleží na typu zvoleného stroje, konstrukci nástroje a složitosti výlisku. Za rychlost se vždy musí něčím zaplatit, jinými slovy i tato metoda má své stinné stránky. Drahé stroje i nástroje a samozřejmě přesnost, proto není vhodná pro kusovou a malosériovou výrobu.

2. Rozbor technologie stříhání [1], [3], [4], [5], [12], [14]

Technologii stříhání můžeme dělit dle různých hledisek (kritérií), mj. například na objemové stříhání (trubek, profilů) a plošné stříhání (plechu, pásů). Technologii stříhání rozumíme operaci dělení materiálu, která je jako jediná z operací tváření kovů zakončena porušením (lomem) v ohnisku deformace. Při stříhání působí na materiál dvojice vnějších sil, první síla je tvořena dvěma břity nožů, popřípadě hranami střížníku a střížnice, pohybujícími se proti sobě, druhou sílu tvoří přidržovač. Plastická deformace je průvodním, avšak nechtěným jevem. Pohybem dvou břitů, střížníku a střížnice, se proti sobě začne vytvářet křivka stříhu, podle níž se začne oddělovat materiál postupně, nebo ihned. Silové působení střížníku a střížnice vyvolává ve střížné rovině potřebné smykové (stříhové) napětí nutné ke vzniku lomových trhlin.

Dle tvaru střížné hrany dělíme stříhání na:

- otevřené (rozstříhování),
- uzavřené (vystříhování, děrování).

Dle konstrukce nožů dělíme stříhání na:

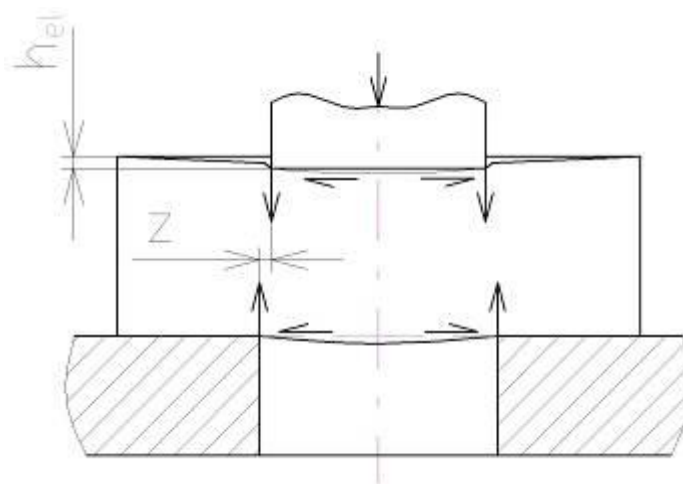
- stříhání skloněnými noži,
- stříhání kotoučovými noži,
- stříhání noži na profily a tyče,
- stříhání rovnoběžnými noži.

Pomocí technologie stříhání získáváme výrobky, které se nazývají výlisky. Ty mohou být použity buď jako polotovary pro další zpracování (tažení nebo ohýbání), nebo hotové výrobky, připravené k prodeji nebo montáži. Abychom dosáhly kvalitního výsledku, je potřeba dodržet kvalitní střížné plochy (jak na střížníku, tak na střížnici), přesnou střížnou vůli, dobré seřízení a ustavení nástroje na lisu.

2.1 Proces stříhání [1], [3], [4], [5], [12], [14]

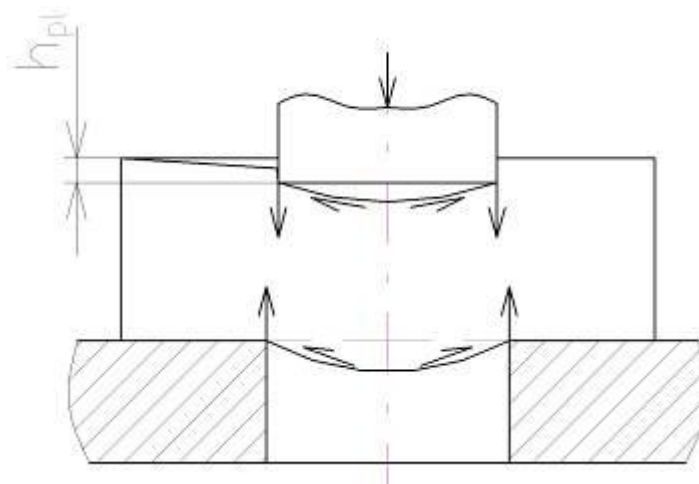
Průběh operace stříhání v nástrojích určených ke stříhání lze rozdělit do tří základních fází. V průběhu procesu stříhání dochází ke vzniku elastické deformace, která se dále mění na plastickou. Na konec se oddělí výlisek. Jednotlivé fáze budou dále rozebrány podrobněji. V rozboru je uveden příklad stříhání plechu rovnoběžnými střížnými hranami ve střížném nástroji s uzavřenou křivkou stříhu.

Stříhání začíná dosednutím střížníku na materiál. V první fázi (obr. 2.1) dochází k vniknutí do materiálu, tzv. pružné deformaci. Napětí v materiálu je přitom menší než napětí na mezí pružnosti. Hloubka vniku střížníku do stříhaného materiálu bývá 5-8 % jeho tloušťky, to závisí zejména na mechanických vlastnostech stříhaného materiálu. Střížná síla působící v ploše mezi obvodem střížnice a obvodem střížníku vytváří v rovinách kolmých na rovinu stříhu momentové dvojice a ty namáhají materiál na ohyb. Deformace zaobljuje materiál na straně střížníku i střížnice.



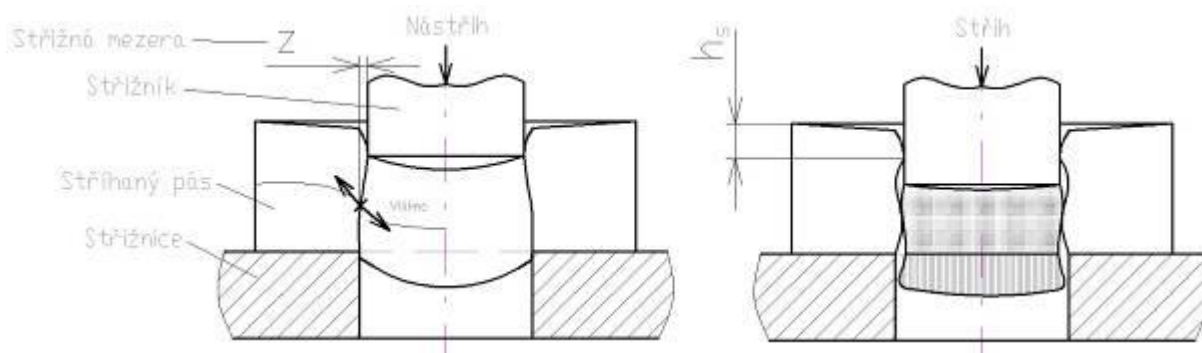
Obr. 2.1 První fáze stříhu materiálu

Ve druhé fázi (obr. 2.2) je vidět, jak narůstající napětí poškozuje strukturu horní vrstvy materiálu, čímž dochází ke vzniku trvalých deformací. Hloubka vniku střížníku do materiálu je opět závislá na mechanických vlastnostech (10-25 % tloušťky plechu).



Obr. 2.2 Druhá fáze stříhu materiálu

Ve třetí fázi (obr. 2.3) je materiál namáhán nad svou mez pevnosti ve smyku. Hloubka vniku střížníku je 10-60 % tloušťky plechu. Jak bylo uvedeno výše, hloubka vniku je závislá na mechanických vlastnostech materiálu.



Obr. 2.3 Třetí fáze stříhu materiálu

Na hranách střížníku a střížnice začínají nejprve vznikat mikro a posléze makro trhliny. Tvorba trhlin je podporována napjatostí ve stříhaných vláknech stříhaného materiálu. Vzniklé trhliny se velmi rychle zvětšují a prodlužují, až dojde k oddělení materiálu. Rychlost vzniku a postupu trhlin opět závisí na mechanických vlastnostech materiálu, na průběhu stříhu a na velikosti střížné vůle. Proces oddělení křehkého a tvrdého materiálu je téměř okamžitý. U houževnatých a měkkých materiálů dochází ke vzniku nástřihu (trhlinek) pomaleji.

Stříhaná plocha se ve většině případů oddělí dřív, než střížník urazí celou dráhu stříhu (než projde celou tloušťkou materiálu). Proto jsou na okrajích střížných ploch otřepy a celá plocha má po stříhu jistou drsnost (je různá po celé stříhané tloušťce). Místa, kde došlo k prvnímu vzniku mikrotrhlin, jsou drsnější než místa, která se od materiálu odtrhla. Na odstřižené ploše rozeznáváme různá deformační pásma.

2.2 Střížná vůle [1], [3], [4], [5], [12], [14]

Na vzhled stříhané plochy vzniklého výlisku má, spolu s druhem nástroje, geometrií nástroje a rychlostí stříhání, mechanickými vlastnostmi tvářeného materiálu, nemalý vliv také střížná vůle (v). Lze ji charakterizovat jako rozdíl mezi menším rozměrem (průměrem) střížníku a jemu náležícím větším rozměrem (dírou) ve střížnici. Velikost střížné vůle je v každém místě křivky stříhu stejná. Střížná mezera (z) je rovna polovině střížné vůle, platí tedy:

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

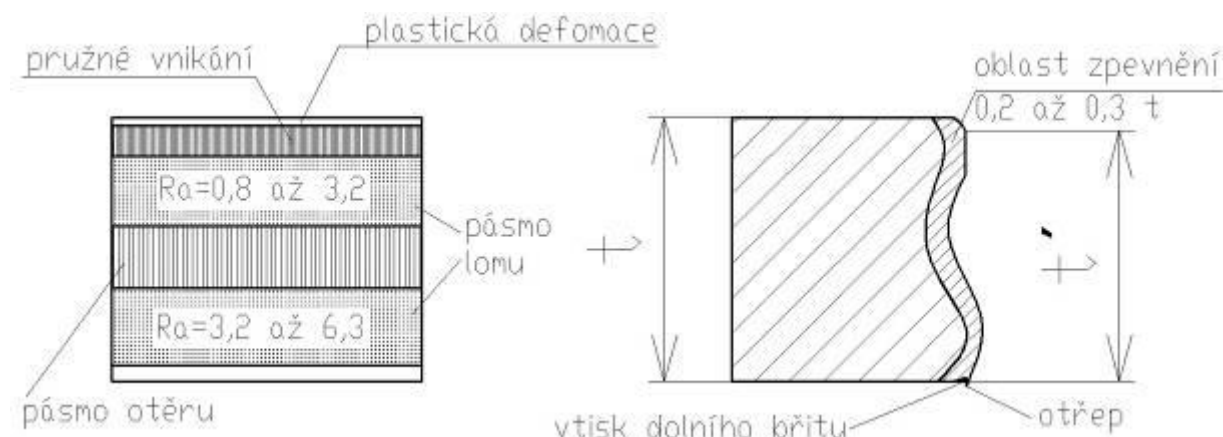
kde

v – střížná vůle [mm],

z – střížná mezera [mm].

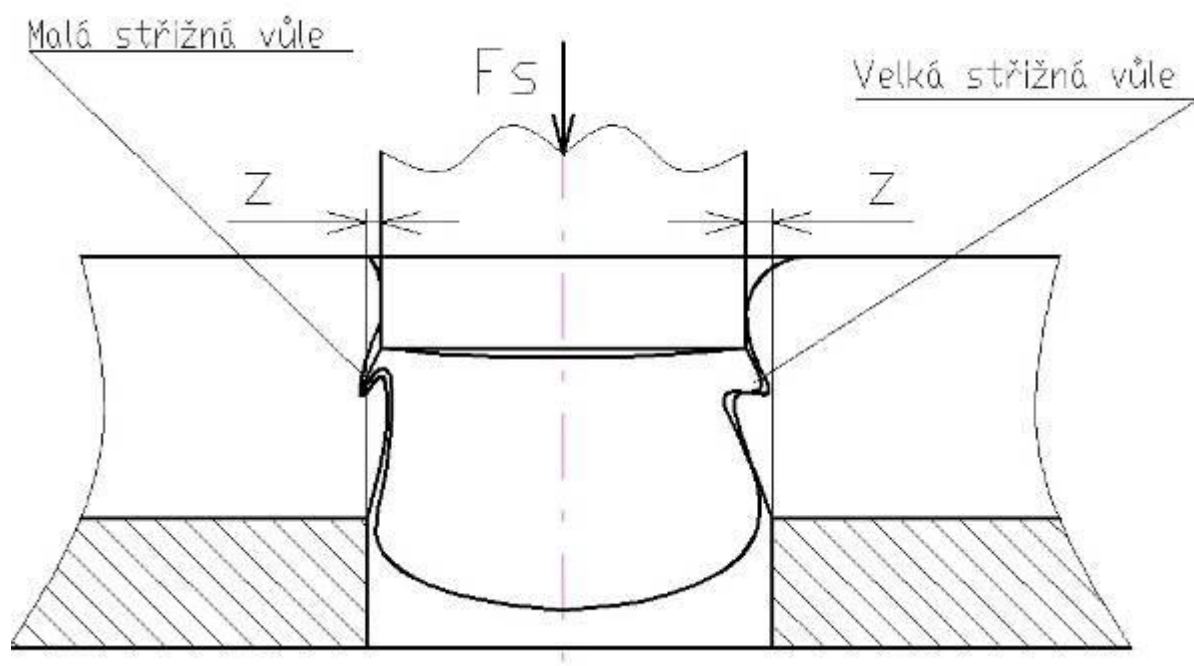
2.2.1 Vliv střížné vůle na kvalitu střížné plochy

Správná volba střížné vůle potažmo střížné mezery zásadně ovlivňuje kvalitu stříhané plochy. Obr. 2.4 ukazuje stříhanou plochu v případě, kdy byla zvolena správná (normální) střížná vůle. Jak je vidět, obrázek ukazuje jednotlivá pásma, která vznikají na stříhané ploše. Také je patrné, že při dodržení střížné vůle vzniká střížná plocha bez vad, trhlin a otřepů.



Obr. 2.4 Vzhled střížné plochy při správné střížné vůli

Pokud je střížná vůle příliš malá nebo příliš velká, vznikající trhliny se po vtlačování hran střížníku a střížnice nesetkají a vytvářejí nerovný povrch na stříhané ploše, což vede k zásadnímu zhoršení kvality stříhané plochy. Při malých střížných vůlích vznikají buď přestřížené, nebo ohlazené prstence. U velké střížné vůle způsobují ještě větší ohyb výlisku. Obě tyto varianty mají za následek rozšíření pásma otěru na větší část střížné plochy, viz obr. 2.5 a 2.6.



Obr. 2.5 Stříhání při malé a velké střížné vůli



Obr. 2.6 Ukázka vtažení materiálu při velké střížné vůli

Velikost střížné vůle závisí na vlastnostech stříhaného materiálu, na tloušťce materiálu, na tvaru stříhaných ploch a na rychlosti stříhání. Obvykle ji stanovujeme v procentech tloušťky stříhaného materiálu, jak ukazuje tabulka 2.1, příp. ji lze určit výpočtem (2.2) pro plechy tlusté do 3 mm, příp. dle vzorce (2.3) pro plechy tlusté nad 3 mm.

Tabulka 2.1

	Střížná vůle v (%)	
	Do 3 mm	3-6 mm
Ocel měkká	5	7-8
Ocel středně tvrdá	6	6-8
Ocel tvrdá	7-9	7-10
Hliník	4-7	5-9
Dural	7-8	7-10
Měď měkká	4-5	5-6
Měď polotvrdá a tvrdá	6-7	6-7
Mosaz měkká	4-5	4-6
Mosaz polotvrdá a tvrdá	5-6	5-7
Papír, lepenka	2-3	3

Určení střížné vůle dle výpočtů

Výpočet střížné vůle pro plechy do 3 mm:

$$v = 2 \cdot z = 2 \cdot 0,32 \cdot c \cdot t \cdot \sqrt{\tau_s} \quad [\text{mm}] \quad (2.2)$$

Výpočet střížné vůle pro plechy nad 3 mm:

$$v = 2 \cdot z = 2 \cdot 0,32 \cdot (1,5 \cdot c \cdot t - 0,15) \cdot \sqrt{\tau_s} \quad [\text{mm}] \quad (2.3)$$

kde

v – střížná vůle [mm]

t – tloušťka stříhaného materiálu [mm]

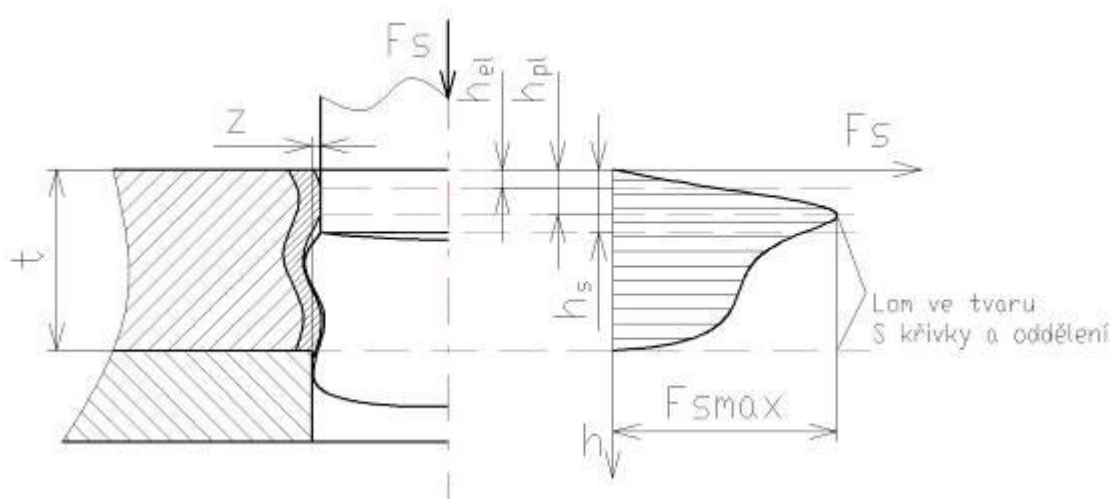
c – (0,005 – 0,025) – součinitel závislý na stupni stříhu [-]

τ_s – mez pevnosti materiálu ve stříhu [MPa]

2.3 Střížná síla a střížná práce

2.3.1 Rozbor střížné síly [1], [3], [4], [5], [12], [14]

Velikost střížné síly není v průběhu stříhání stejná. Na obr. 2.7 je vidět průběh střížné síly při stříhání. Z tohoto obrázku je zřejmé, že střížná síla velice rychle narůstá z nulové hodnoty až po své maximum a pak začne klesat. V momentě, kdy začnou vznikat první trhlinky ve stříhaném plechu, začne střížná síla klesat ještě rychleji. Klesání velikosti střížné síly je v jistých fázích stříhu bržděna třecími odpory mezi střížnicí, střížníkem střížného nástroje a stříhaným materiálem. Po oddělení stříhaného materiálu klesá střížná síla na nulu. Obecný vztah pro výpočet maximální střížné síly je:



Obr. 2.7 Průběh střížného procesu a střížné síly

$$F_s = n \cdot l \cdot t \cdot \tau_s \text{ [N]} \quad (2.4)$$

kde

n – 1 až 1,3 koeficient opotřebení ostří

L – délka stříhané křivky (obvod střížných hran) [mm]

t – tloušťka materiálu [mm]

τ_s – napětí ve stříhu (střížný odpor) [MPa]

Výpočet napětí ve stříhu τ_s

$$\tau_s = 0,8 \cdot R_m \text{ [MPa]} \quad (2.5)$$

kde

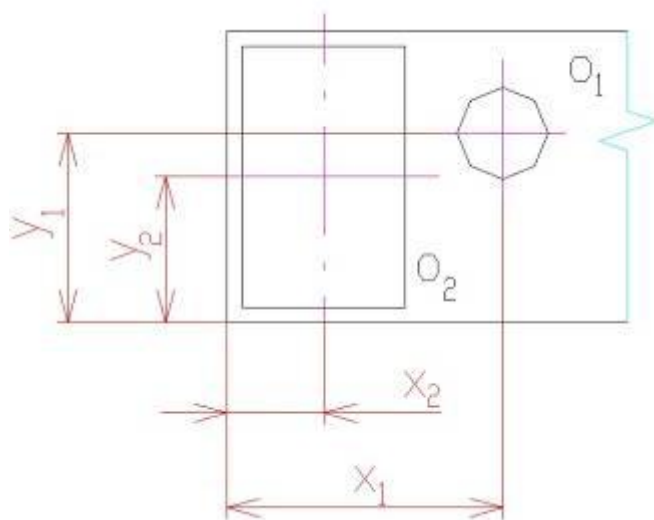
R_m – mez pevnosti v tahu [MPa]

Velikost střížné síly ovlivňuje mnoho skutečností: střížná vůle, otupení střížných hran na střížníku a střížnici nebo vlastnosti materiálu.

2.3.2 Výpočet těžiště střížné síly

Přesná poloha těžiště je velice důležitá. Používá se v konstrukci nástroje pro umístění stopky nástroje, za kterou následně celý nástroj upínáme do stroje. Pokud by se stopka umístila mimo osu nástroje či mimo osu stroje, mohlo by dojít ke vzniku klopných momentů. To by se negativně projevilo na kvalitě výstřižků a také na přílišném opotřebení střížných hran a vodicích sloupků. Těžiště lze zjistit dvojím způsobem, a to buď výpočtem, nebo grafickou metodou. Pro znázornění si uvedeme oba tyto způsoby.

Metoda pomocí výpočtu je přesnější, hlavně u složitějších výlisků. Níže je na ukázkou předveden příklad výpočtu; je potřeba vypočítat rozměry (x_t, y_t), které vypočteme dle vztahů od autora [8] (2.6) a (2.7). Výpočet je založen rovnováze sil, které působí v osách stříhů. Jako střížná síla je brán jen obvod, ostatní části vzorce se vykrátí.



Obr. 2.8 Náčrtek stříhaného plechu

Výpočet:

$$x_t = \frac{\sum x_i \cdot o_i}{\sum o_i} = \frac{x_1 \cdot o_1 + x_2 \cdot o_2}{o_1 + o_2} [\text{mm}] \quad (2.6)$$

$$y_t = \frac{\sum y_i \cdot o_i}{\sum o_i} = \frac{y_1 \cdot o_1 + y_2 \cdot o_2}{o_1 + o_2} [\text{mm}] \quad (2.7)$$

kde

x_t – vzdálenost těžiště stříhu v ose x od počátku

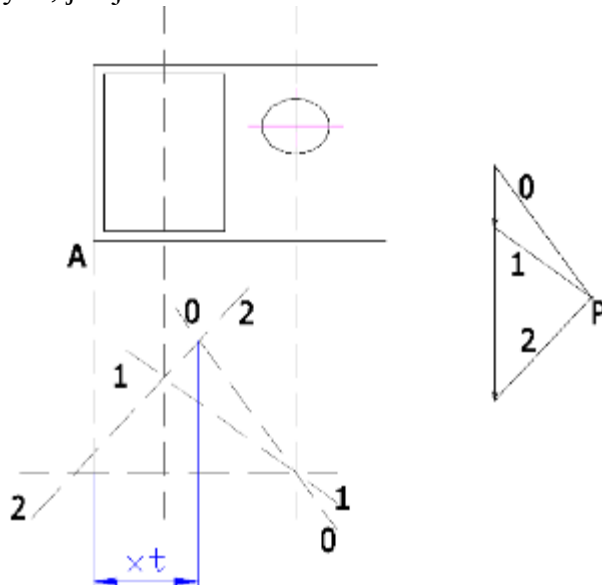
y_t – vzdálenost těžiště stříhu v ose y od počátku

x_i – vzdálenost těžiště objektu v ose x od počátku

y_i – vzdálenost těžiště objektu v ose y od počátku

o_i – obvod stříhaného objektu v daných střížích

Grafická metoda výpočtu je také založena na rovnováze sil. Nejprve je nutné zvolit bod P a umístit ho do prostoru. Vedle něj namalujeme přímkou, kterou rozdělíme na n počet částí, dle velikostí jejich obvodů, a očíslováme body na přímce, od nuly do n. Pak si vyneseme těžnice objektů a zvolíme vodorovnou přímkou, která protíná těžnice. Následně vyneseme rovnoběžku s přímkou 0-P z bodu, který nám vytyčuje těžnice z objektu 1 a vodorovná přímkou. Pak vyneseme další rovnoběžku, a to s přímkou s 1-P také z bodu, který nám vytyčuje těžnice z objektu 1 a vodorovná přímkou. Pak uděláme další rovnoběžku, tentokrát s přímkou 2-P, a tu vložíme do průsečíku přímkou 1 a těžnice objektu 2. Tam, kde se protne přímkou 2 s přímkou 0, získáme bod těžiště osy xt, jak je vidět na obr. 2.10



Obr. 2.9 Grafická metoda výpočtu těžiště

2.3.3 Střížná práce [6], [14]

Výpočet střížné práce potřebný k vystřížení výlisku se dá vypočítat jako plocha pod křivkou střížné síly vynásobená součinitelem plnosti diagramu. Vzorec pro výpočet střížné práce [3]:

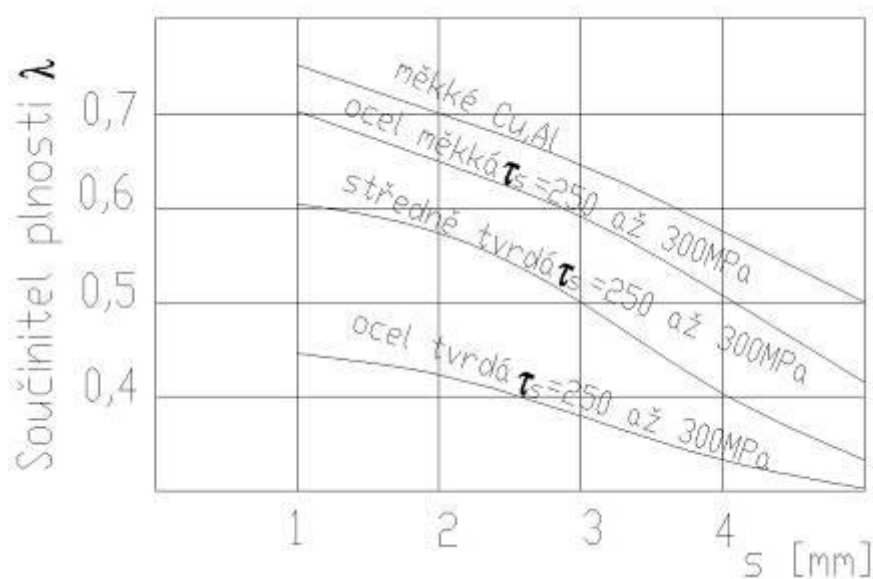
$$A = \lambda \cdot F_s \cdot t [\text{J}] \quad (2.8)$$

kde

λ – součinitel plnosti diagramu [-]

F_s – střížná síla [N]

t – tloušťka stříhaného materiálu [mm]



Obr. 2.10 Stanovení součinitele plnosti [5]

Další vzorec na výpočet střížné práce [1]

$$A = \frac{F_s \cdot \kappa \cdot t}{1000} [\text{J}] \quad (2.9)$$

kde

κ – koeficient vtlačení [-], viz tabulka 2.2

F_s – střížná síla [N]

t – tloušťka stříhaného materiálu [mm]

Tabulka 2.2 Hodnoty koeficientu vtlačení κ [-]

Materiál	Tloušťka materiálu [mm]			
	do 1	1 až 2	2 až 4	nad 4
Al, Cu v žíhaném stavu	0,75 až 0,70	0,70 až 0,65	0,65 až 0,55	0,50 až 0,40
Ocel o pevnosti 250 až 350 MPa	0,70 až 0,65	0,65 až 0,60	0,60 až 0,50	0,45 až 0,35
Ocel o pevnosti 350 až 500 MPa	0,60 až 0,55	0,55 až 0,50	0,50 až 0,42	0,40 až 0,30
Ocel o pevnosti 500 až 700 MPa	0,45 až 0,40	0,40 až 0,35	0,35 až 0,30	0,30 až 0,15

2.4 Základní metody stříhání

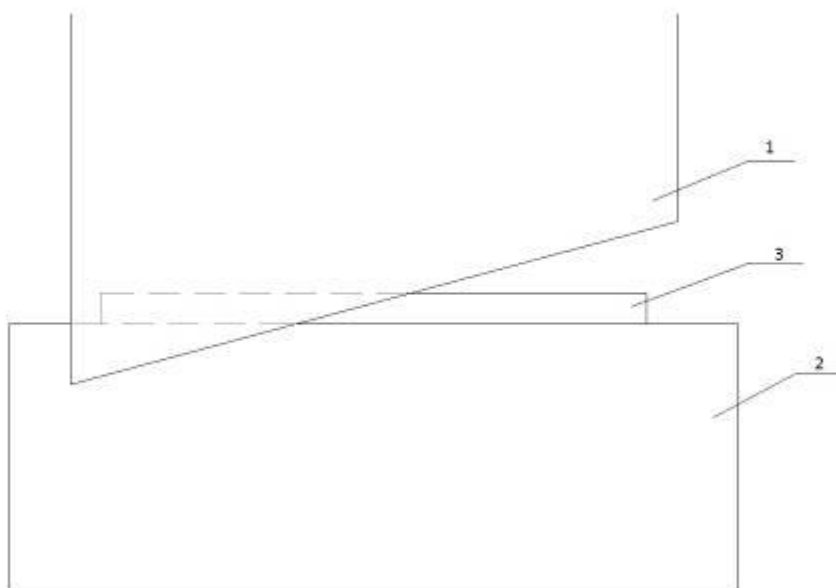
Metody stříhání lze rozdělit dle konstrukce střížného nástroje a geometrie střížných ploch na:

- stříhání skloněnými noži,
- stříhání kotoučovými noži,
- stříhání noži na profily a tyče,
- stříhání rovnoběžnými noži.

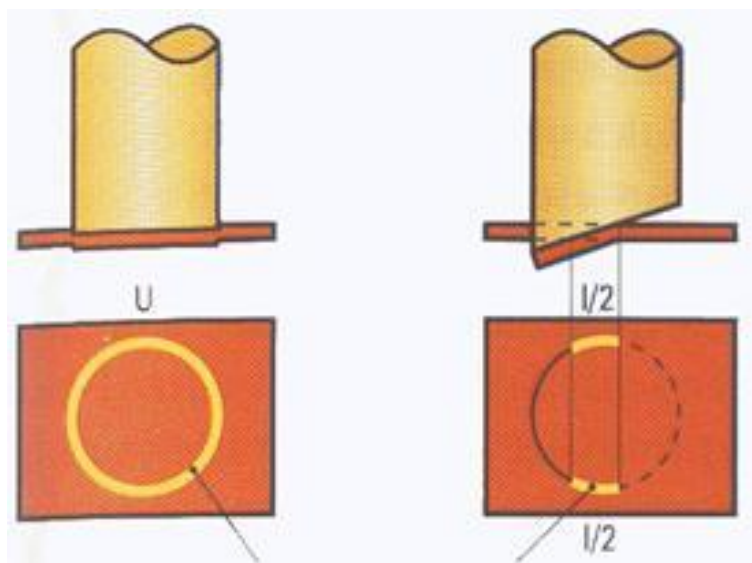
Níže jsou popsány jednotlivé metody.

2.4.1 Stříhání skloněnými noži [12]

Stříhání skloněnými noži má výhodu v tom, že se celková potřebná střížná síla zmenší oproti stříhání rovnými noži, protože se materiál stříhá postupně. Velikost střížné síly ovlivňuje délka střížné hrany a tloušťka stříhaného materiálu – plochy trojúhelníka, jak je vidět na obr. 2.11.



Obr. 2.11 Stříhání šikmým nožem [7]
1 – horní nůž, 2 – spodní nůž, 3 – stříhaný materiál



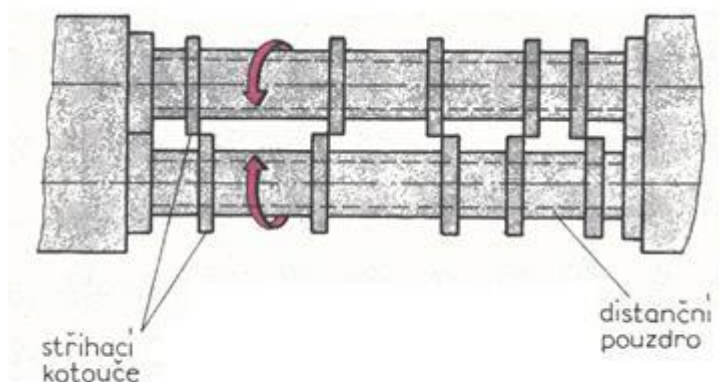
Obr. 2.12 Délka stříhané hrany u rovných a šikmých nožů

Zkosení můžeme použít jak na střížníku, tak na střížnici; díky tomuto zkosení se sníží i střížná práce. Tento typ stříhání je výhodný pro děrování nebo pro jednoduché tvary, moc se nehodí pro složitě tvarované výlisky. Používá se v případě, kdy potřebujeme snížit střížnou sílu. Tvary zkosení střížníku a střížnice se musí přizpůsobit tak, aby výlisek nebyl deformovaný.

2.4.2 Stříhání kotoučovými noži [12]

Kotoučovými noži stříháme dlouhé podélné pásy. Je to střížný nástroj s rotujícími noži. S použitím kotoučových nožů se prodlužuje celkový čas stříhu, ale snižují se rázy při stříhání.

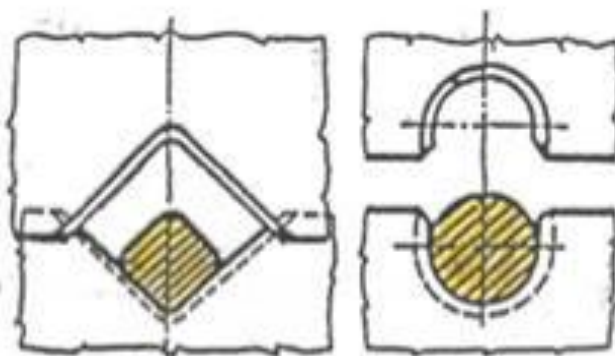
Jednokotoučové nástroje slouží ke stříhání velkých tabulí plechu, zatímco u ostatních metod stříhání kotoučovými noži jsou použity vícekotoučové nástroje. Na rovné stříhání se používají nástroje s co možná největšími kotouči, kdežto ke stříhání zakřivených ploch je potřeba použít nástroje s co možná nejmenšími kotouči. Vše je názorně vidět na obrázku 2.13.



Obr. 2.13 Kotoučové nože

2.4.3 Stříhání profilů a tyčí pomocí nožů [12]

U stříhání profilů se nemění příčný tvar funkčních ploch, ale mění se podélný tvar funkčních ploch dle účelu stříhu. To vše kvůli dodržení podobné (stejně) stříhané tloušťky v každém okamžiku procesu. Obr. 2.14 ukazuje příklad tvaru nástroje pro stříhání čtvercových a kruhových profilů.



Obr. 2.14 Ukázka nástrojů pro stříhání tyčí

2.4.4 Stříhání rovnoběžnými noži [12]

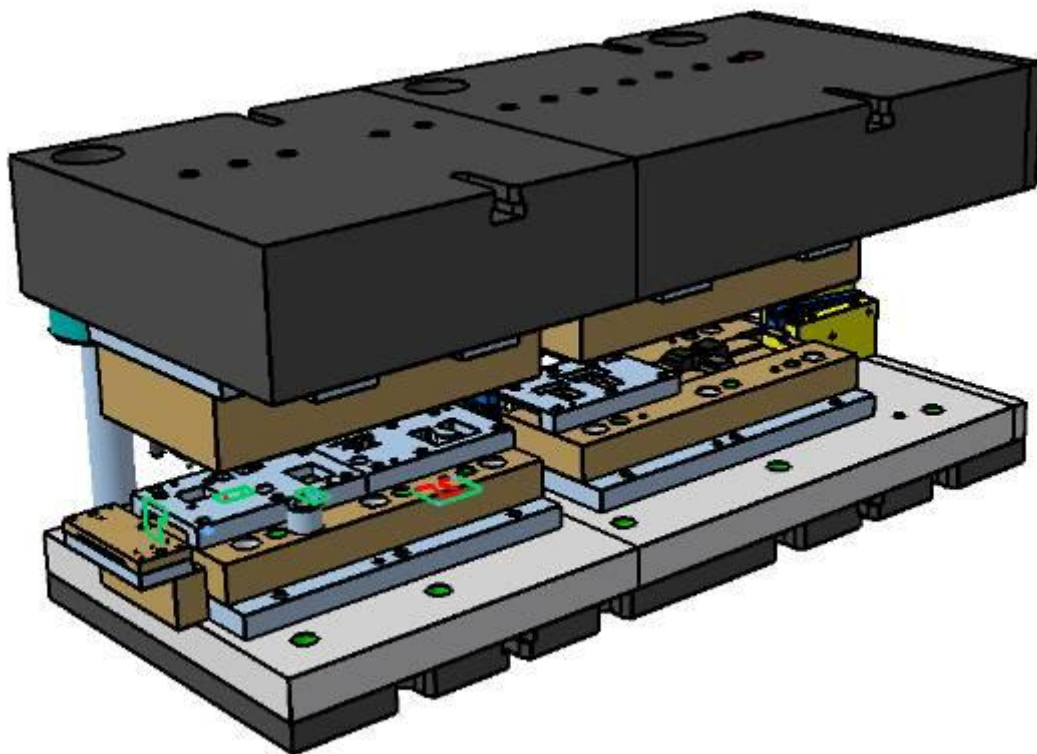
Při tomto stříhání se využívá nástroj složený ze střižníku a střižnice. Jak bylo napsáno výše, používá se u tohoto nástroje střižné vůle, respektive střižné mezery. Střižná vůle a mezera ochraňují nástroj před častými kolizemi hran střižníků a střižnic.



Obr. 2.15 Princip stříhání rovnoběžnými noži

2.5 Střižné nástroje [8], [12]

Nástroje pro stříhání (stříhadla) jsou složeny ze dvou částí. První část, horní pohyblivá, je střižník. Druhá, spodní pevná, je střižnice. Stříhadla ovlivňují koncovou cenu výlisku, proto je u stříhadel kladen velký důraz na správnou konstrukci, která následně ovlivňuje cenu celého nástroje. Na obr. 2.16 je ukázka postupového nástroje s vyměnitelnými moduly.



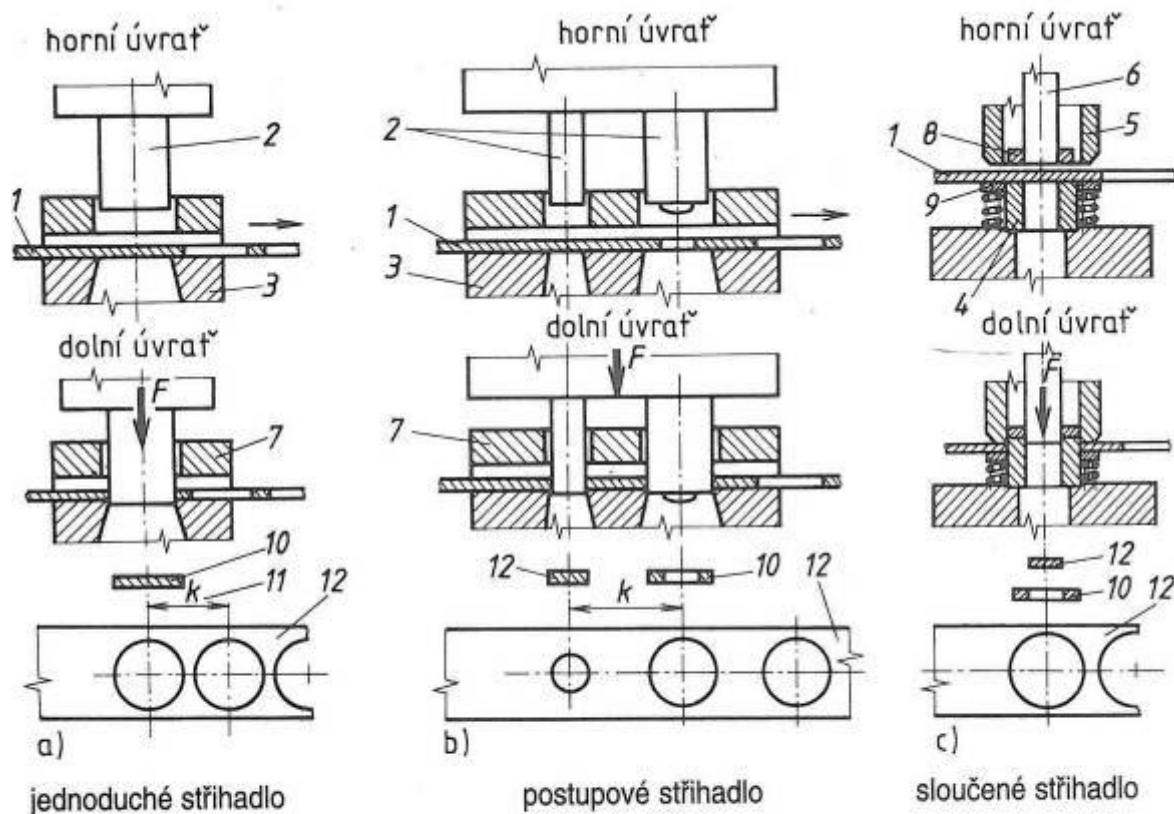
Obr. 2.16 Postupový nástroj na lisování plechů

Pokud se rozhodneme vyrábět výrobek pomocí střížného nástroje, je nutné pamatovat na to, aby se výroba celého nástroje ekonomicky vyplatila. Dále je nutné pamatovat na co nejlepší využití stříhaného materiálu a také na to, aby byl nástroj umísťitelný na lis, který je už ve výrobním závodu, aby se nemusel kupovat jiný typ stroje, který by celou výrobu velmi prodražil.

2.5.1 Rozdělení nástrojů určených pro stříhání [8], [12]

Stříhadla rozdělujeme na čtyři hlavní skupiny, jež se od sebe liší počtem operací, které dané stříhadlo zvládá.

- Jednoduchá stříhadla – používají se pro vystřihování jednoduchých výstřižků z plechu. Polohu zajišťujeme pevnými koncovými dorazy. Viz obr. 2.17.
- Postupová stříhadla – používají se pro vystřihování složitějších výstřižků z plechu. Výlisek se vystřihuje na několik kroků, z toho první je vždy děrování pro hledáček, pak následují další stříhy, dokud není výlisek celý hotový. Výlisek může být buď sypaný, nebo navíjený – viz obr. 2.17.
- Sloučená stříhadla – používají se pro vystřihování jednoduchých výstřižků z plechu. Na jeden zdvih stroje je výstřižek děrován a zároveň je vystřihován z pásu hotový výlisek – viz obr. 2.17.
- Sdružená stříhadla – používá se pro složitější výlisky, které nejsou jen stříhány, ale třeba i ohýbány. Tyto nástroje mají povětšinou střížnou část oddělenou od části, kde se ohýbá. Je to kvůli tomu, aby se kvůli opravě nemusel rozdělovat celý nástroj, kdyby se něco stalo jen s jednou částí.

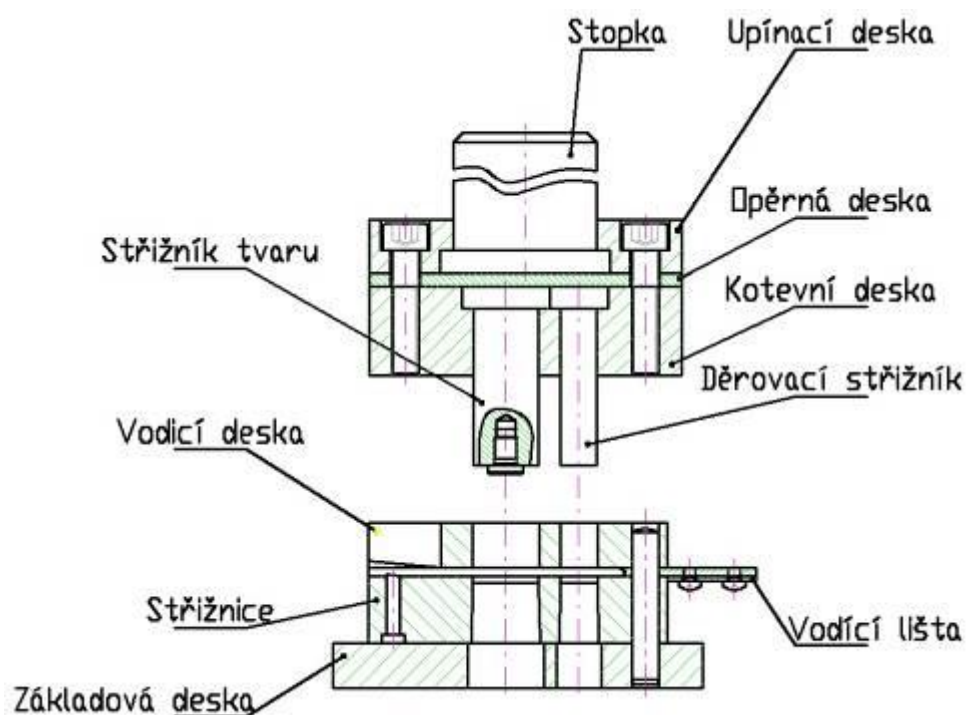


1 – materiál, 2 – střížník, 3 – střížnice, 4 – střížník pro obrys a střížnice pro díru, 5 – střížnice pro obrys, 6 – střížník pro díru, 7 – vodítko (stírač), 8 – vyhazovač, 9 – stírač, 10 – výstřižek, 11 – krok, 12 – odpad

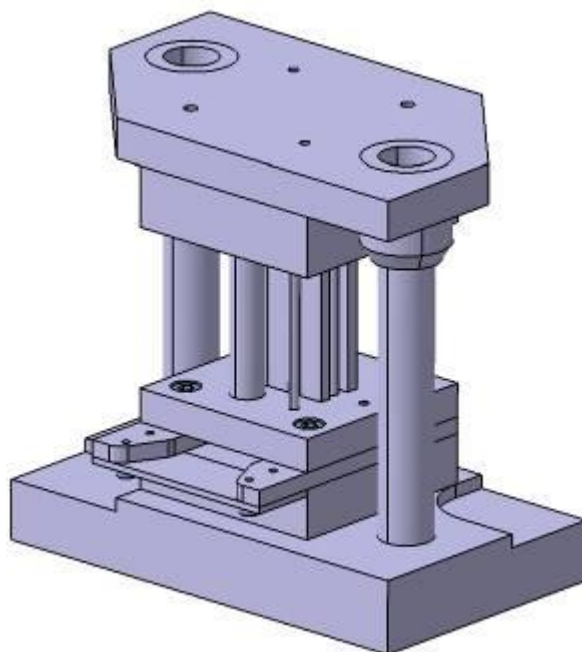
Obr. 2.17 Lisovací nástroje

Stříhadla dále dělíme dle požadované výrobní přesnosti:

- Nástroje bez vedení – slouží k vystříhování méně přesných a méně kvalitních výstřižků (viz obr. 2.18). Tyto nástroje se velice špatně upínají na lisy, špatně se u nich vymezuje střížná vůle mezi střížníkem a střížnicí, děje se tak za pomoci tenkých broušených planžet.
- Nástroje s vedením – používají se k vystříhování přesných výlisků. Jsou také o poznání dražší než nástroje bez vedení, proto se využívají ve velkosériové výrobě. Existuje dvojitý provedení uložení sloupků. Buď jsou pevně nalisovány v upínací desce a pouzdro pro ložisko je uloženo v základové desce, nebo je sloupek pevně nalisován ve spodní desce a pouzdro pro ložisko je uloženo v upínací desce. Ukázka jednoho z těchto nástrojů je na obrázku 2.19.



Obr. 2.18 Postupové stříhadlo bez vodicích sloupků



Obr. 2.19 Postupové stříhadlo s vodicími sloupky

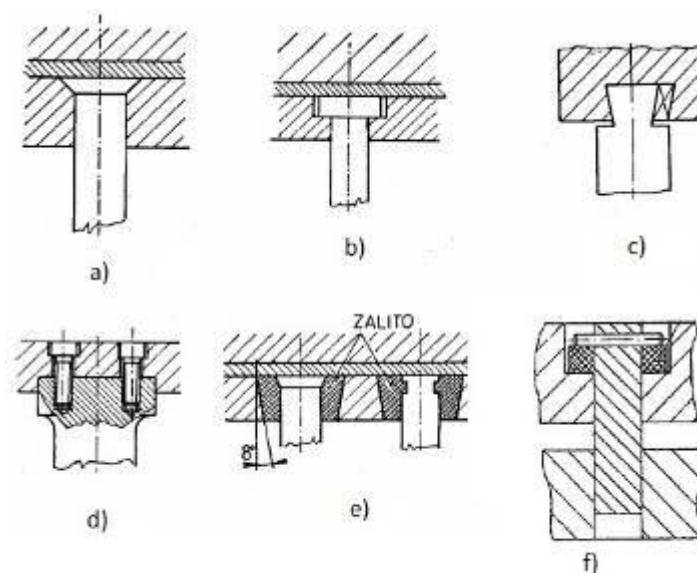
2.5.2 Konstrukce střížníku ve střížném nástroji

Jde o funkční část stříhadla, která zapadá do střížnice, jak je vidět na obrázku 2.20. Jsou upevněny v kotevní desce, přičemž nad střížníky je vždy kalená opěrná deska, aby se střížníky neomačkávaly do upínací desky. Obvyklé tvary střížníků, nejvíce děrovací, jsou normalizované a dají se nakoupit u různých prodejců, například Fibro nebo MSPN.



Obr. 2.20 Střížníky ve střížnicích

Upínání střížníků je různé, záleží na použití, tvaru a přesnosti uložení střížníku. Při uložení střížníků je důležité dbát na jejich kolmost. Na obr. 2.21a je vidět uložení střížníku pomocí roznýtování, které se používá zejména u střížníků určených k děrování. Obr. 2.21b zobrazuje upevnění pomocí osazení; i toto se používá spíše u střížníků určených k děrování. Obě varianty zakončení střížníků se dají objednat z normalizovaných dílů od již výše uvedených firem. Jednoduší typy střížníků lze upnout pomocí klínu, viz obr. 2.21c. Větší střížníky upevňujeme pomocí šroubů – obr. 2.21d. Střížníky složitých tvarů upevňujeme zalitím do pryskyřice – obr. 2.21e. A také můžeme střížníky upínat pomocí kolíku napříč přes střížník – obr. 2.21f.



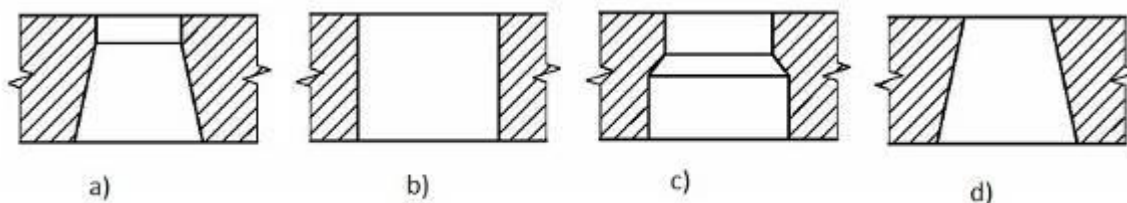
Obr. 2.21 Uložení střížníků v kotevní desce

A – roznýtování, b – osazení, c – zajištění klínem, d – šroubový spoj,
e – zalití pryskyřicí, f – zajištění pomocí kolíku.

2.5.3 Konstrukce střížnice ve střížném nástroji

Střížnice je další funkční částí střížného nástroje. U malých nástrojů není zvykem dělat střížnici s výměnnými částmi střížných tvarů. U nástrojů větších nebo u nástrojů, které produkují velké množství kusů, je s výhodou využíváno výměnných částí střížných tvarů tak, aby bylo možné jednotlivé stříhy z nástroje vybrat a přebrousit.

Geometrické tvary otvoru střížnic se dělají válcové, s fasetkou a následným podbroušením, celé podbroušené, příp. se pod válcovou část přidává další odvrtná, nebo odfrézovaná – viz obr. 2.22.



Obr. 2.22 Tvary otvoru střížnic

A) – válcový s fasetkou a následným kuželovým odlehčením, b) – válcový, c) – válcový s vrtaným odlehčením, d) – kuželový.

Střížnice můžeme rozdělit dle jejich konstrukce, a to v závislosti na sériovosti výroby, rozměrech a tvarech výstřížku.

- Celistvé – jsou využívány pro malé, ne příliš složité výlisky, přičemž jsou vyrobeny z jednoho kusu materiálu.
- Vložkové – používají se pro složité tvary stříhů. Jsou vkládány s přesahem do střížné desky, aby je po opotřebení bylo snadné vyměnit, příp. jen znovu naostřit. Po naostření se pod ně vkládají podložky z pružinové oceli. Tento typ střížných vložek používáme u velkosériové výroby.

2.5.4 Určení rozměrů střížníků a střížnic [11], [14]

Rozměry střížníku a střížnic určujeme podle toho, jak je stříhán otvor. Buď je otvor stříhán na výstřížku, jde o tzv. děrování, nebo je stříhán obvod výstřížku, jde o tzv. vystřihování. Při stříhání otvorů je určujícím faktorem rozměr střížníku, při stříhání obvodů je určujícím faktorem rozměr střížnice. Rozměry střížníku a střížnice se určují podle jmenovitých rozměrů vystřihované součásti. Při děrování je jmenovitý rozměr střížníku shodný se jmenovitým rozměrem výlisku a střížnice je následně zvětšena o velikost střížné vůle. Při vystřihování je jmenovitý rozměr střížnice shodný se jmenovitým rozměrem výlisku a střížník je následně zmenšen o velikost střížné vůle. Na určení rozměrů střížníku a střížnice při děrování a vystřihování používáme tyto vzorce.

Výpočet rozměrů při děrování:

$$\text{➤ Rozměr střížníku: } A_k = A_j + T - T_k [\text{mm}] \quad (2.10)$$

$$\text{➤ Rozměr střížnice: } A_e = A_j + T + T_e - 2 \cdot z [\text{mm}] \quad (2.11)$$

kde:

A_k – rozměr střížníku [mm],
 A_j – jmenovitý rozměr [mm],
 z – střížná mezera [mm],
 T – tolerance výlisku [mm],
 T_k – tolerance střížníku [mm],
 A_e – rozměr střížnice [mm],
 T_e – tolerance střížnice [mm].

Výpočet při vystřihování:

$$\text{➤ Rozměr střížnice: } A_e = A_j - T + T_e [\text{mm}] \quad (2.12)$$

$$\text{➤ Rozměr střížníku: } A_k = A_j - T - T_k - 2 \cdot z [\text{mm}] \quad (2.13)$$

kde:

A_k – rozměr střížníku [mm],
 A_j – jmenovitý rozměr [mm],
 z – střížná mezera [mm],
 T – tolerance výlisku [mm],
 T_k – tolerance střížníku [mm],
 A_e – rozměr střížnice [mm],
 T_e – tolerance střížnice [mm].

2.5.5 Přesnost a jakost povrchu výstřížků a vystřihovaných otvorů při stříhání [3], [14]

Přesnost součástí vyrobených stříháním závisí na řadě činitelů, jako jsou např. přesnost zhotovení střížníku a střížnice, druh a stav nástroje, vlastnosti stříhaného materiálu, takt stroje, ustavení polotovaru v nástroji. Tabulka 2.3 ukazuje, jak tolerujeme rozměry střížníku a střížnice podle tolerance rozměru výlisku.

Výrobní tolerance IT vystřihovaného výlisku	8-9	10	11	12	13	14	15
Výrobní tolerance IT střížníku a střížnice	5-6	6-7	7-8	8-9	10	11	12

Tabulka 2.3 Tolerování funkčních částí dle tolerance rozměru výlisku

Po stříhání je povrch stříhu mírně zkosený, nerovný a drsný. Jakost povrchu stříhané plochy významně ovlivňuje konstrukce a stav stříhadla, velikost a rovnoměrnost střížné vůle, mechanické vlastnosti stříhaného materiálu nebo počet zdvihů stroje. V nástrojích se zvýšenou přesností, s vodicími stojánky, se zařízením k přidržení polotovaru při stříhání je možné dosáhnout přesnosti IT 9 až IT 11.

2.5.6 Materiály vhodné pro střížné nástroje

Pro výrobu funkčních částí střížných nástrojů využíváme především nástrojové oceli. Z těchto ocelí vyrábíme především střížníky a střížnice, ale také například kotevní desku nebo vodící desku. Tyto nástrojové oceli jsou zpravidla tepelně zpracované. Náhled nástrojových materiálů je ukázán v tabulce 2.4. Také je možné využít materiály vyráběné práškovou metalurgií, které mají výrazně lepší mechanické vlastnosti než oceli nástrojové; jejich nevýhodou je však cena a také jejich horší obrobitelnost. Také je možné tyto funkční části nechat pokovit, aby se zlepšily jejich vlastnosti; ideální způsob pokovení těchto částí je metoda PVD. Abychom mohli pokovovat části metodou PVD, musíme je mít zakalené a popuštěné na sekundární tvrdost, a to proto, aby se nám pokovované části nepopustily a neztratily tím své mechanické vlastnosti.

Typ oceli	Značení dle ČSN	Vhodnost použití
Ledeburitické a subledeburitické	19 436, 19 437, 19 438, 19 572, 19 571, 19 581	Na stříhadla s malým nárokem na houževnatost a dobrými střížnými podmínkami.
Nízkolegované	19 312, 19 713, 19 422	Vyznačují se velkou rozměrovou stálostí, vhodné pro střížníky.
Pro velké tlaky	19 655, 19 614, 19 662	Pro stříhadla vystavená velkým střížným silám a vylamování břitů.
Odolné proti rázu	19 356, 19 421	Oceli odolné proti velkým rázům.
Uhlíkové oceli	19 221, 19 191, 19 222, 19 192, 19 152, 19 132	Pro málo namáhaná stříhadla.
Odolné proti rázu	19 733, 19 732, 19 740, 19 452	Pro stříhadla vystavená velkým rázům a namáhání v ohybu a tlaku.

Tabulka 2.4 Přehled nástrojových ocelí pro různé typy střížných nástrojů

Konstrukčních ocelí se využívá především pro nefunkční části střížných nástrojů. Tyto oceli se dají využít pro funkční části stříhadel v malých sériích pro stříhání měkkých materiálů – viz tabulka 2.5.

Typ oceli	Značení dle ČSN	Vhodnost použití	Tepelné zpracování	Tvrdost [HRC]
Neušlechtilé	11 107, 11 110	Na drobné součásti nástrojů.		
	11 340, 11 370	Pro méně namáhané součásti, opěrné desky.		
	11 373, 11 375, 11 353, 11 423, 11 523	Pro svařování konstrukčních dílů nástrojů.		
	11 500, 11 600	Pro kolíky, pera, upínací a kotevní desky.		
Ke zušlechtění	12 060, 12 061	Stírače, upínací hlavice, stopky, opěrné vložky.	Zušlechtěno	50 – 58
	12 040, 12 090, 13 180, 14 180	Šroubové, talířové, listové pružiny.		43 – 48
	14 260, 15 260	Talířové, nejnamáhanější pružinové součásti.		45 – 46
Cementační	12 010, 12 020	Součásti vodicího mechanismu, sloupky, pouzdra.	Cementováno	60 – 62
	14 120, 14 220	Součásti s velmi tvrdou cementační vrstvou.		61 – 63

Tabulka 2.5 Přehled konstrukčních ocelí

2.6 Tvářecí stroje [1], [14]

Pro operace metodou stříhání materiálu se užívají lisy nebo jednoúčelové stroje. Stroj se volí v závislosti na rozměrech a tolerancích výlisku a podle sériovosti dané výroby.

2.6.1 Lisy [1], [13], [14], [15]

Za univerzální stroje pro většinu tvářecích operací jsou považovány lisy, které využíváme především pro stříhání střížnými nástroji. Volba vhodného stroje je závislá na síle, kterou dokáže daný stroj vyvinout, na rozměrech beranu, ke kterému se upíná nástroj, na rozměrech díry pro odpad ve stroji a také na rychlosti zdvihu a na počtu zdvihů za minutu, které je stroj schopen vyvinout.

Lisy dělají při stříhání tyto základní činnosti:

- uzavírání nástroje,
- stříhání,
- otevírání nástroje.

Pro stříhání se preferují lisy mechanické před hydraulickými.

2.6.2 Mechanické lisy [1], [13], [14], [15]

U těchto lisů se pro přenos energie využívá mechanických převodových systémů, protože nejsou konstrukčně příliš složité. Bohužel vzniká u těchto strojů proměnlivá tvářecí síla, která nabývá svého maxima v dolní úvratí pracovního cyklu stroje. Pohon je zaručen klikovým mechanismem a ostatní pohony jsou odvozené. Lisy dělíme dle převodového systému:

- Klikové – bývají s otevřeným či uzavřeným pracovním prostorem. Používají se k ostřihování výkovků a výlisků, k vystřihování polotovarů a finálních výlisků. Mohou se zapojit do linek a je možné k těmto lisům zapojit odvíjecí a navíjecí zařízení. Vyrábí se v provedení s jednou, dvěma nebo čtyřmi klikami.
- Výstředníkové – používají se pro vystřihování, děrování a ostřihování. Stejně jako klikové lisy se mohou zapojit do linek a také k nim můžeme připojit navíjecí a odvíjecí zařízení. U těchto lisů je možné jednoduše seřizovat zdvih stroje pomocí stavitelných výstředníků.

Samozřejmě existují i jiné mechanické lisy, například šroubové, kolenopákové, kloubové a další.

Lisy můžeme dále dělit dle tvaru stojanu:

- sloupové,
- jedno stojanové otevřené,
- dvou stojanové otevřené,
- dvou stojanové uzavřené,
- ostatní.

Dle velikosti jmenovité síly:

- lehké (do 500 kN),
- střední (od 500 kN do 5000 kN),
- těžké (více než 5000 kN).

A také dle pracovního rozsahu:

- Univerzální – na těchto lisech je možné tvářet nebo oddělovat materiál různých tvarů různými operacemi.
- Speciální – na těchto lisech je možné tvářet nebo oddělovat materiál různých rozměrů jedinou operací.
- Jednouúčelové.

2.6.3 Hydraulické lisy [13], [15]

Jak už bylo napsáno, těchto lisů se pro stříhání používá méně než lisů mechanických. O dostatečnou stříhací sílu se stará hydraulický válec. Předností těchto strojů je konstantní lisovací síla, která působí v celé délce pohybu beranu lisu. Na těchto strojích je možné vyvinout větší sílu.

2.7 Technologičnost konstrukce u stříhání [1], [3], [12]

Dokonalý technologický postup a maximální hospodárnost předpokládá výbornou volbu technologičnosti konstrukce výstřižků. Výstřižek by měl být hlavně účelný, a ne příliš složitý – ideálně s minimem odpadu. Při konstrukci dílce pro stříhání je potřeba pamatovat na tyto náležitosti.

- nedokonalost střížného procesu,
- mechanické vlastnosti stříhaného materiálu,
- tvar, rozměry a tolerance stříhaného materiálu,
- výrobní možnosti použitých strojů a nástrojů,
- mechanicko-fyzikální vlastnosti funkčních ploch (střížníku a střížnice) nástroje.

Na technologičnosti konstrukce výrobku se nejvíce podílí konstruktér s technologem. Jakákoli chyba v konstrukci výrobku je následně ve výrobním procesu velice těžko odstranitelná. Pokud se dá chyba odstranit, je zapotřebí velkých nákladů na změnu konstrukce nástroje, popřípadě i konstrukce výrobku. Nízké náklady na zpracováváný materiál jsou velice dobrým ukazatelem správné technologičnosti.

2.7.1 Spotřeba materiálu u stříhání [1], [3], [8], [12]

Náklady spojené se stříháním ovlivňuje spotřeba materiálu, a proto je nutné zabývat se také tímto tématem. Zpracováváný materiál většinou tvoří 80-90 % nákladů na konečný produkt. Proto je potřeba věnovat se zdokonalováním nástřihového plánu, popřípadě změnou konstrukce výstřižku tak, aby to vše vedlo k minimalizaci odpadu.

Zásady technologičnosti konstrukce výstřižků:

- Optimalizovat nástřihové plány tak, aby využití materiálu bylo větší než 70 %.
- Vhodná volba tolerancí rozměrů.
- Pokud je to možné, nepředepisovat rovnost výstřižků, protože se v důsledku ohybového momentu velice obtížně dodržuje.
- Volit jakost povrchu střížné plochy u běžného stříhání $R_a = 3,2$ až $6,3$, u přesného stříhání $R_a = 0,2$ až $0,8$.
- Dbát na možnosti stříhání minimálních otvorů.

Ideální pro zachování nízkých nákladů je využívat nekonečné pásy, popřípadě svitky, které mají šířku přesně určenou pro danou skupinu výlisků. Z hlediska nízkých materiálových nákladů je méně výhodné stříhání tabulí a pásů. U stříhání se na pás rozmisťují výstřižky, tomuto rozmístění se říká nástřihový plán. Vzdálenost výstřižků od sebe je určena můstkem a od okrajů takzvanými okraji. Hospodárnost střížného procesu je určena součinitelem využití materiálu k_m .

$$k_m = \frac{S_v}{S_p} [\%] \quad (2.14)$$

Krok k: Vzdálenost mezi dvěma po sobě jdoucími výlisky na pásu. Počítáme dle vzorce:

$$k = b + m \text{ [mm]} \quad (2.15)$$

kde

b – délka výstřižku,
m – můstek mezi dvěma výstřižky.

A dále určujeme šířku pásu s dle vztahu:

$$s = 2 \cdot o + a \text{ [mm]} \quad (2.16)$$

kde

a – šířka výstřižku,
o – šířka okrajů od okraje pásu.

Rozměry o a m určujeme z tabulek 2.6 až 2.8.

Materiál			Tloušťka plechu t															
			0,1	0,2	0,3	0,5	0,8	1	1,5	2	2,5	3	3,5	4	4,5	5	5,5	6
A			1,8	1,6	1,4	1	1,1	1,2	1,4	1,6	1,8	2	2,2	2,4	2,6	2,8	3	3,2
B			2,2	1,9	1,7	1,2	1,3	1,5	1,7	1,9	2,2	2,4	2,7	2,9	3,2	3,4	3,6	3,8
C			3,6	3,2	2,8	2	2,2	2,4	2,8	3,2	3,6	4	4,4	4,8	5,2	5,6	6	6,4
lmax	D	10	0,2	0,5	1	2,5	2,5	2,5	2,5	3	3	3	3,5	3,5				
		20	0,3	0,6	1,2	3	3	3	3,5	3,5	3,5	4	4	4,5				
		30	0,3	0,7	1,5	3	3,5	3,5	3,5	4	4	4,5	4,5	5				
		50	0,3	0,7	1,5	3,5	3,5	3,5	4	4,5	5	5	5,5	6				
		70	0,4	0,8	2	4	4,5	4,5	5	5,5	5,5	6	6	6,5				
		100	0,4	1	2,5	4,5	5	5	6	6,5	7	7	7,5	8				

$l_{\max}$ – největší střižná délka,
A – bronz, mosaz, ocel měkká a tvrdá,
B – cín, hliník, měď, nikl,
C – kůže, hlazená lepenka, plasty, tkaniny,
D – tvrzený papír, tvrdé plasty.

Tabulka 2.6 Rozměry můstků a okrajů pro pravoúhlé výstřižky

Materiál	Tloušťka plechu t							
	0,1	0,2	0,3	0,5	0,8	1	1,5	2
A	0,15	0,3	0,45	0,75	1,2	1,5	2,25	3
B	0,18	0,36	0,54	0,9	1,45	1,8	2,7	3,6
C	0,3	0,6	0,9	1,5	2,4	2,4	4,5	6
D	0,16	0,32	0,48	0,8	0,9	0,9	1,5	2
Materiál	Tloušťka plechu t							
	2,5	3	3,5	4	4,5	5	5,5	6
A	3,75	4,5	5,25	6	6,25	6,25	8,25	9
B	4,5	5,4	6,3	7,2	8,1	8,1	9,9	10,8
C	7,5	9	10,5	12	13,5	15	16,5	18
D	2,5	3	3,5	5	-	-	-	-

A – bronz, mosaz, ocel měkká a tvrdá,
B – cín, hliník, měď, nikl,
C – kůže, hlazená lepenka, plasty, tkaniny,
D – tvrzený papír, tvrdé plasty.

Tabulka 2.7 Rozměry můstků pro kruhové výstřižky

Materiál	Tloušťka plechu t							
	0,1	0,2	0,3	0,5	0,8	1	1,5	2
A	0,1	0,2	0,3	0,5	0,8	1	1,5	2
B	0,12	0,24	0,36	0,45	0,96	1,2	1,8	2,4
C	0,15	0,3	0,5	0,75	1,2	1,5	2,25	3
D	0,2	0,4	0,6	1	1,2	1,3	1,9	2,5
Materiál	Tloušťka plechu t							
	2,5	3	3,5	4	4,5	5	5,5	6
A	2,5	3	3,5	4	4,5	5	5,5	6
B	3	3,6	4,2	4,8	5,4	6	6,6	7,2
C	3,75	4,5	5,25	6	6,75	7,5	8,25	9
D	3,2	3,75	4,4	5	-	-	-	-

A – bronz, mosaz, ocel měkká a tvrdá,
B – cín, hliník, měď, nikl,
C – kůže, hlazená lepenka, plasty, tkaniny,
D – tvrzený papír, tvrdé plasty.

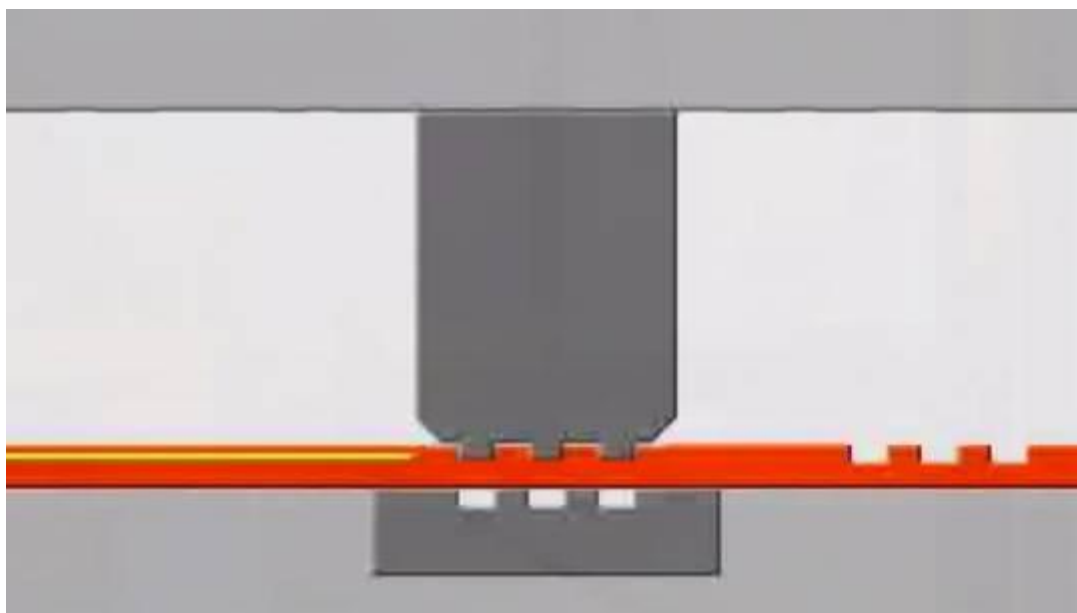
Tabulka 2.8 Rozměry okrajů pro kruhové výstřižky

3. Rozbor technologie vysokorychlostního stříhání [2], [18]

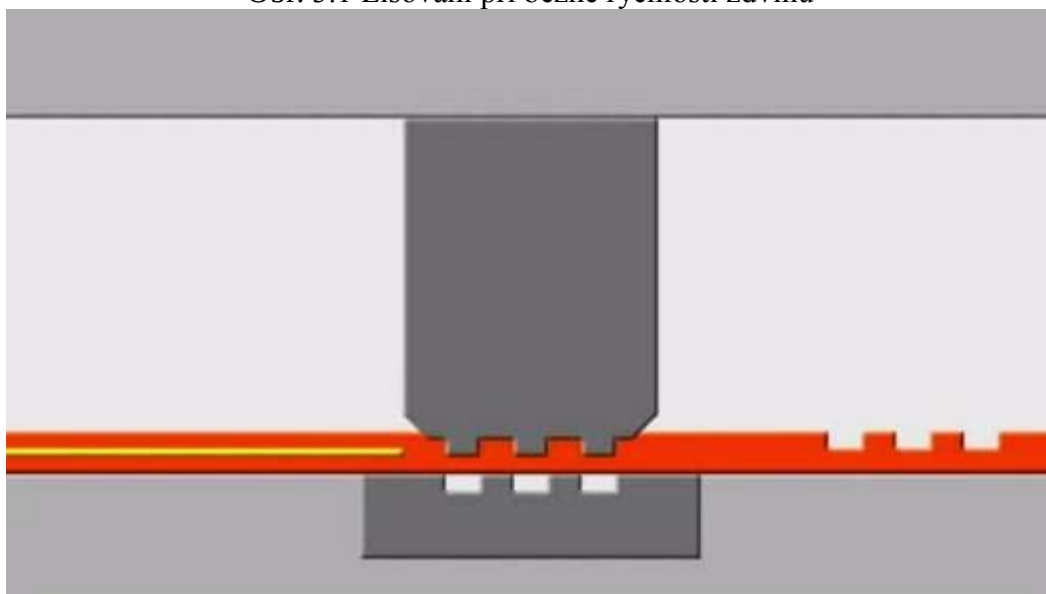
Tato technologie se používá od 50. let minulého století. Je to vysoce produktivní metoda stříhání. Název této metody je odvozen od vysokého počtu úderů (zdvihů) za minutu běhu stroje. Tyto stroje jsou schopny, v závislosti na výšce zdvihu, provádět 100 až 2000 zdvihů, v extrémních případech až 4000 zdvihů za minutu.

3.1 Technologie vysokorychlostního stříhání [2]

To, co umožňuje vysokorychlostní stříhání, je průběžné seřizování výšky beranu, kterou si dělá stroj sám. Běžné lisy se ve vyšších rychlostech úderů potýkají s problémy setrvačných hmotností; lisy nejsou schopny tyto setrvačné hmotnosti vyrovnat, a dochází tak k většímu prolisování materiálu. Vše je zdokumentováno na přiložených obrázcích.

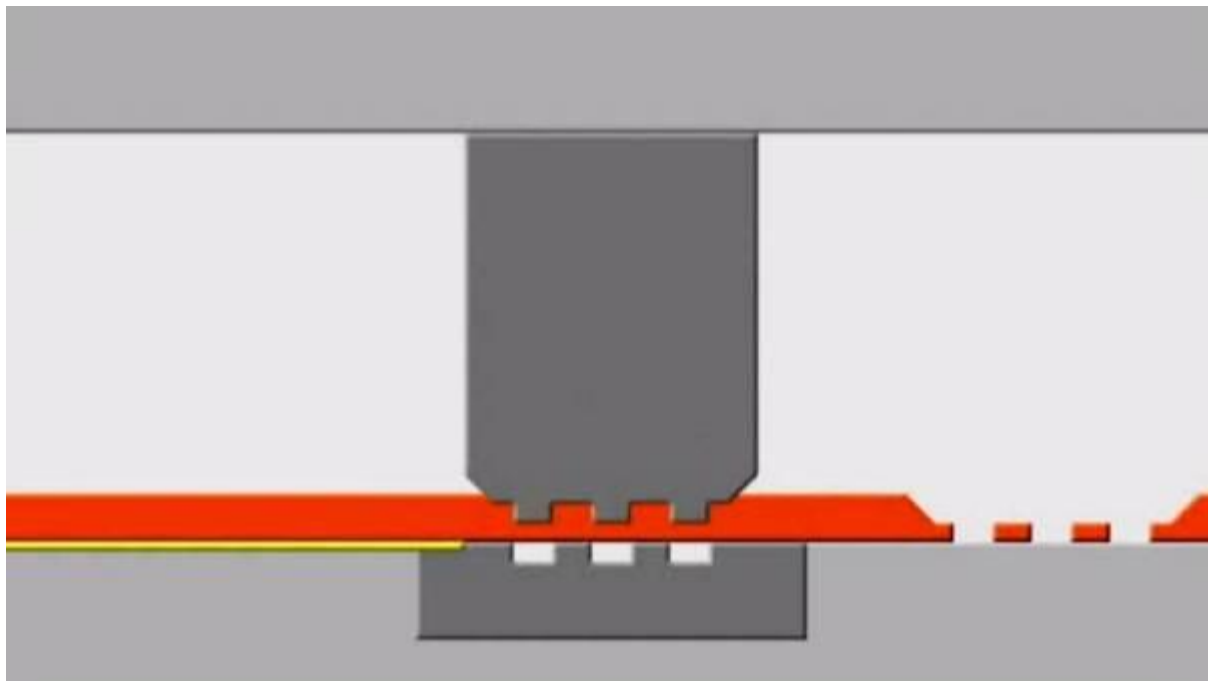


Obr. 3.1 Lisování při běžné rychlosti zdvihů



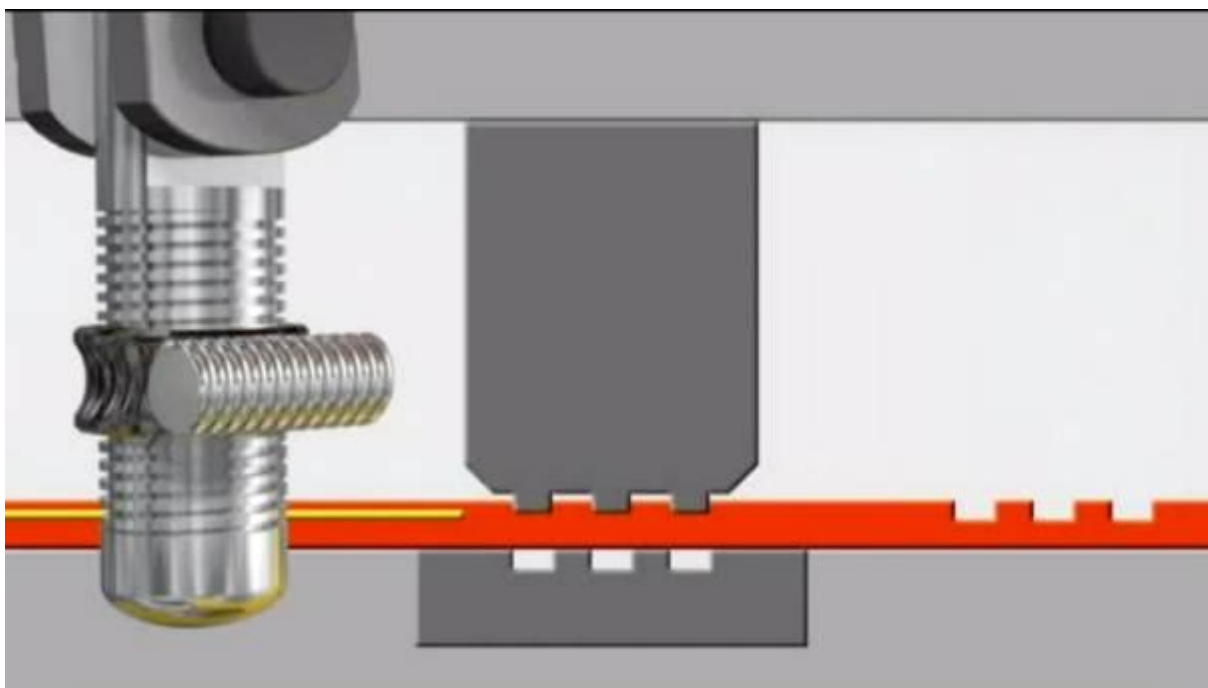
Obr. 3.2 Lisování se zvyšující se rychlostí

Na obrázku 3.2 je vidět zhoršení kvality lisování při zvýšené rychlosti zdvihů; jak je vidět, vytlačí se do plechu další hrany razníku, které tam už být nemají. Se zvyšující se rychlostí si lze všimnout dalšího prohloubení tohoto problému.

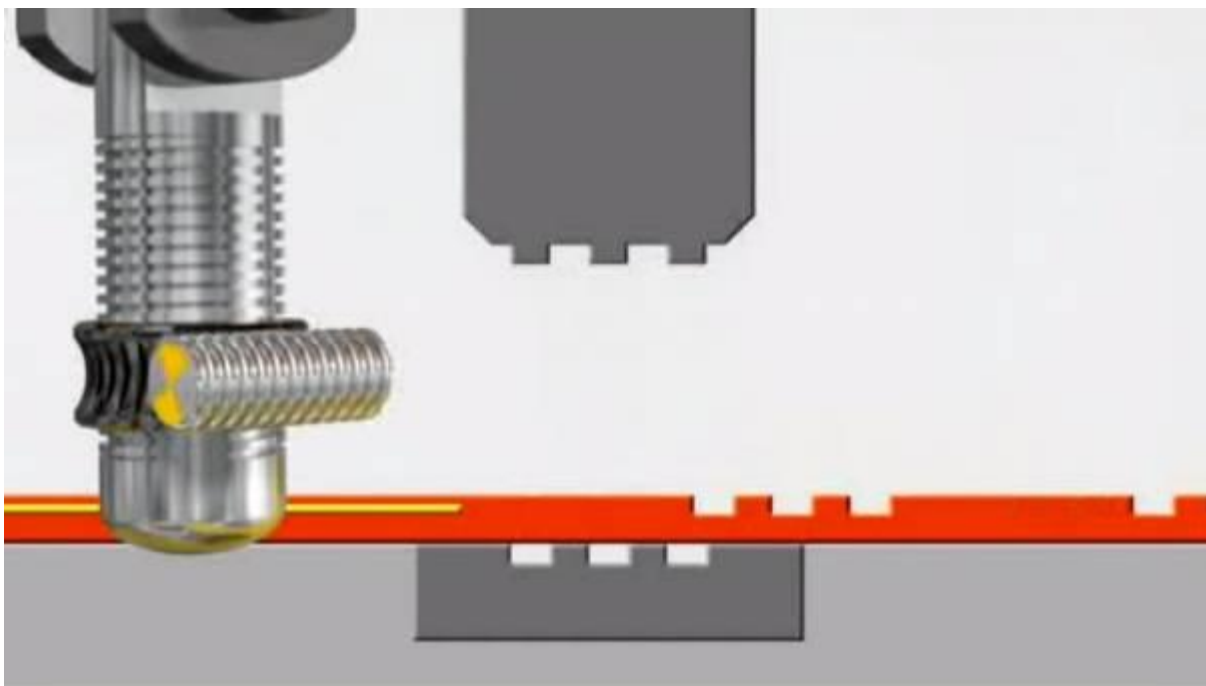


Obr. 3.3 Lisování s maximální rychlostí

U rychloběžných lisů k tomuto nedochází, je to díky vyvážení setrvačné hmotnosti. To obstarává dvojice šroubů, které beran zvedá v závislosti na rychlosti úderů.



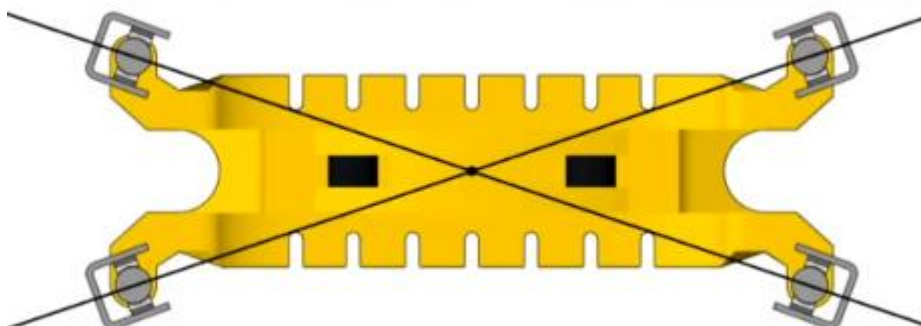
Obr. 3.4 Rychloběžný lis nízké rychlosti



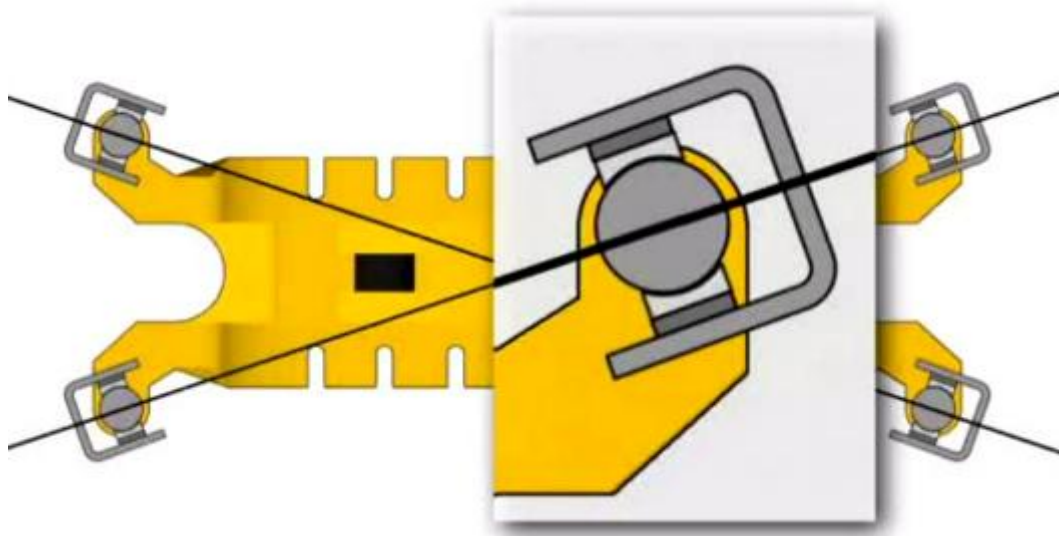
3.5 Rychloběžný lis vysoké rychlosti

Z obou dvou obrázků je vidět, že výška prolisování je jak u nízkých, tak u vysokých rychlostí stejná. Také si lze všimnout polohy šroubu, která se mění se vzrůstající a klesající rychlostí zdvihů.

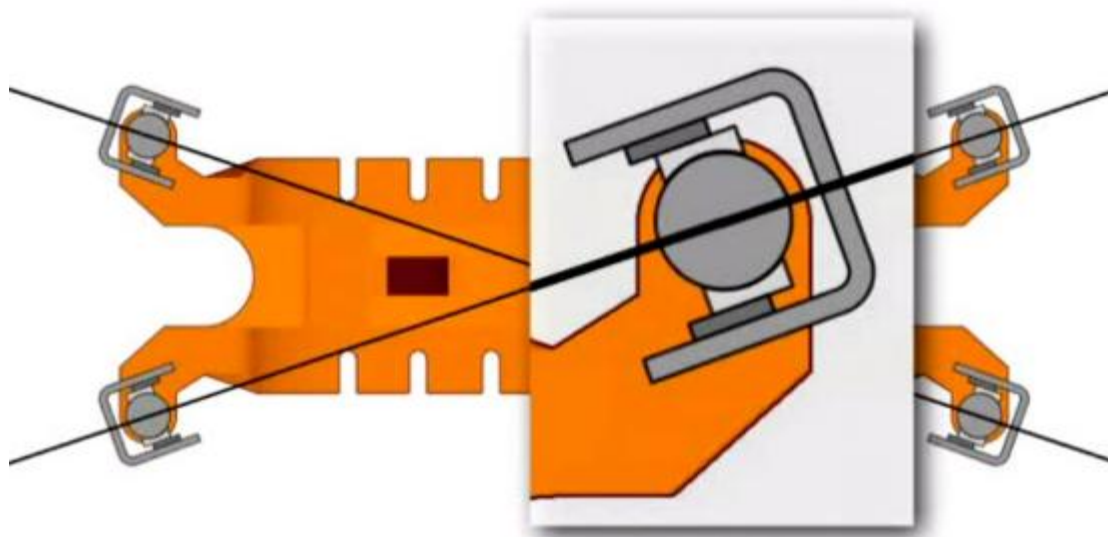
Při těchto vysokých rychlostech se stroj zahřívá. Aby zahřívání stroje neovlivňovalo kvalitu výstřižků a následně kvalitu nástroje, jsou lisy od firmy Bruderer vybaveny kluznými pouzdry. Ty umožňují posun všech 4 sloupků při zahřívání a ochlazování stroje – viz obr. 3.6. Na obr. 3.7 a 3.8 je vidět posun sloupků v jejich vedení.



Obr. 3.6 Naznačení pohybu sloupků při ohřívání a ochlazování

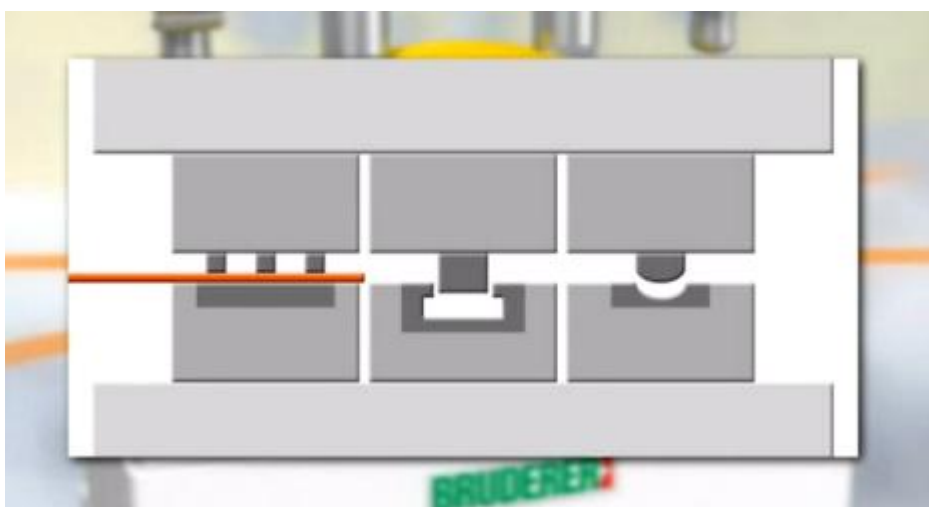


Obr. 3.7 Nezahřátý sloupek lisu

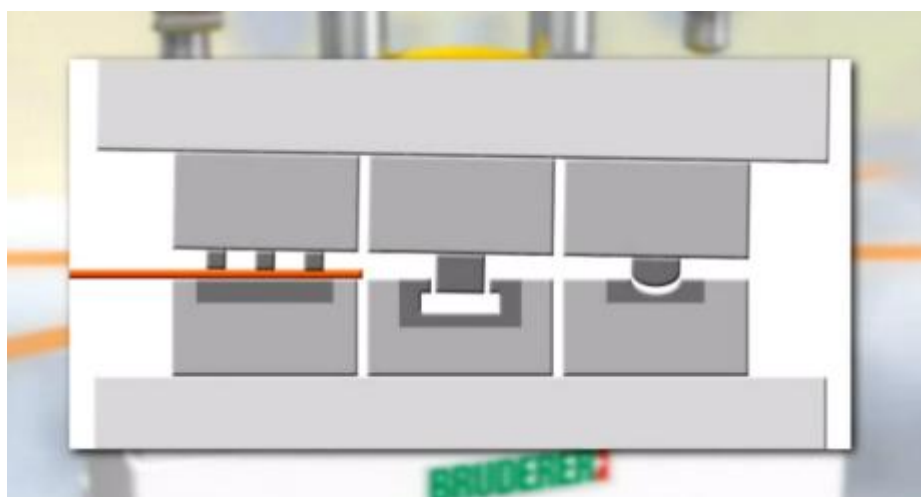


Obr. 3.8 Posun zahřátého sloupku lisu ve vedení

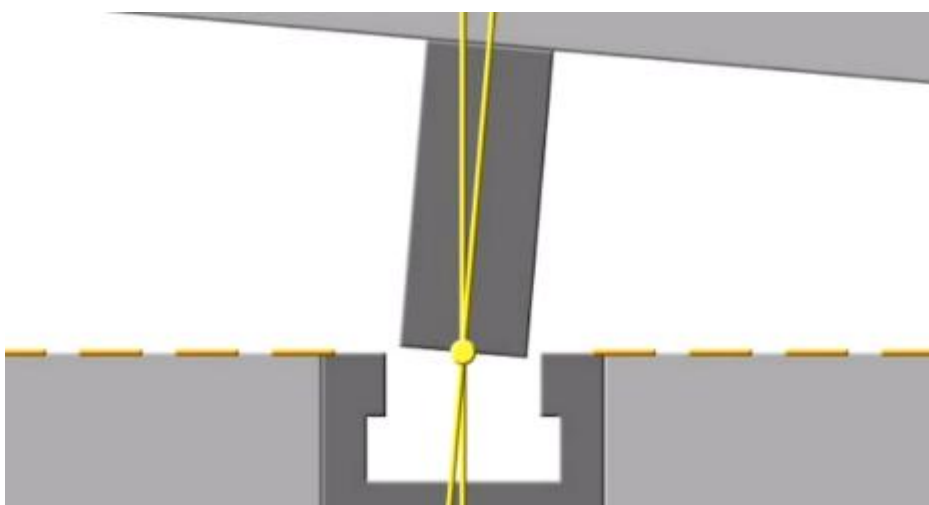
Tato technologie nabízí spoustu výhod, kterých můžeme využít jen při dodržení jistých konstrukčních zásad. U těchto nástrojů je důležité dodržet přesnou výšku střížné hrany od upínací desky lisu. Je nutné, aby byl pás materiálu stabilně v jedné výšce od upínací desky lisu. Pokud toto není dodrženo, může dojít k velkému vyosení střížníků, které vede k destrukci střížných hran jak na střížníku, tak na střížnici. Na obr. 3.9 je vidět dosednutí horní části nástroje, následně pokračuje střížný proces dotlakem (obr. 3.10); je zde vidět malé vyklonění horní části nástroje. Obr. 3.11 dokumentuje situaci, kdy je provedena správně konstrukce nástroje a pásek ve správné výšce od upínací desky stroje. Obr. 3.12 ukazuje, co se může stát, když bude pásek veden ve špatné výšce.



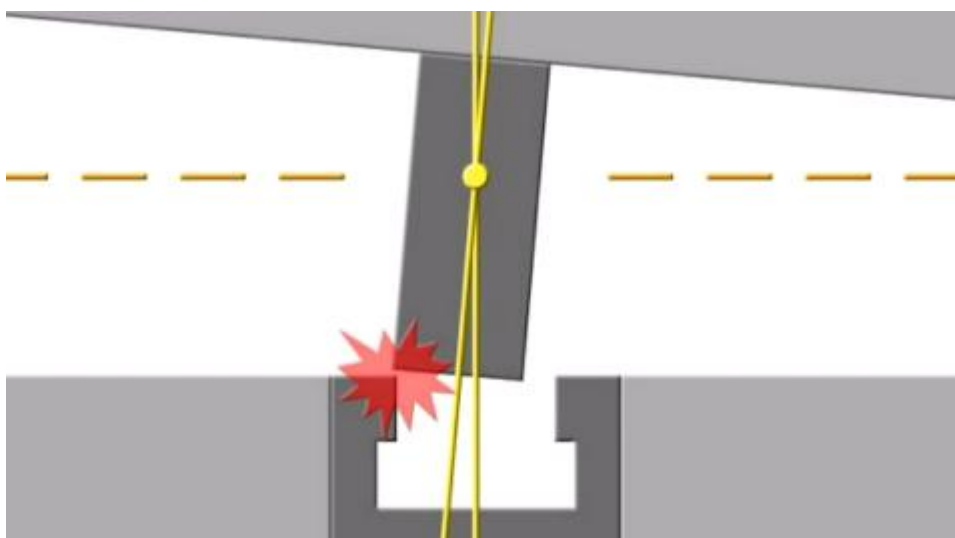
Obr. 3.9 Dosednutí horní poloviny nástroje



Obr. 3.10 Dotlak nástroje při zdvihu

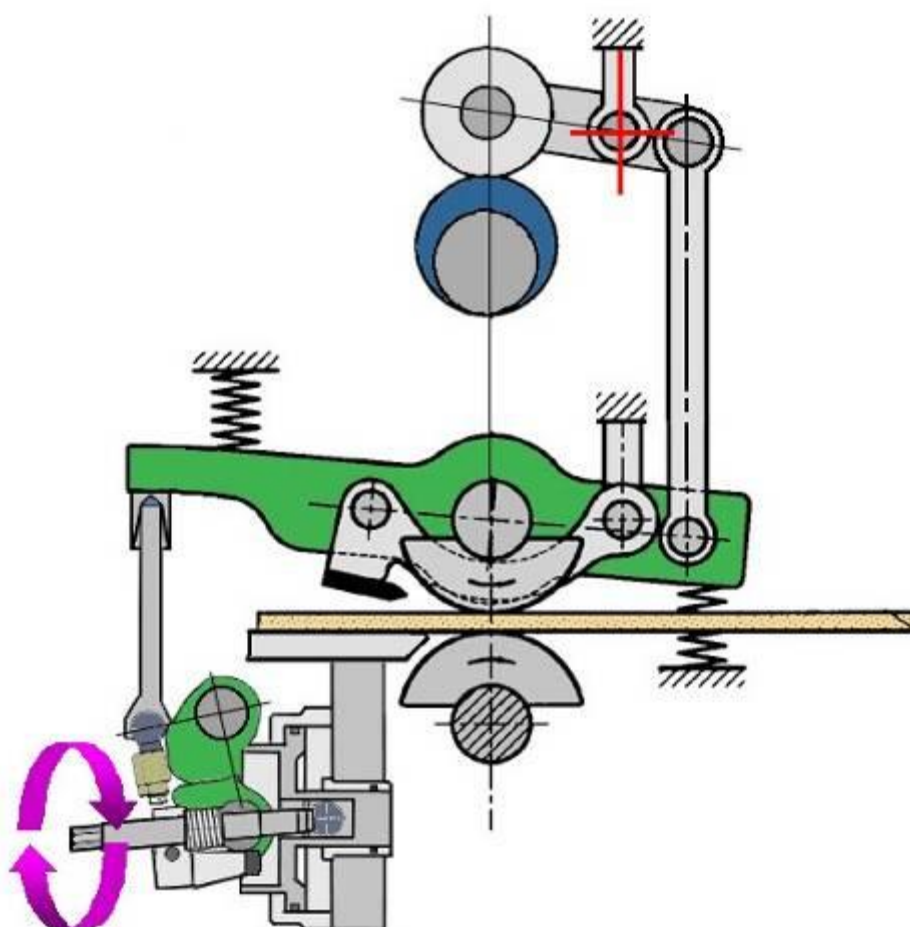


Obr. 3.11 Vyklonění střižníku při dotlaku



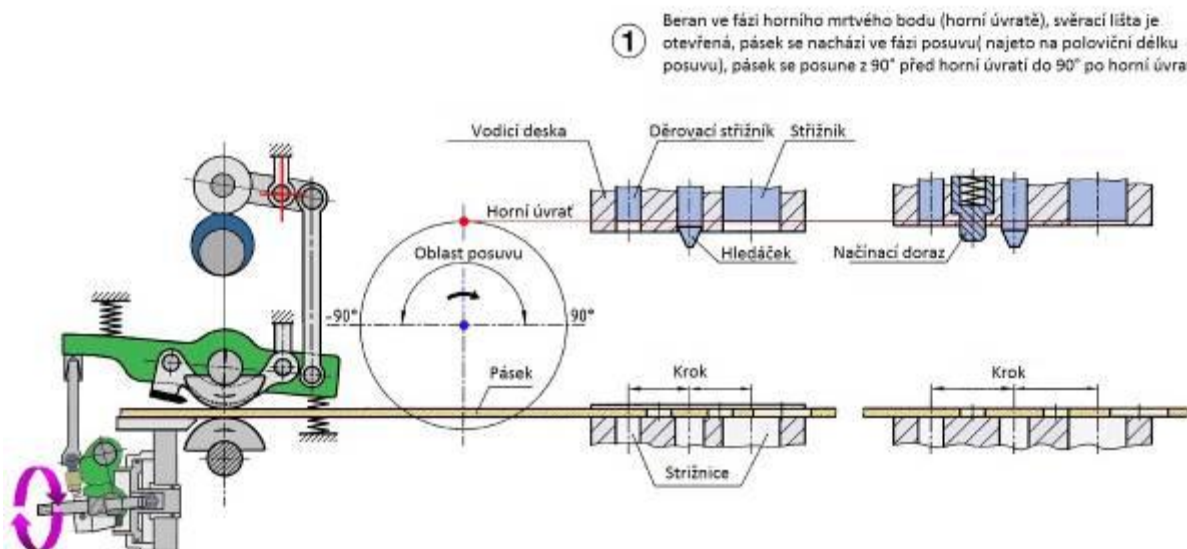
Obr. 3.12 Vyklonění střížníku při dotlaku, kdy je pásek ve špatné výšce

O vedení a posun pásku se stará dvojice kalených půlkruhů, které jsou mechanicky propojeny, jak je vidět na obr. 3.13. Tento mechanismus je potřeba řádně seřídit tak, aby střížný proces probíhal správně.



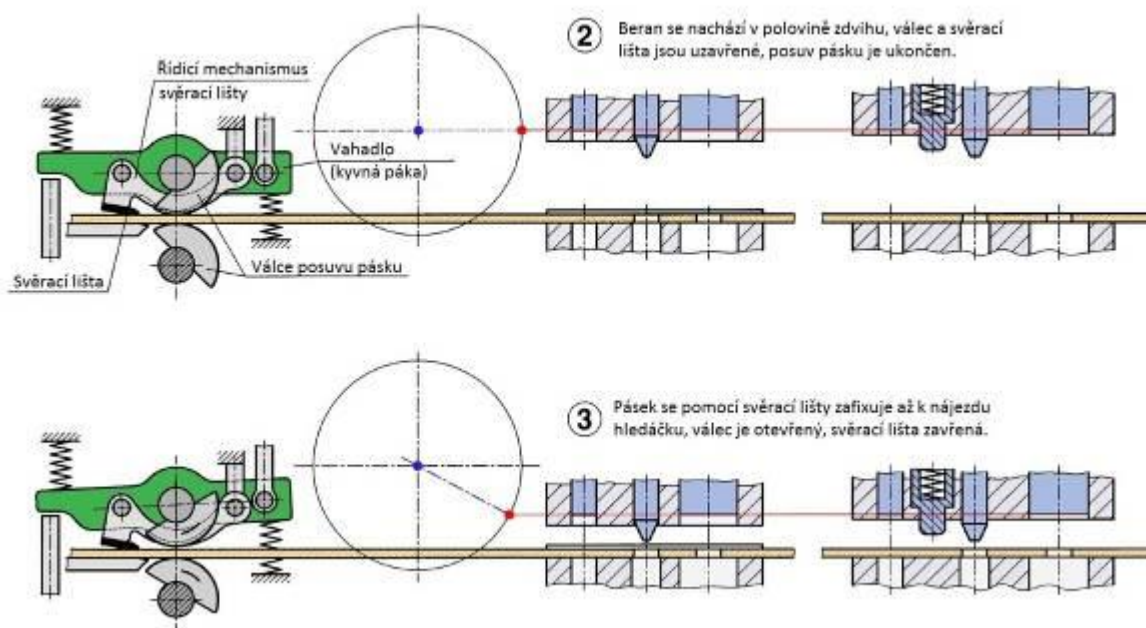
Obr. 3.13 Vstupní část lisu

Průběh jednoho celého zdvihu stroje, popřípadě nástroje, je názorně zobrazen na následujících pěti obrázcích. Na obr. 3.14 je znázorněna horní úvrať stroje. Posun pásku probíhá od 90° před horní úvratí až po 90° za horní úvratí.



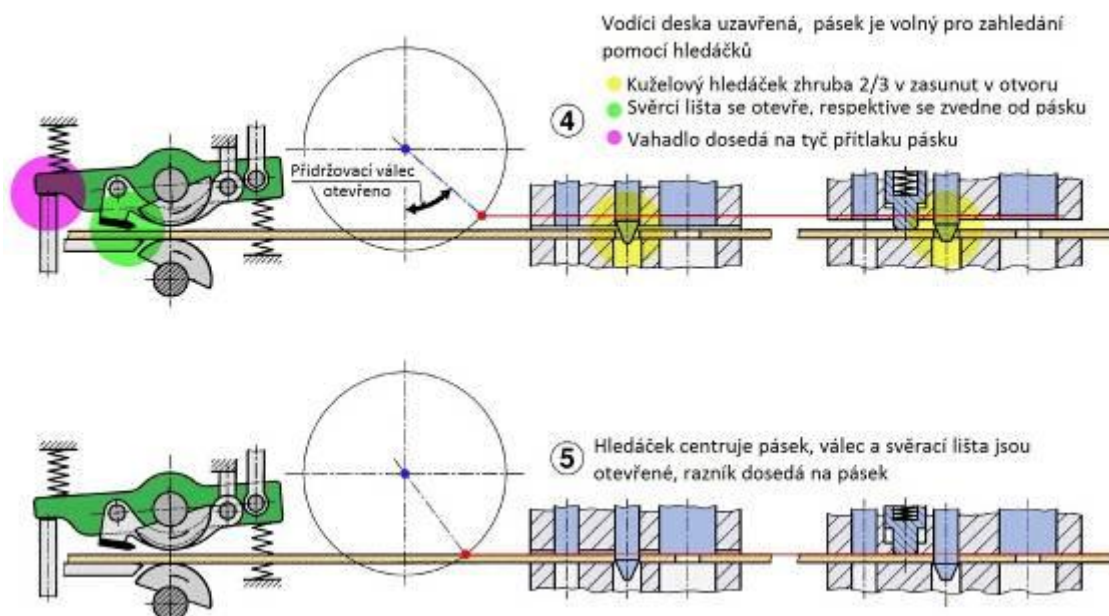
Obr. 3.14 Horní úvrať stroje

V dalším průběhu zdvihu klesá jak beran lisu, tak horní část nástroje a přibližují se k pásce – viz obr. 3.15. Kalené válce a svěrací lišta jsou uzavřené, je to konec posuvu. Pásek se za pomoci svěrací lišty zafixuje až do příjezdu hledáčku.



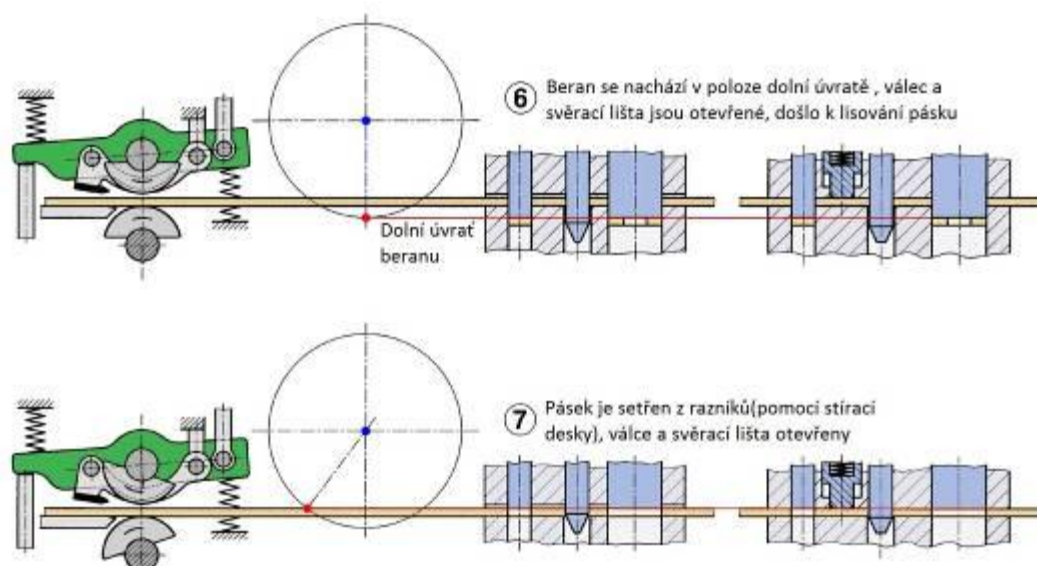
Obr. 3.15 Cesta nástroje směrem dolů

Další obrázek popisuje nejdůležitější část zdvihu z pohledu konstruktéra nástroje; je zde vidět, jak hledáček zahledal 2/3 své špičky a jak se svěrací lišta začíná zvedat. Tím pádem se může páska vystředit na hledané dírcce a může následovat dosednutí střížníků.



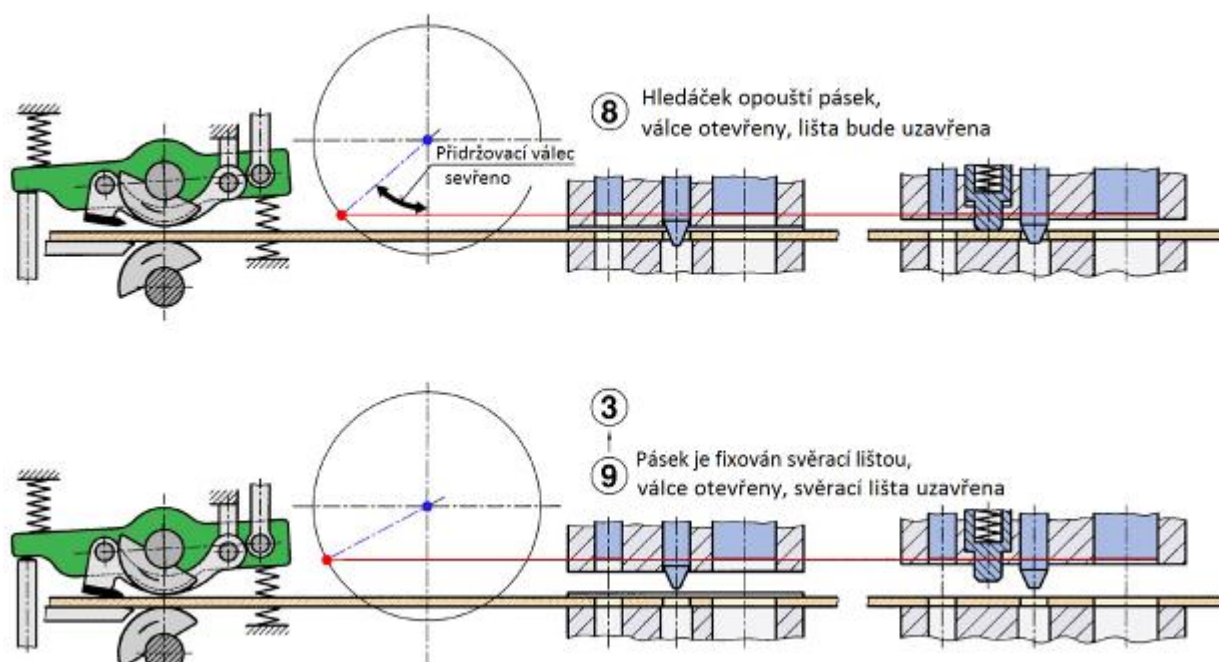
Obr. 3.16 Zahledání a dosednutí horní části nástroje

Dále nástroj pokračuje v pohybu do dolní úvratě. Je vidět, že při stříhání není materiál nikterak držen vstupním mechanismem. Jeho posun však nehrozí, je držen hledáčkem. Kalené válce a svěrací lišta jsou otevřené. Dále se beran pohybuje nahoru a páska je setřena ze střížníků stírací desky.



Obr. 3.17 Střih materiálu

Po ustřižení materiálu vyjíždí hledáček z materiálu, kalené válce zůstávají nadále otevřeny, ale svěrací lišta bude postupně uzavřena.



Obr. 3.18 Oddálení horní poloviny nástroje

3.2 Střížná síla a práce

3.2.1 Střížná síla

Výpočet střížné síly je podobný jako u běžného stříhání. Taktéž se vypočítává z tloušťky materiálu, pevnosti materiálu ve stříhu a stříhané délky – viz vzorec (3.1), který firma Bruderer používá pro výpočet střížné síly.

$$P = l \cdot t \cdot \tau \text{ [N]} \quad (3.1)$$

kde:

l – délka stříhané křivky (obvod střížných hran) [mm],

t – tloušťka materiálu [mm],

τ - napětí ve stříhu (střížný odpor) [kg/mm²].

Materiál	τ [kg/mm ²]
Trafoplech 0,05 % C	22-30
Konstrukční ocel St 37	31-38
Konstrukční ocel St 50	42-50
Konstrukční ocel St 60	50-60
Konstrukční ocel St 70	60-70
Pružinová ocel žíhaná na měkko	70-90
Pružinová ocel kalená	120-150
Měď tvrdá válcovaná	27-38
Válcovaný bronz	30-50

Tab. 3.1 Napětí ve stříhu dle Brudereru

3.2.2 Střížná práce

Výpočet střížné práce je také stejný jako u běžného stříhání. Je zapotřebí znát střížnou sílu, tloušťku materiálu a součinitel zaplnění diagramu.

$$A = \lambda \cdot F_s \cdot t [\text{J}] \quad (3.2)$$

kde:

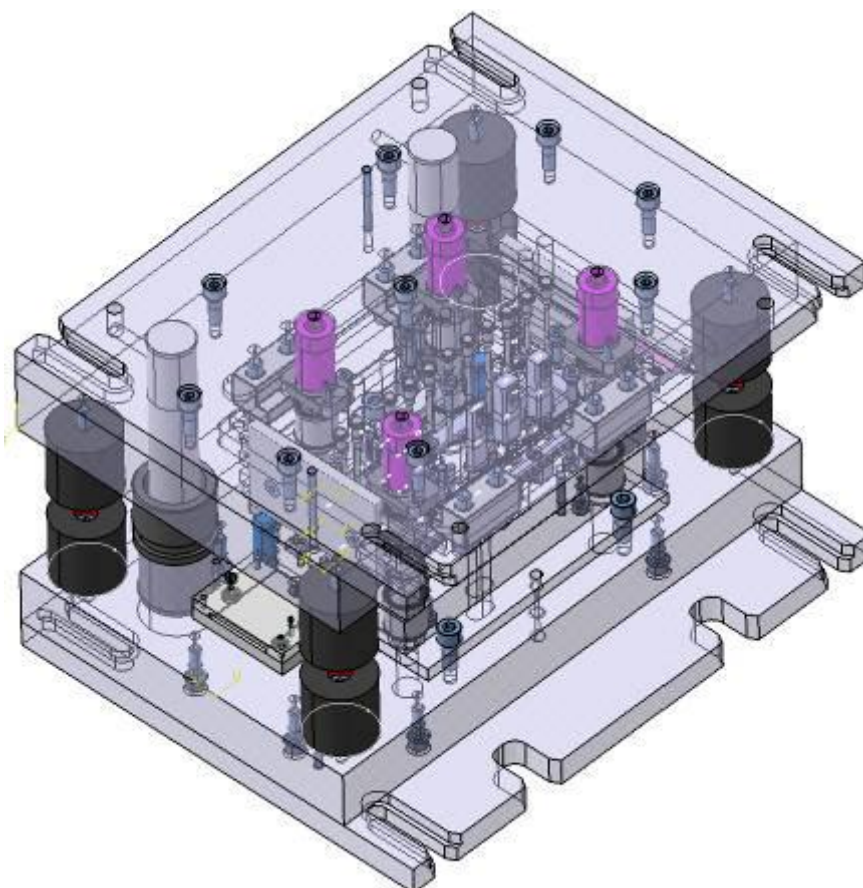
λ – součinitel plnosti diagramu [-],

F_s – střížná síla [N],

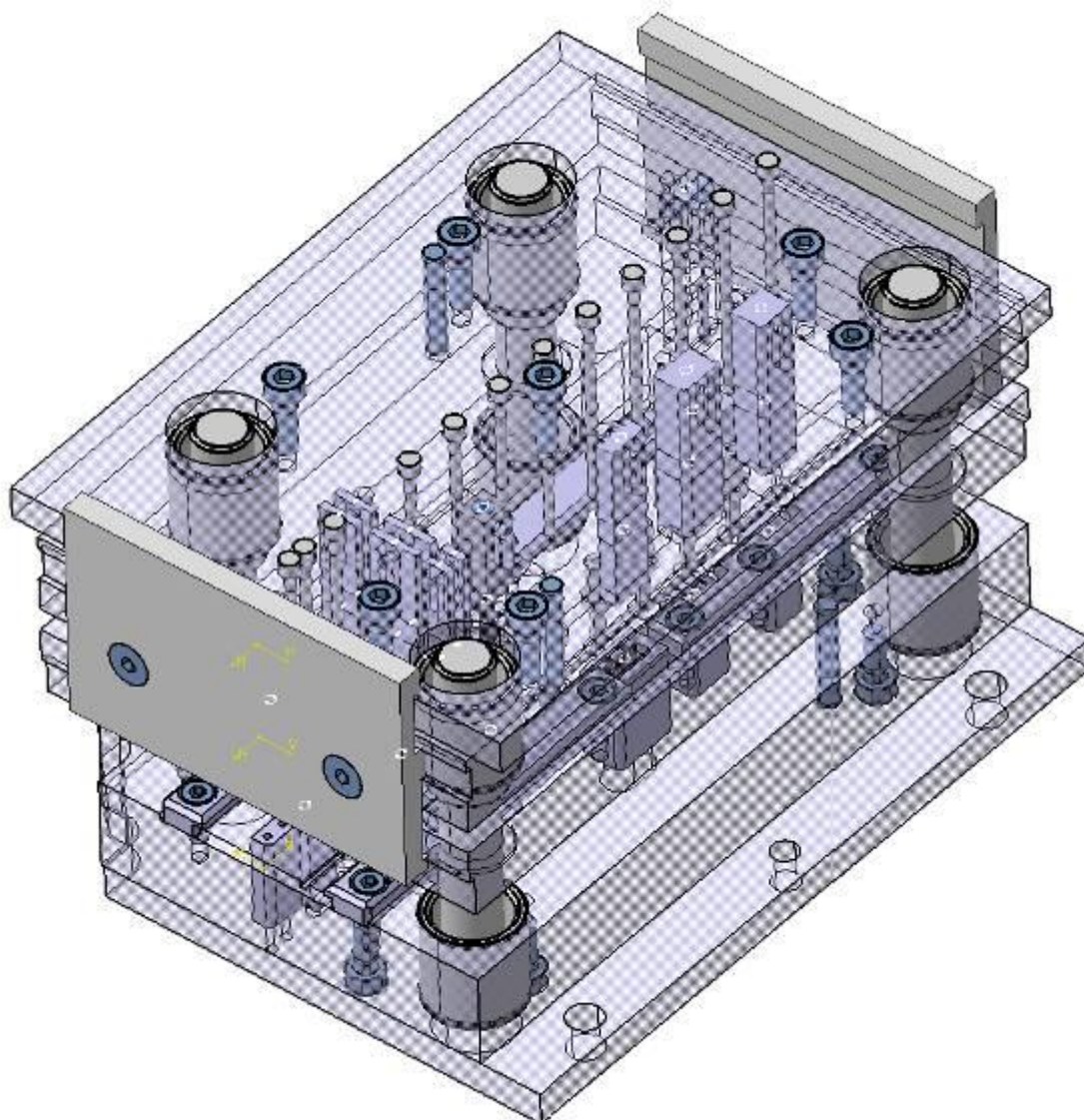
t – tloušťka stříhaného materiálu [mm].

3.3 Střížné nástroje

U vysokorychlostního stříhání se používají nástroje s vedením, a to buď dvousloupcovým, sloupky v řadě za sebou (obr. 3.19), nebo čtyřsloupkovým, sloupky v rozích základní desky, příp. vícesloupkový nástroj (používá se vždy sudý počet sloupků a jen u dlouhých nástrojů). Nástroje jsou konstruovány modulově. Modul nástroje je vyjímatelný, protože pokud by se něco stalo s nějakým střihem či ohybem, je nutné z upnutého nástroje vyjmout pouze modul, který potřebuje opravit, aby se pracně nemusel sundávat celý nástroj; manipulace s menším a lehčím modulem je snazší. Moduly se povětšinou dělí na střížnou část a ohýbací část nástroje. Moduly mají své vodící sloupky, jejich upínání mezi základní desky je tímto usnadněno – viz obr. 3.20.



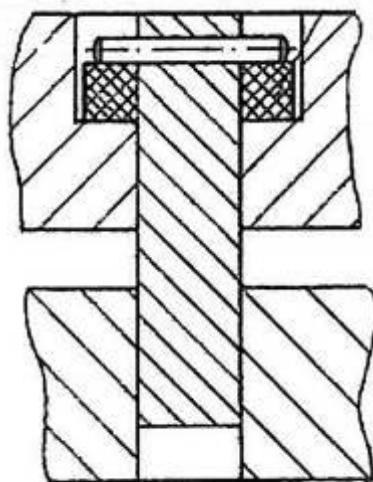
Obr. 3.19 Dvousloupkový nástroj



Obr. 3.20 Modul nástroje

3.3.1 Konstrukce střížníku ve střížném nástroji

Střížníky jsou konstrukčně řešeny stejně jako v obyčejných nástrojích; vzhledem k tomu, že jsou často stříhány složité tvary, nepoužívá se příliš ukotvení střížníku pomocí roznýtování a osazení. Spíše se používá uchycení pomocí kolíku napříč tvarem střížníku – viz obr. 3.21. Po přebroušení střížníku je nad střížník přidána kalená podložka, aby měl střížník pořád stejnou výšku. Střížníky jsou upnuty v kotevní desce, dále jsou střížníky vedeny pomocí vodicí desky. Pokud bude nástroj lisovat podobné výlisky, které se liší pouze v kódování, je potřeba mít ve vodicí desce nalisované vodicí matrice. Tak má každá lisovaná varianta své vedení, střížník a střížnici.



Obr. 3.21 Upnutí střižníku

3.3.2 Konstrukce střižnice ve střižném nástroji

Střižnice jsou také konstrukčně řešeny jako v obyčejných nástrojích. Střižnice jsou většinou vloženy do střižných desek, aby byla zaručena jejich snadná údržba, přičemž jsou vkládány s přesahem tak, aby při vytahování střižníku nevyjížděly vzhůru. Střižnice jsou vyrobeny s fasetkou, pod níž je úkos přibližně jedna třetina stupně. Po přebroušení střižnice se pod ni dá kalená podložka, aby měla pořád stejnou výšku.

3.3.3 Určení rozměrů střižníků a střižnic

Určení rozměrů střižníků a střižnic je stejné jako u běžného stříhání. Rozlišujeme stříhání obvodu a děrování. U této technologie také záleží na tom, zda výlisky navíjíme pomocí navíjáku na cívku, nebo je to materiál sypaný, protlačovaný přes střižnici, přímo do bedny pod lisem. V tomto případě musí být vodící pásek z nástroje navinut pomocí navíjedla na cívku.

3.3.4 Materiály vhodné pro vysokorychlostní střižné nástroje

Pro funkční části používáme nástrojové oceli. Tyto oceli jsou tepelně zpracovány, zakaleny a popuštěny na sekundární tvrdost – tak, aby měly správné mechanické vlastnosti. Vyrábíme z nich celé moduly, například střižníky, razníky, ohybníky, střižnice apod. V tabulce 3.2 jsou vybrány funkční části nástrojů a k nim přiřazeny materiály a jejich doporučené tvrdosti.

PRACOVNÍ NÁSTROJ	MATERIÁL	TVRDOST
Držák	1.2510	58+2
Střižník	ASP 2060/CF-H40S/1.3241	64+2 / neuvedeno
Razník na fasety	CPM15V	62+2
Ohybník horní	1.3241	
Tlačicí razník	1.251	64+2
Dávkovací razník	1.3241	58+2
Kalibrovací razník	1.2379/1.2363	64+2
Vodicí deska	1.2379	62+2
Stírací deska	1.2379	62+2
Střižnice	ASP 2060/CF-H40S/1.3241	64+2 / neuvedeno
Razicí matrice	1.2379/1.3241	64+2 / 64+2
Ohybník dolní	Vanadis 60 / (1.3241)	64+2
Páka	ASP 2005	64+2
Tlačicí matrice	1.251	58+2

Tabulka 3.2 materiály funkčních částí

Pro upínací a základní desky volíme materiál 1.1730 (ČSN 19 083) v základním stavu, žíhaný na měkko. Pro opěrné zakalené desky – horní i spodní – se volí materiál 1.2510 (ČSN 19 314), popřípadě 1.2379 (ČSN 19 573). Střižná, vodicí a kotevní deska (taktéž kalené) jsou z materiálu 1.2363 (ČSN 19 571).

3.4 Tvářecí stroje a příslušenství [2], [9], [10], [16]

3.4.1 Tvářecí stroje

Jedná se o výstředníkové lis, které jsou schopny lisovat 100 – 2000 úderů za minutu. Na obrázku 3.22 je vidět výstředníkový mechanismus lisu Bruderer.



Obr. 3.22 Výstředníkový mechanismus

Obr. 3.23 ukazuje konstrukci výstředníku, která dokáže ušetřit až 60 % vynakládané energie, a kloubové spojení, které dokáže využít energii dokonaleji o 40 %. A obr. 3.24 ukazuje aktivní komponenty lisu během lisování.



Obr. 3.23 Snížení namáhání



Obr. 3.24 Aktivní komponenty lisu

Lisy jsou odstupňovány podle síly, kterou dokáží vyvinout – od 180 až po 2500 kN. Na obr. 3.25 je ukázka lisu od firmy Bruderer. Lis vybíráme podle síly, podle velikosti upínacího stolu, výšky sevření a výšky zdvihu.



Obr. 3.25 BSTA 500

3.4.2 Příslušenství lisů

Navíjedla, odvíjedla

Slouží k navíjení či odvíjení pásů materiálu. Dělají se horizontální, vertikální, jednoduché a dvojité. Existují dva principy odvíjení pásu.

- Materiál se odvíjí, dokud se nedotkne spodního plechu odvíjedla; tím se uzemní okruh a zastaví se motor, následně se materiál zpracovává a v momentě, kdy protne pásek optickou bránu, opět se roztočí odvíjení materiálu.
- Rychlost odvíjení materiálu je říditelná. Tuto rychlost nastavujeme o trochu rychleji než je potřeba v lise, aby nebyl pásek napínán.



Obr. 3.26 Vertikální odvíjedlo



Obr. 3.27 Odvíjedlo horizontální

Svářečky pásů

Používají se v případě, kdy nám dojde jedna cívka materiálu. Pásek svařujeme proto, aby se zase nemusel zavádět do nástroje, aby vznikl nekonečný pás.



Obr. 3.28 Svářečka pásu

Kontrolní kamery výlisků

Kamerovým systémem kontrolujeme počet kusů, kvalitu stříhaných ploch, rozměry funkčních ploch a vyosení výlisků z osy.



Obr. 3.29 Kontrolní kamera

4. Návrh technologie výroby součásti

Daná součást byla doposud vyráběna na starém nástroji. Výroba probíhala v kooperaci, na běžném výstředníkovém lise. Nástroj byl konstruován na tento lis; po přesunu nástroje do našeho závodu vybaveného pouze rychloběžnými lisami se přistoupilo k variantě nové konstrukce nástroje. Nástroj musí být zkonstruován na rychloběžný lis BSTA 250. Nástroj bude konstruován jako postupový. Vzhledem k tomu, že na části výlisku nesmějí být otřepy, by bylo nevhodné použít řezání laserem, vodou, popřípadě plazmou.

4.1 Rozbor součásti

Součást je použita pro vedení proudu plastovým výliskem, do kterého se montuje na ruční montáži. Ještě před montáží je na tuto součást navařena svorka. Součást je následně ohnuta v ohýbačce a na konci procesu je stříhána na jednotlivé kusy.

4.1.1 Materiál součásti

Součást je vyráběna z mosazi CuSn4. Z tohoto materiálu se vyrábí proto, aby mohla vést proud. Materiál je dodáván v podobě nekonečného pásu. Je nabroušen přesně na míru, která je následně specifikována dodavateli – firmě Wieland. Základní informace o materiálu nám dává materiálový list, výtah z něj je v tabulce 4.1.

Tabulka 4.1

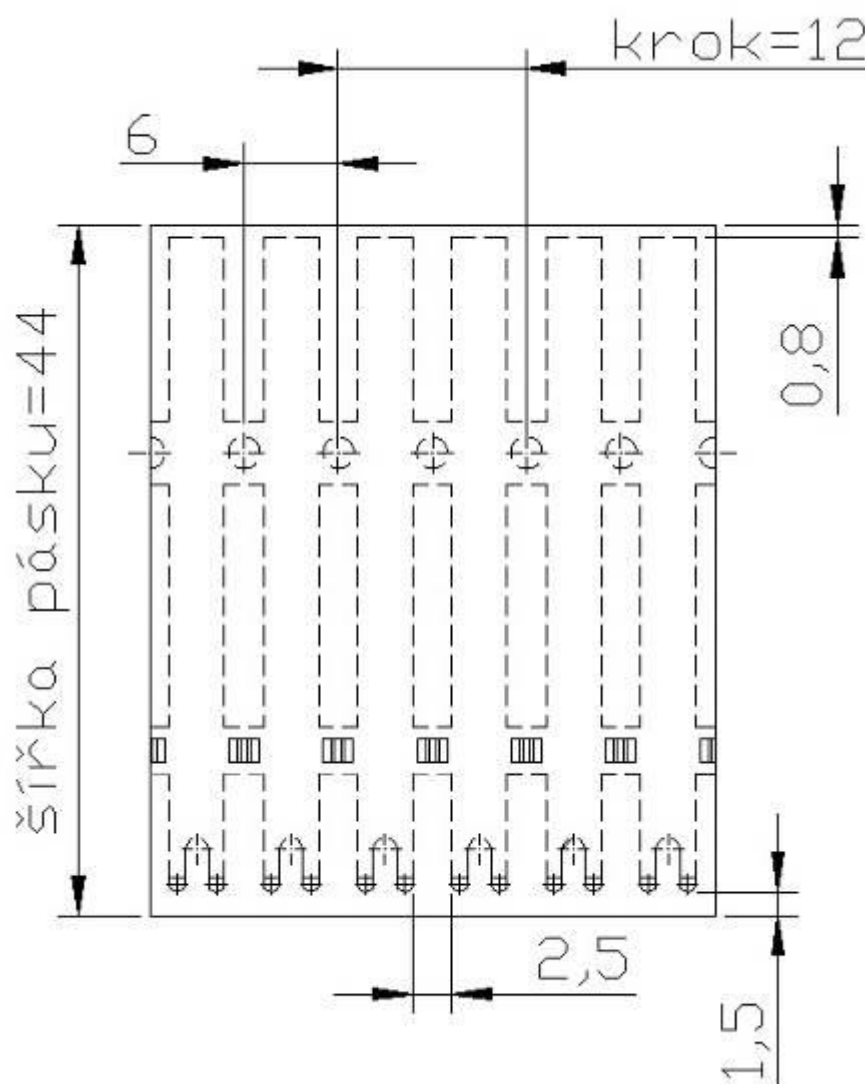
Bronz CuSn4	
Označení materiálu	CuSn4, 2.1016
Mez pevnosti v tahu R_m [Mpa]	540 - 630
Smluvní mez pevnosti v tahu $R_{p0,2}$ [Mpa]	≥ 480
Tažnost A50mm [%]	6
Tvrдость HV	160 - 200
Hustota [g/cm^3]	8,9
Chemické složení:	
% Cu	zbytek
% Sn	3,5 - 4,5
% P	0,01 - 0,4

4.2 Technologické výpočty

Používáme je k získání potřebných údajů a parametrů, podle kterých budeme následně konstruovat nástroj, volit stroj a navrhovat rozměr pásu.

4.2.1 Nástřihový plán

U mého projektu je třeba brát na zřetel, že výlisek je dále zpracováván na dalších stanicích. Není tudíž sypaný a je potřeba ho navinout na cívku. Proto bohužel nejde říci, že tato varianta upořádání na pásku je ta nejvýhodnější z hlediska úspor materiálu. Dá se o ní však říci, že je velice výhodná pro další použití pásku. Proto je zde uvedena jen jedna varianta upořádání výlisků na pásku. Nástřihový plán vychází z předchozího nástroje, a to proto, aby se nemusela měnit šířka pásku, a tím nestoupily náklady na materiál.



Obr. 4.1 Nástřihový plán

Vzhledem k tomu, že se jedná o výrobu z nekonečného pásku, stačí nám pro výpočet využití materiálu pásek široký pouze 6 mm; je to polovina kroku, tuto délku měří přesně jeden výlisek.

Plocha pásu nutná pro vystřížení jednoho výlisku:

$$S_p = h \cdot s = 44 \cdot 6 = 264 \text{ mm}^2 \quad (4.1)$$

kde:

S_p – plocha pásu,

s – šířka pásu,

h – tloušťka jednoho výstřížku.

Plochu jednoho výstřížku zjistíme z parametrického modeláře CATIA. $S_v = 155,085 \text{ mm}^2$

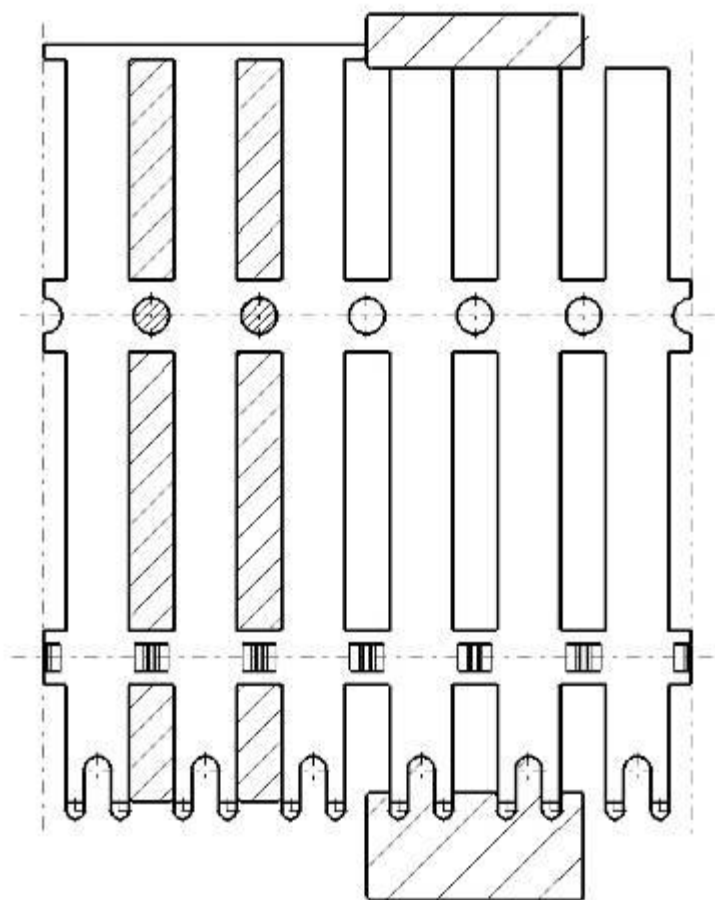
$$k_m = \frac{S_v}{S_p} = \frac{155,085}{264} = 0,59\% \quad (4.2)$$

kde:

S_v – plocha výstřížku,

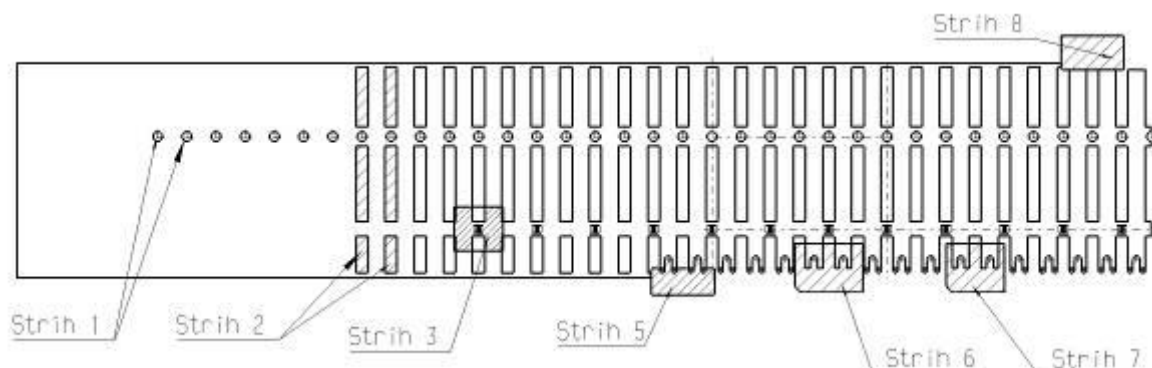
S_p – plocha pásu.

Pro konstrukci nástroje je důležité si navrhnut všechny stříhy do plánů stříhů – viz obr. 4.2
Na obrázku jsou vidět všechny stříhy potřebné k vystřížení výlisku.



Obr. 4.2 Plán stříhů

Následně se udělá komplexnější střižný plán, v němž bude vidět, jak přesně a ve kterých krocích bude výlisek vyroben – viz obr. 4.3.



Obr. 4.3 Komplexní nástřihový plán

Součást bude vystřižena v 8 krocích. Krok 4 je vynechán, kdyby bylo potřeba na nástroji přidat nějakou operaci. Zde je záměrně vynecháno místo pro udělání prolisu, který slouží k vedení v dalších strojích; výlisek se po prvním odlisování vyzkouší ve strojích, do kterých vstupuje; když bude potřeba, přidá se prolis i na místo pro stříh 4. Při kroku jedna jsou vystřiženy dvě díry, které následně slouží jako díry pro hledáčky, pak následuje stříh 2, ve kterém jsou vystřiženy podlouhlé otvory, dále následuje krok 3, který dělá vodící prolis a po něm následuje vystřižení konce tvaru. U něj je potřeba v následujících dvou krocích nejprve odstranit otřep a potom na špičce výlisku srazit hranu. Krok 8 už jen ostříhuje zbytek materiálu, který zůstal nahoře, aby výlisek zakrátil na správnou délku.

4.2.2 Výpočet střižné síly

Střižnou sílu je potřeba vypočítat pro správné určení stroje, na který se má daný nástroj konstruovat. Počítá se pro obvod jednoho stříhu, v mém případě pro dva výlisky. Je potřeba znát mez pevnosti v tahu materiálu, ze kterého se následně vypočítá mez pevnosti ve stříhu. Výpočet je uveden v kapitole 2.3.1. Délku stříhané křivky zjistíme v programu Auto-CAD.

$$F_s = n \cdot L \cdot t \cdot \tau_s = 1,2 \cdot 206,37 \cdot 0,6 \cdot 504 = 74,88 \text{ kN} \quad (4.3)$$

kde:

n – 1 až 1,3 koeficient opotřebení ostří,

L – Délka stříhané křivky (obvod střižných hran) [mm],

t – tloušťka materiálu [mm],

τ_s – napětí ve stříhu (střižný odpor) [MPa].

Výpočet napětí ve stříhu τ_s

$$\tau_s = 0,8 \cdot R_m = 0,8 \cdot 630 = 504 \text{ MPa} \quad (4.4)$$

kde:

R_m – mez pevnosti v tahu [MPa].

4.2.3 Výpočet střížné práce

Při výpočtu střížné práce A postupujeme podle výpočtu v kapitole 2.3.3.

$$A = \lambda \cdot F_s \cdot t = 0,61 \cdot 74,88 \cdot 10^3 \cdot 0,6 = 27,41 \text{ kJ} \quad (4.5)$$

kde:

λ – součinitel plnosti diagramu [-] dle obr. 2.10 $\lambda = 0,61$,

F_s – střížná síla [N],

t – tloušťka stříhaného materiálu [mm].

4.2.4 Určení střížné vůle

Jak už bylo napsáno, střížná vůle se velkou měrou podílí na kvalitě střížného povrchu. Pro tloušťku plechu 0,6 mm je výpočet proveden dle kapitoly 2.2.1, vzorec (2.2):

$$v = 2 \cdot z = 2 \cdot 0,32 \cdot c \cdot t \cdot \sqrt{\tau_s} = 2 \cdot 0,32 \cdot 0,0055 \cdot 0,6 \cdot \sqrt{504} = 0,048 \text{ mm} \quad (4.6)$$

kde:

v – střížná vůle [mm],

t – tloušťka stříhaného materiálu [mm],

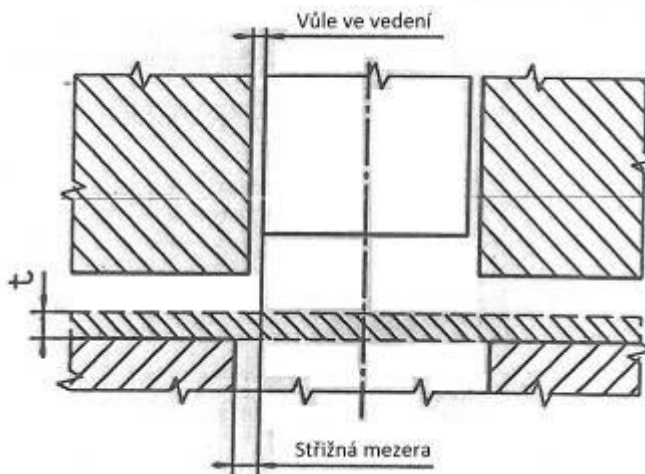
$c = (0,005 - 0,025)$ – součinitel závislý na stupni stříhu [-], volím $c = 0,0055$,

τ_s – mez pevnosti materiálu ve stříhu [MPa].

Výpočet střížné mezery:

$$z = \frac{v}{2} = \frac{0,048}{2} = 0,024 \text{ mm} \quad (4.7)$$

Pro určení střížné mezery jsem musel použít WK (werknorm, závodní normu), která mi pro plech tloušťky 0,6 mm nařizuje $z=0,024^{+0,004}$ mm a 0,007mm vůli ve vedení na jednu stranu. Střížná vůle se předepisuje přímo k výkresu střížnice, střížník je tolerován na tisíciny.



Obr. 4.4 Střížná mezera a vůle ve vedení

4.3 Výběr střížného stroje

Pro vysokorychlostní stříhání je možné použít pouze lisu určeného k takovým lisařským operacím. Dají se použít stroje od firem Bruderer nebo Yamada Dobby. Je však potřeba zvolit správný stroj dle jistých podmínek, které jsou.

- zdvih;
- sevření lisu;
- otvor ve stole umožňující volný propad odpadu popřípadě výstřížku;
- rozměry upínací desky stolu;
- jmenovitá tvářecí síla;
- rychlost zdvihů stroje.

Doporučuje se, aby byl stroj při stálém vytížení využíván maximálně na 80 % jmenovité tvářecí síly.

Vzhledem k velikosti síly by nástroj mohl být umístěn i na lis BSTA 180. Protože však máme ve firmě k dispozici jen BSTA 250 jako nejmenší lis, bude nástroj umístěn na tento stroj. Je samozřejmé, že ke stroji bude připojeno navíjadlo a odvíjelo, protože je potřeba tyto výlisky zpracovávat na dalších pracovištích.

Specifikace stroje je v níže uvedených tabulkách 4.2 a 4.3, kde jsou uvedeny všechny důležité informace. Stroj je samozřejmě vytížen ve 3 osmihodinových směnách, lisují se na něm i jiné výlisky, aby byl plně vytížen. Na obr. 4.5 je znázorněn lis BSTA 250.

Typ stroje	Rok výroby	Posuv	Upínací deska spodní [mm]		Upínací deska horní [mm]		Velikost díry na odpad [mm]		Váha [kg]	Příkon [kw]
			L:	B:	L:	B:	L:	B:		
BSTA 25 H	1978	BBV 202/120	540	530	540	360	430	75	4550	30
BSTA 25 EL	1988	BBV 190/85	650	530	650	360	540	75	5500	30
BSTA 25 H	1979	BBV 202/120	540	530	540	360	430	75	4550	30

Tabulka 4.2 Základní rozměry stroje

Typ stroje	Minimální a maximální počet otáček na daný zdvih [ot./min]										
	Minimální a maximální výška nástroje [mm]										
	Výška zdvihu [mm]										
	13	15	16	19	20	25	26	31	32	35	38
BSTA 25 H	188 238	X	186,5 236,5	185 235	X	182 232	X	X	178,5 228,5	X	175,5 225,5
	100 1500	X	100 1350	100 1240	X	100 1075	X	X	100 950	x	100 875
BSTA 25 EL	188 238	X	186,5 236,5	185 235	X	182 232	X	X	178,5 228,5	X	175,5 225,5
	100 1500	X	100 1350	100 1240	X	100 1075	X	X	100 950	X	100 875
BSTA 25 H	188 238	X	186,5 236,5	185 235	X	182 232	X	X	178,5 228,5	X	175,5 225,5
	100 1500	X	100 1350	100 1240	X	100 1075	X	X	100 950	X	100 875

Tabulka 4.3 Zdvihy, otáčky a zástavbové výšky



Obr. 4.5 BSTA 250

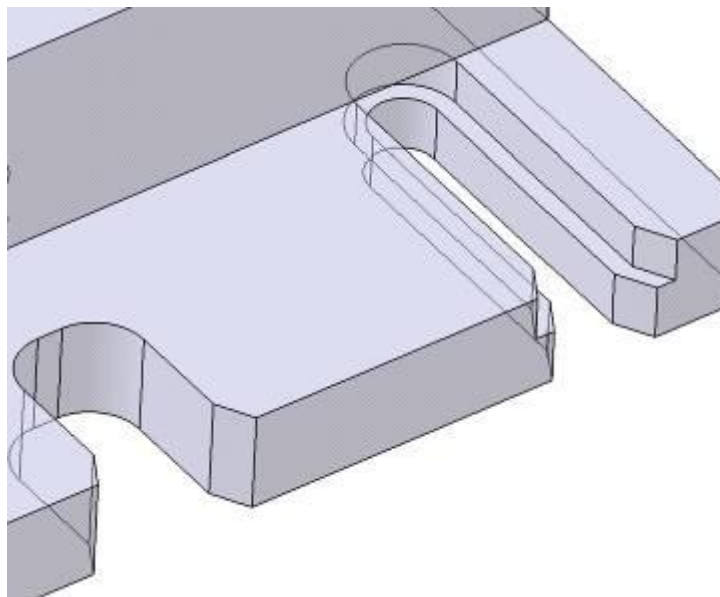
4.4 Návrh konstrukce střižného nástroje

Na úplném začátku samotné konstrukce nástroje je potřeba vyjít z komplexního nástřihového plánu. Na něm je vidět, jak půjdou stříhy po sobě. Nejprve navrhne střižnou desku, ze které následně vychází vnější rozměry modulu nástroje. Střižná deska je osazena výměnnými střižnicemi, tvárnici, vodicími lištami a odpruženými hledacími pouzdry. Pod střižnou deskou je kalená deska spodní. Nad střižnou deskou je vodicí deska. Tato deska vede střižníky, tvárníky a hledáčky. V této desce je umístěn načínací doraz, ten v nástroji může a nemusí být. Nad vodicí deskou je kotevní deska, ve které jsou uloženy všechny střižníky a tvárníky; hledáčky jsou upnuty až v kalené desce horní, která je nad deskou kotevní.

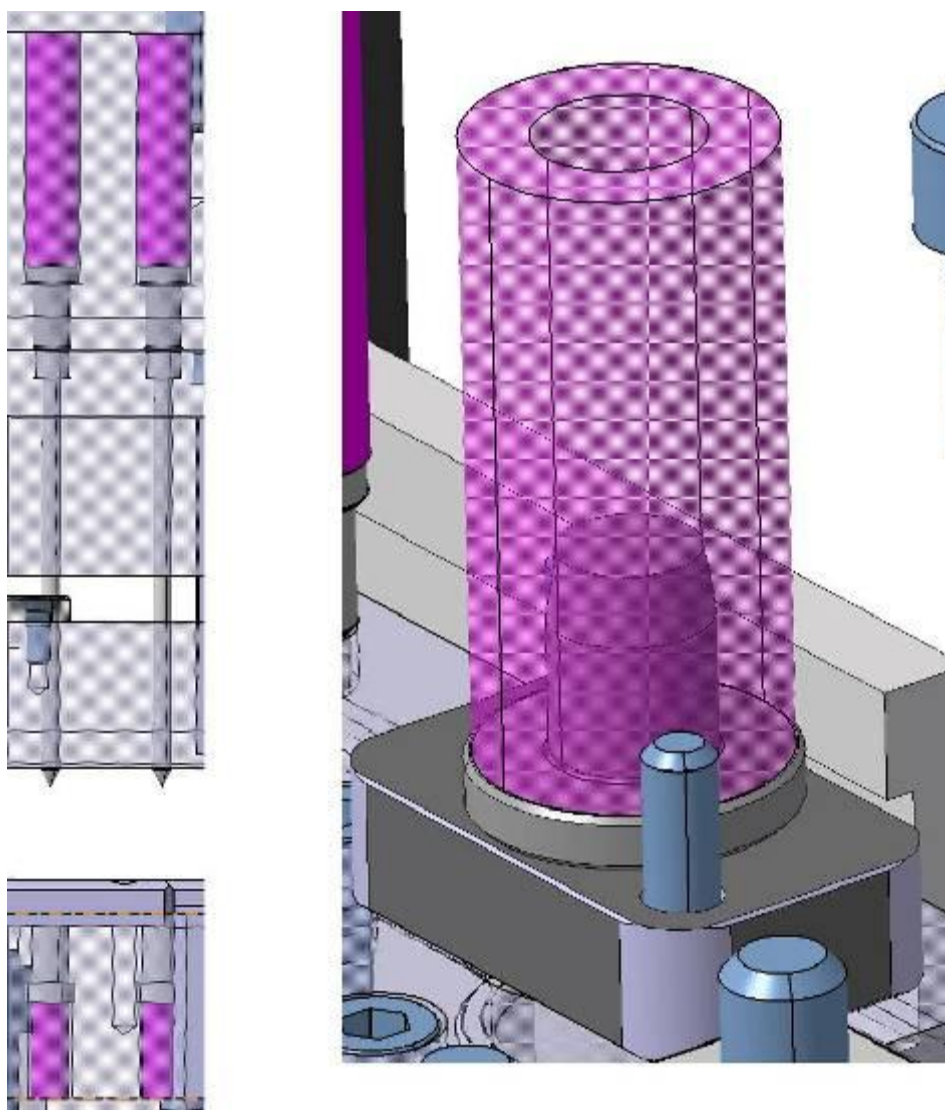
Zbylá část nástroje je složena ze čtyř rozměrných desek, aby byla splněna zástavbová výška nástroje, dvou vodicích sloupků a k nim příslušným vedením a ložiskům. Celý komplet byl objednan od firmy Fibro v českém zastoupení firmy Gore. Sloupky jsou nalisovány do horní upínací desky a zajištěny pomocí červíků; vodicí pouzdra jsou nalisována a zajištěna ve spodní základní desce. Dále se zde nachází zavádění a odvod pásku z a do nástroje. V odvodové části nástroje je umístěno optické laserové čidlo, které počítá počet kusů. Nástroj je vybaven odpruženým hledacím systémem, který zasahuje až do horní základní desky. I vodicí sloupky modulu jsou odpruženy v horní základní desce. Na základních deskách jsou umístěny dosedací válečky, tyto válečky se po prvním rozjezdu nástroje následně nabrousí na patřičnou výšku.

Pro upínání nástroje není potřeba stopky. Nástroj se upíná na drážky na upínacích deskách pomocí rychloupínek, aby byla zaručena rychlá a snadná výměna. V horní upínací desce jsou nachystány závity pro zvedací oka. Je potřeba dbát na čistotu stolu stroje; pokud se nástroj usadí jen trošku zešikma, je tu velká pravděpodobnost, že se budou funkční části velice rychle opotřebovávat, v nejhorším případě je také možné vyštípnutí střižných hran.

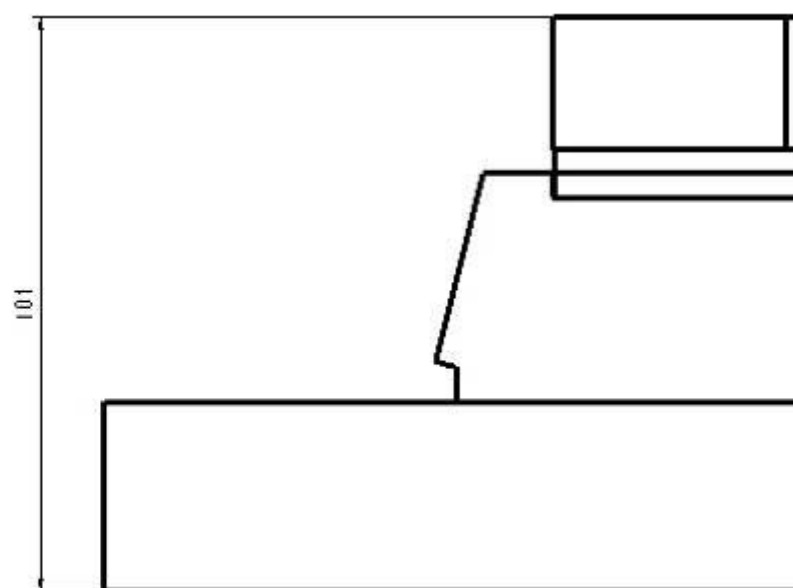
Důležitá je také výška, ve které se nachází horní hrana střižnice od stolu lisu. Je důležité, aby se funkční části nástroje zbytečně neopotřebovávaly. Na obr. 4.9 je tato výška ukázána.



Obr. 4.6 Ukázka rychloupínacích částí nástroje



Obr.4.7 Celé odpružené zahledávání a odpružené vodící sloupky v modulu



Obr. 4.8 Výška střížnice od stolu lisu

5. Ekonomické zhodnocení

Je velice důležitou částí diplomového projektu, díky tomuto hodnocení můžeme určit, kdy a za jakých podmínek se vrátí peníze do projektu vložené. Ve svém ekonomickém hodnocení musím vyjít z podmínek mně známých. Výrobek se dříve vyráběl u našeho dodavatele, z důvodu ekonomické krize byl nástroj stažen zpět do našeho závodu. Proto bylo důležité před celou operací vypočítat, za jak dlouho a zda se nám zaplatí konstrukce a výroba celého nástroje.

5.1 Náklady na materiál

Cena nakupovaného dílce od dodavatele za 1000 ks

$$C_d = 750 \text{ Kč}$$

Váha vstupního materiálu se vypočítá dle vzorce.

$$m_m = S_p \cdot t \cdot \rho \cdot q = 0,000264 \cdot 0,0006 \cdot 8900 \cdot 2400000 = 3160 \text{ kg / rok} \quad (5.1)$$

kde:

m_m – celková váha potřebná za rok,

S_p – plocha pásu,

t – tloušťka materiálu,

ρ – hustota materiálu,

q – počet kusů za rok.

Je potřeba přičíst ještě nějaké kilogramy pro rozběh nástroje. Takže potřebná váha na vylišování celkového počtu kusů je 3300 kg/rok.

Náklady na pořízení materiálu

Cena materiálu z ceníku firmy Wieland: $C_m = 7,8$ eura za ks = 195 Kč/ks.

$$N_m = m_m \cdot C_m = 3300 \cdot 195 = 643500 \text{ Kč} \quad (5.2)$$

kde:

m_m – celková váha potřebná za rok,

C_m – cena materiálu.

Hmotnost jedné součásti

$$m = S_v \cdot t \cdot \rho = (155,085 \cdot 0,6) \cdot 10^{-9} \cdot 8900 = 0,000828 \text{ kg} \quad (5.3)$$

kde:

m_m – celková váha potřebná za rok,

C_m – cena materiálu.

Hmotnost součástí

$$m_c = m \cdot q = 0,000828 \cdot 2400000 = 1990 \text{ kg} \quad (5.4)$$

kde:

m – hmotnost jedné součásti,

q – počet kusů za rok.

Hmotnost odpadu

$$m_o = m_m - m_c = 3400 - 1990 = 1410 \text{ kg} \quad (5.5)$$

kde:

m_m – celková váha potřebná za rok,

m_c – hmotnost součástí.

Zhodnocení odpadu

Cena odpadu $C_o = 154 \text{ Kč/kg}$

$$Z_o = m_o \cdot C_o = 1410 \cdot 154 = 217140 \text{ Kč} \quad (5.6)$$

kde:

m_o – hmotnost odpadu,

C_o – cena odpadu.

Celkové náklady na materiál – po odečtení zhodnocení odpadu

$$N_c = N_m - Z_o = 643500 - 217140 = 426360 \text{ Kč} \quad (5.7)$$

kde:

N_m – náklady na pořízení materiálu,

Z_o – zhodnocení odpadu.

5.2 Náklady na mzdy

Výrobní dělníci pracují ve třech osmihodinových směnách. Stroj pracuje v automatickém cyklu s navíjením a odvíjením materiálu. Na jednu výrobní dávku bude vyrobena měsíční potřeba polotovarů, aby zbytečně nezabíraly místo ve skladu, což by stálo další peníze navíc. Není potřeba počítat na každou směnu ani přípravný, ani kontrolní čas. Kontrolu výlisků zajišťují pracovníci kontroly, vždy při spuštění výroby a pak podle předepsaného harmonogramu.

Přípravný čas je potřeba jen jednou při rozjezdu výroby, tj. je potřeba jej rozpočítat do směn patřící jedné výrobní dávce.

Počet vyrobených součástí za hodinu
Počet zdvihů nástroje je $n_z = 400 \text{ min}^{-1}$.

$$n_h = n_z \cdot 60 = 400 \cdot 60 = 24000 \text{ ks} / \text{hod} \quad (5.8)$$

kde:
 n_z – počet zdvihů za minutu.

Počet potřebných výrobních hodin na výrobu měsíční potřeby – $q_m = 200000 \text{ ks}$.

$$n_{vm} = \frac{q_m}{n_h} = \frac{200000}{24000} = 8,33 \text{ hod} \quad (5.9)$$

kde:
 q_m – měsíční potřeby materiálu,
 n_h – počet vyrobených součástí za hodinu.

Počet hodin na seřízení stroje a nástroje (t_p) = 1,66 hodiny na výrobní cyklus.

Celkový čas výroby měsíční produkce

$$n_{cm} = n_{vm} + t_p = 8,33 + 1,66 = 10 \text{ hod} \quad (5.10)$$

kde:
 n_{vm} – počet hodin potřebný na výrobu měsíční potřeby,
 t_p – přípravný čas.

Celkový čas výroby roční produkce

$$n_c = n_{cm} \cdot 12 = 10 \cdot 12 = 120 \text{ hod} \quad (5.11)$$

kde:
 n_{cm} – celkový čas měsíční produkce.

Počet směn potřebných na výrobu

$$n_s = \frac{n_c}{7,5} = \frac{120}{7,5} = 16 \text{ směm} \quad (5.12)$$

kde:
 n_c – celkový čas výroby na roční produkci.

Celkové náklady na mzdy

$$N_{mz} = n_c \cdot 120 = 120 \cdot 120 = 14400 \text{ Kč} \quad (5.13)$$

kde:

n_c – celkový čas výroby na roční produkci.

Přímé mzdy

Sociální a zdravotní pojištění je 34 % z $N_{mz} \rightarrow SZ = 1,34$

$$P_m = SZ \cdot N_{mz} = 1,34 \cdot 14400 = 19296 \text{ Kč} \quad (5.14)$$

kde:

N_{mz} – celkové náklady na mzdy,

SZ – sociální a zdravotní pojištění.

5.3 Náklady na nástroj

Náklady na nástroj musíme rozdělit na nakupované normalizované díly, na díly, které se kvůli nedostatečnému vybavení nástrojárny musely vyrábět v kooperaci, a díly vyrobené u nás.

Cena nakupovaných dílu u firmy Gore, s. r. o.

Cena dvou vodicích sloupků a k nim určených vodicích pouzder a valivých ložisek.

$$C_g = 11262,6 \text{ Kč}$$

Cena dílů v kooperaci

Číslo výkresu	Název	Ks	Cena
26815-02-P01201	Děrovací střížník	2	2200 Kč
26815-02-M01303	Načínací doraz	1	265 Kč
92122000273	Tlačný kolík	11	3850 Kč
92122000576	Čep pro kolébku	1	275 Kč
26815-02G01608	Čep pod pružinou	4	1100 Kč
92122000442	Vodicí sloupek	4	3850 Kč
92122000591	Kolík pro vstupní ložisko	2	1100 Kč
92122000435	Hledáček	12	6360 Kč
26815-02M01502	Čep pro kolébku	1	500 Kč
92122000526	Vodicí pouzdro	7	7000 Kč
92122000342	Hledací matrice	10	9500 Kč
			36000 Kč

Tabulka 5.1 Ceny dílů v kooperaci

$$C_k = 36000 \text{ Kč}$$

Náklady na výrobu dílů vyráběných na naší strojírně

Viz příloha 1.

$C_s = 267000$ Kč včetně materiálu.

Celkové náklady na výrobu nástroje

$$N_n = C_g + C_k + C_s = 11262,6 + 36000 + 267000 = 315\,000 \text{ Kč} \quad (5.15)$$

kde:

C_g – cena dílu z Gore,

C_k – cena dílu z kooperace,

C_s – cena dílu ze strojírně.

5.4 Náklady na spotřebovanou energii

Příkon lisu $P_L = 30$ kW

Příkon ostatních zařízení (navíjedor, odvíjedor) $P_p = 4$ kW

Celkový příkon zařízení

$$P_c = P_L + P_p = 30 + 5 = 35 \text{ kW} \quad (5.16)$$

kde:

P_p – příkon ostatních zařízení,

P_L – příkon lisu.

Cena elektrické energie $C_e = 3$ Kč/kWh

Náklady na spotřebovanou elektrickou energii

$$N_e = P_c \cdot n_c \cdot C_e = 35 \cdot 120 \cdot 3 = 12600 \text{ Kč} \quad (5.17)$$

kde:

P_c – celkový příkon zařízení,

n_c – celkový čas výroby na roční produkci,

C_e – cena elektrické energie.

5.5 Celkové náklady na mzdy a režii

Výrobní režie 200 % z $P_m \rightarrow VR = 2,0$.

Správní režie 120 % z $P_m \rightarrow SR = 1,2$.

$$N_{mr} = P_m \cdot (VR + SR) = 19296 \cdot (2 + 1,2) = 61747 \text{ Kč} \quad (5.18)$$

kde:

P_m – přímé mzdy,

VR – výrobní režie,

SR – správní režie.

5.6 Cena součásti

Náklady na materiál jedné součásti

$$N_{ml} = \frac{N_c}{q} = \frac{426360}{2400000} = 0,17 \text{ Kč} \quad (5.19)$$

kde:

N_c – celkové náklady na materiál,

q – počet kusů za rok.

Náklady na výrobu jedné součásti

$$N_{vl} = \frac{N_{mr} + N_n}{q} + N_{ml} = \frac{61747 + 315000}{2400000} + 0,17 = 0,32 \text{ Kč} \quad (5.20)$$

kde:

N_{mr} – celkové náklady na mzdy a režii,

q – počet kusů za rok,

N_n – náklady na nástroj,

N_{ml} – náklady na materiál jedné součásti.

Celková cena součásti

Zisk je uvažován 10 % $\rightarrow Z = 1,1$.

$$C_c = N_{vl} \cdot Z = 0,32 \cdot 1,1 = 0,352 \text{ Kč} \quad (5.21)$$

kde:

Z – zisk,

N_{vl} – náklady na výrobu jedné součásti.

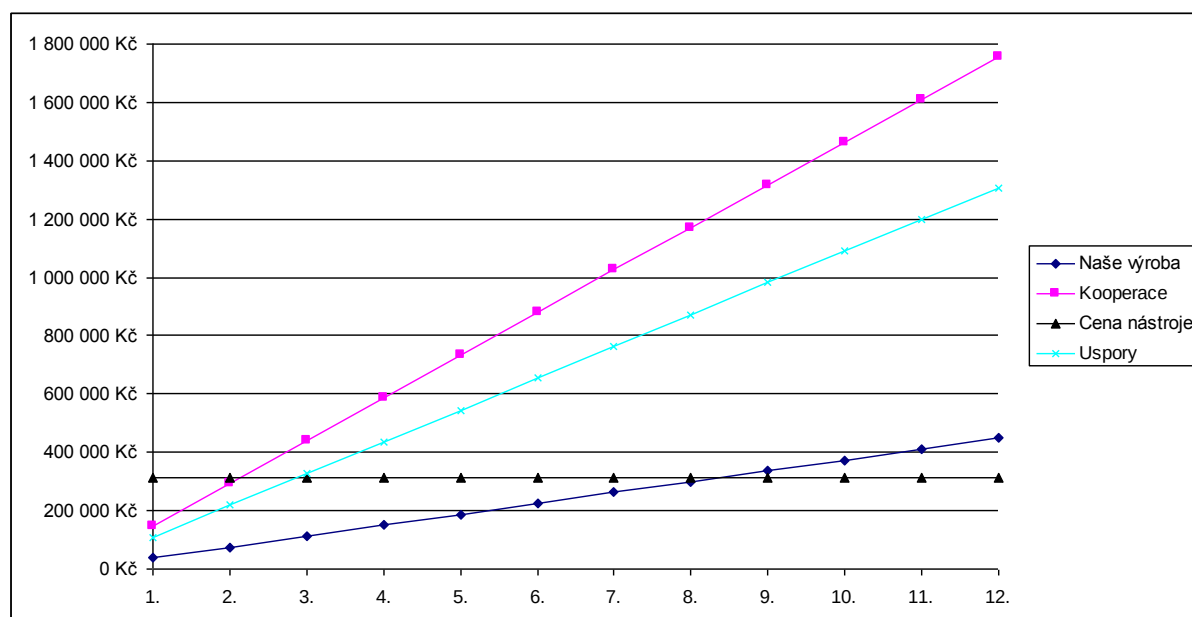
5.7 Určení doby, kdy se zaplatí nový nástroj

Známe cenu jednoho kusu vyráběného v našem závodě a cenu kusu vyráběného u našeho dodavatele. V tabulce 5.1 jsou vidět náklady na výrobu u dodavatele a u nás a pak následná úspora jak v měsíčních částkách, tak i celková ušetřená suma peněz.

Období	Vyrobeno (ks)	Kalkulace	Cena za nákup	Úspora
Leden	200 000	37 400,00 Kč	146 400,00 Kč	109 000,00 Kč
Únor	200 000	37 400,00 Kč	146 400,00 Kč	109 000,00 Kč
Březen	200 000	37 400,00 Kč	146 400,00 Kč	109 000,00 Kč
Duben	200 000	37 400,00 Kč	146 400,00 Kč	109 000,00 Kč
Květen	200 000	37 400,00 Kč	146 400,00 Kč	109 000,00 Kč
Červen	200 000	37 400,00 Kč	146 400,00 Kč	109 000,00 Kč
Červenec	200 000	37 400,00 Kč	146 400,00 Kč	109 000,00 Kč
Srpen	200 000	37 400,00 Kč	146 400,00 Kč	109 000,00 Kč
Září	200 000	37 400,00 Kč	146 400,00 Kč	109 000,00 Kč
Říjen	200 000	37 400,00 Kč	146 400,00 Kč	109 000,00 Kč
Listopad	200 000	37 400,00 Kč	146 400,00 Kč	109 000,00 Kč
Prosinec	200 000	37 400,00 Kč	146 400,00 Kč	109 000,00 Kč
Σ	2 400 000	448 800,00 Kč	1 756 800,00 Kč	1 308 000,00 Kč

Tabulka 5.2

V grafu 5.1 jsou zobrazeny všechny počítané sumy a zároveň i cena nástroje. Jak je vidět, zaplatí se nástroj za 3 měsíce po převozu do našeho závodu.



Graf 5.1

6. Závěr

Cílem práce byla konstrukce nástroje a návrh technologie výroby „kontaktu“. Jde o součást plochého tvaru s malým prolisem, která je vyráběna z Bronzu CuSn4 o tloušťce 0,6 mm v sérii 2 400 000 ks/rok technologií vysokorychlostního stříhání.

Teoretický rozbor je rozdělen na dvě hlavní části. V první části je popsána technologie stříhání, která je dobrým základem pro následné řešení diplomového projektu. K úplnému vyřešení projektu bylo však zapotřebí i druhé části teoretického rozboru, tedy technologií vysokorychlostního stříhání. Je zde podrobně popsáno, co umožňuje využití technologie a za jakých podmínek se dá použít. Pro návrh nástroje bylo potřeba určit si nástřihový plán a plán rozmístění stříhů. Polotovarem pro tuto výrobu je pásek materiálu o tloušťce 0,6 mm a šířce 44 mm od společnosti Wieland. To vedlo ke konstrukci celého nástroje a jeho následné výrobě, která momentálně probíhá. Stroj, na kterém má nástroj pracovat, je od společnosti Bruderer. Typ stroje je jeden ze tří strojů BSTA 250, které u nás ve společnosti máme. Samozřejmě bude využito i navíjedla a odvíjedla, protože dodaný polotovar je ve formě nekonečného pásu a výlisek je navíjen na cívky tak, aby mohl být dále zpracován na dalších strojích.

Z technicko-ekonomického hodnocení vyplývá, že přesun starého nástroje do naší společnosti je pro nás velice výhodný, již za 3 měsíce se nám zaplatí výroba nového nástroje. Vzhledem k počtu kusů 2 400 000 ks/rok a požadované kvalitě výlisku je prakticky nemyslitelné, že by se výrobek vyráběl jinou technologií. Náklady na výrobu jinou technologií by byly nesrovnatelné.

Seznam použitých zdrojů

- [1] BOBČÍK, Ladislav. Střížné nástroje pro malosériovou výrobu. 1. vyd. Praha: SNTL, 1983. 213 s.
- [2] [online]. 2005 [cit. 2011-03-30]. Bruderer press. Dostupné z WWW: <<http://www.bruderer-presses.com/>>
- [3] DVOŘÁK, Roman. Akademie tváření: Stříhání. Průmyslové Spektrum [online]. 2010, 6, [cit. 2011-03-11]. Dostupný z WWW: <<http://www.mmspektrum.com/clanek/akademie-tvareni-strihani>>.
- [4] FOREJT, Milan. Teorie tváření. 2. vyd. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2004. 167 s. ISBN 80-214-2374-7.
- [5] FOREJT, Milan; MIROSLAV, PÍŠKA. Teorie obrábění, Teorie tváření. 1. vyd. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2006. 225 s. ISBN 80-214-2374-9.
- [6] GORE S.R.O [online]. 2011 [cit. 2011-03-11]. Normálie FIBRO. Dostupné z WWW: <www.gore.cz>.
- [7] Gutekunst Federn [online]. 2010 [cit. 2011-04-05]. Gutekunst Federn. Dostupné z WWW: <http://www.federnshop.com/Start_cz.html>.
- [8] HLUCHÝ, Miroslav; JAN, KOLOUCH; RUDOLF, PAŇÁK. Strojírenská technologie 2 – 1. díl. 1. vyd. Praha: Scienta, spol. s.r.o., 1999. 316 s. ISBN 80-7183-117-4.
- [9] KIT invest Trading [online]. 2011 [cit. 2011-04-24]. KIT. Dostupné z WWW: <<http://www.kit-invest.cz/>>.
- [10] Kontrura Tools [online]. 2007 [cit. 2011-04-24]. Kontrura Tools. Dostupné z WWW: <<http://www.konturatools.cz/>>.
- [11] KOTOUČ, Jiří, et al. Tvářecí nástroje. 1. vyd. Praha: ČVUT, 1993. 350 s. ISBN 80-01-01003-1.
- [12] LENFELD, Petr. Technologie II: tváření kovů, zpracování plastů [online]. c2005 [cit. 2011-03-11]. Dostupné z www: <http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta_tkp/sekce/06.htm>
- [13] MAŇAS, Stanislav. Výrobní stroje a zařízení: Tvářecí stroje. Praha: [s.n.], 2006/2007. 90 s. Dostupné z WWW: <http://www3.fs.cvut.cz/web/fileadmin/documents/12135-VSZ/download/obor_stud/VSZ_-_2351054/VSZ_-_Tvareci_stroje.pdf>.
- [14] NOVOTNÝ, Josef; ZDENĚK, LANGER. Stříhání a další způsoby dělení kovových materiálů. 1. vyd. Praha: SNTL, 1980. 216 s.

[15] POKORNÝ, Přemysl. *Výrobní stroje II: Mechanické lisy* [online]. Liberec: [s.n.], 1998 [cit. 2011-03-29]. Dostupné z WWW: <http://stare.kvs.tul.cz/download/obor/skripta_stroje/tvareci.pdf>.

[16] SVOBODA, P.; J. BRANDEJS; F. PROKEŠ. *Základy konstruování – výběr z norem pro konstrukční cvičení*. 2. vyd. Brno: CERM, 2007. 223 s. ISBN 978-80-7204-534-1.

[17] *Wieland* [online]. 2011 [cit. 2011-04-20]. Wieland. Dostupné z WWW: <<http://www.wieland.de/internet/en/startseite.jsp>>.

[18] [online]. 2010, 2010/11/13 [cit. 2011-03-30]. Yamada Dobby. Dostupné z WWW: <<http://yamadadobby.com/>>.

Seznam použitých zkratk a symbolů

Zkratka/symbol	Jednotka	Popis
a	mm	šířka výstřižku
A	J	práce
A _e	mm	rozměr střižnice
A _j	mm	jmenovitý rozměr
A _k	mm	rozměr střižníku
b	mm	délka výstřižku
c	-	součinitel závislý na stupni stříhu
C _e	Kč	cena elektrické energie
C _g	Kč	cena dílu z Gore
C _k	Kč	cena dílů od dodavatele
C _m	Kč	cena materiálu
C _o	Kč	cena odpadu
C _s	Kč	cena dílu ze strojírny
F _s	N	střižná síla
h	mm	tloušťka jednoho výstřižku
κ	-	koeficient vtlačení
k	mm	krok
k _m	%	součinitel využití materiálu
λ	-	součinitel plnosti diagramu
L	mm	délka stříhané křivky (obvod střižných hran)
m	mm	můstek mezi dvěma výstřižky
m ₁	kg	hmotnost jedné součásti
m _c	kg	hmotnost součástí
m _m	kg	celková váha potřebná za rok
m _o	kg	hmotnost odpadu
n	-	koeficient opotřebení ostří
N _c	Kč	celkové náklady na materiál
n _c	hod	celkový čas výroby na roční produkci
n _{cm}	hod	celkový čas měsíční produkce
n _h	ks	počet vyrobených součástí za hodinu
N _m	Kč	náklady na pořízení materiálu
N _{ml}	Kč	náklady na materiál jedné součásti
N _{mr}	Kč	celkové náklady na mzdy a režii
N _{mz}	Kč	celkové náklady na mzdy
N _n	Kč	náklady na nástroj
N _{vl}	Kč	náklady na výrobu jedné součásti

n_{vm}	hod	počet hodin potřebný na výrobu měsíční potřeby
n_z	ot/min.	počet zdvihů za minutu
o	Mm	šířka okrajů od okraje pásu
o_i	Mm	obvod stříhaného objektu v daných střízích
P	N	střížna síla dle společnosti Bruderer
P_c	kW	celkový příkon zařízení
P_L	kW	příkon lisu
P_m	Kč	přímé mzdy
P_p	kW	příkon ostatních zařízení
q_m	ks	měsíční potřeba materiálu
ρ	kg/m ³	hustota materiálu
R_m	MPa	mez pevnosti v tahu
s	Mm	šířka pásu
S_p	mm ²	plocha pásu
SR	%	správní režie
S_v	Mm	celková plocha výstřížků
SZ	%	sociální a zdravotní pojištění
t	Mm	tloušťka stříhaného materiálu
τ	[kg/mm ²]	napětí ve stříhu (střížný odpor)
T	mm	tolerance výlisku
T_e	mm	tolerance střížnice
T_k	mm	tolerance střížníku
t_p	hod	přípravný čas
τ_s	Mpa	mez pevnosti materiálu ve stříhu
v	mm	střížná vůle
VR	%	výrobní režie
x_i	mm	vzdálenost těžiště objektu v ose x od počátku
x_t	mm	vzdálenost těžiště stříhu v ose x od počátku
y_i	mm	vzdálenost těžiště objektu v ose y od počátku
y_t	mm	vzdálenost těžiště stříhu v ose y od počátku
z	mm	střížná mezera
Z	Kč	zisk
Z_o	Kč	zhodnocení odpadu

Seznam příloh

Příloha 1	Výpočet ceny a strojních časů výroby nástroje
Příloha 2	Výrobní výkres kontaktu 26815
Příloha 3	Výkres sestavení 26815-02-Z00001
Příloha 4	Výkres střížné desky 26815-02-M01401
Příloha 5	Výkres střížnice 26815-02-P05401
Příloha 6	Výkres střížníku 26815-02-P05201
Příloha 7	Kusovník 26815-02-K00001