

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING
INSTITUTE OF MANUFACTURING TECHNOLOGY

NÁVRH VARIANT VÝROBY PLOCHÉ SOUČÁSTI Z PLECHU S OTVORY

PROPOSAL FOR THE PRODUCTION OF VARIANTS OF FLAT SHEET METAL PARTS WITH HOLES

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

PETR HAMÁČEK

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

doc. Ing. JINDŘICH ŠPAČEK, CSc.

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Ústav strojírenské technologie

Akademický rok: 2008/2009

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

student(ka): Petr Hamáček

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

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

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

Návrh variant výroby ploché součásti z plechu s otvory

v anglickém jazyce:

Proposal for the production of variants of flat sheet metal parts with holes

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Navržení vhodných technologií výroby zadané součásti (dělením laserem ev. vodním paprskem a stříháním v postupovém nástroji) v podmínkách středněsériové výroby. Výběr nejvhodnější technologie na základě technicko - ekonomických kritérií.

Cíle bakalářské práce:

Vypracování technologického postupu a výkresové dokumentace postupového střížného nástroje a vypracování technologického postupu stříhání vodním paprskem nebo laserem. Ekonomické porovnání obou způsobů a zobecnění kritérií pro jejich užití v praxi.

Seznam odborné literatury:

1. FOREJT, Milan, PÍŠKA, Miroslav. Teorie obrábění, tváření a nástroje. Vysoké učení technické v Brně. 1. vyd. Brno : AKADEMICKÉ NAKLADATELSTVÍ CERM, s.r.o. Brno, 2006. 225 s. ISBN 80-214-2374-9.
2. NOVOTNÝ, Josef, LANGER, Zdeněk. Stříhání a další způsoby dělení kovových materiálů. SNTL. 1. vyd. Praha : SNTL, 1980. 216 s. ISBN 04-234-80.
3. HAŠEK, Vladimír, et al. Lisování. SNTL. 1. vyd. Praha : SNTL, 1971. 543 s. ISBN 04-234-71.
4. Aktuální firemní literatura.

Vedoucí bakalářské práce: doc. Ing. Jindřich Špaček, CSc.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2008/09.


V Brně, dne 18.11.2008

L.S.



doc. Ing. Miroslav Piška, CSc.
Ředitel ústavu





doc. RNDr. Miroslav Doupovec, CSc.
Děkan fakulty

ABSTRAKT

HAMÁČEK Petr: Návrh variant výroby ploché součásti z plechu s otvory. Závěrečná práce bakalářského studia 3. ročníku, školního roku 2008/2009. FSI VUT v Brně, Ústav strojírenské technologie, odbor tváření kovů a plastů.

Bakalářská práce zpracovaná v rámci bakalářského studia oboru B2307 předkládá návrh variant výroby ploché součásti z plechu s otvory. Teoretická část bakalářské práce je věnována teorii stříhání a popisu vlastního střížného procesu. Pro postupový střížný nástroj byl zvolen výstředníkový lis LEPP se jmenovitou střížnou silou 1000 kN. Střížník a střížnice jsou vyrobeny ze slitinové nástrojové oceli třídy 19., tepelně zpracované podle výkresové dokumentace. Postupové stříhadlo využívá normalizovaných komponent a je řešeno formou obvyklého stojánku do výstředníkového lisu. V práci jsou zahrnuty potřebné výpočty pro obě varianty výroby včetně ekonomického zhodnocení.

Klíčová slova: Tváření, postupové stříhání, střížná síla, nástřihový plán, střížnice, řezání laserem.

ABSTRACT

HAMÁČEK Petr: Proposal for the production of variants of flat sheet metal parts with holes. The final work of bachelors studies, 3th grade, academic year 2008/2009. FME VUT in Brno, Institute of manufacturing technology, department of metal forming and plastics.

Bachelor work elaborated in the scope of bachelor studies of the branch B2307 submitted variants of production for flat sheet metal parts with holes. Theoretical part of the thesis is pointed to theory of cutting and description of personal cutting process. Shearing machine LEPP with shearing force 1000 kN is selected. Blanking punch and blanking are made from 19 class alloyed instrumental steels, heat treated according to graphical documentation. Cutting-in machine is using standardized components and it is solved by particular frame into eccentric machine. In the work there are implied necessary calculations for both variants including economical evaluation.

Key words: Chipless working, follow cutting, cutting force, cutting plan, blanking die, cutting laser.

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

HAMÁČEK, P. *Návrh variant výroby ploché součásti z plechu s otvory*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2009. 40 s.
Vedoucí bakalářské práce doc. Ing. Jindřich Špaček, CSc.

ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

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

V dne 25.5.2009

.....
Podpis

PODĚKOVÁNÍ

Tímto děkuji panu doc. Ing. Jindřichu Špačkovi, CSc. za cenné připomínky a rady týkající se zpracování bakalářské práce.

OBSAH

Titulní list

Zadání

Abstrakt

Bibliografická citace

Čestné prohlášení

Poděkování

Obsah

1. Úvod	10
2. Technologie stříhání	11
2.1 Problematika stříhání	11
2.2 Střížný proces	11
2.3 Kvalita a vzhled střížné plochy	12
2.4 Zásady stříhání	13
2.4.1 Nástřihový plán	13
2.5 Spotřeba a využití materiálu	14
2.5.1 Výpočet spotřeby materiálu	14
2.6 Střížná vůle	17
2.6.1 Určení střížné vůle	17
2.7 Střížná síla	18
2.7.1 Určení střížné síly	18
2.7.2 Stírací a protlačovací síla	19
2.8 Těžiště střížných sil	20
2.8.1 Výpočet střížných sil pro jednotlivé úseky	20
2.8.2 Výpočet těžiště pro osu x	21
2.8.3 Výpočet těžiště pro osu y	22
2.8.4 Výsledná poloha těžiště	23
2.9 Střížná práce	23
3. Střížné nástroje	24
3.1 Základní rozdělení	24
3.2 Materiály pro střížné nástroje	25
3.3 Složení střížného nástroje	25
3.3.1 Střížník	25
3.3.2 Střížnice	26
3.4 Technické výpočty	26
3.5 Stroje pro stříhání	27
3.5.1 Volba stroje	28

4. Speciální metoda dělení - laser	28
4.1 Historie a druhy laseru	28
4.2 Možnosti laseru a metody	29
4.2.1 Pálící stroj MAZAK	31
5. Technicko – ekonomické hodnocení	33
5.1 Postupové stříhadlo	33
5.2 Laserové řezání	33
5.3 Ekonomická volba	34
6. Závěr	35

Seznam použitých zdrojů

Seznam použitých symbolů a zkratk

Seznam příloh

Přílohy

1. ÚVOD

Jednou ze složek celosvětové výroby je výroba strojírenská. Ta se dělí na řadu technologických částí, kde každá má svou úlohu ve vývoji a výrobě věcí pro člověka potřebných. Mezi nejznámější patří technologie tváření a obrábění, technologie svařování a slévárenská technologie. V současné době se více jak 90% výrobků zhotovuje některou z technologií tváření. Tu je možné rozdělit do dvou základních oblastí, a to tváření plošné a tváření objemové. Plošné tváření zahrnuje operace stříhání (prostřihování, děrování, přesné stříhání), operace ohýbání (V ohyb, U ohyb, profilování, lemování). Objemové tváření lze rozdělit na tváření za studena a tváření za tepla.

Bakalářská práce se zaměřuje na volbu variant výroby ploché součásti z plechu. První je varianta postupového stříhání. V lisovnách se stříhání používá k přípravě polotovarů (stříhání tabulí plechu na pruhy, dělení svitku plechu na pásy nebo tabule, stříhání profilů na určité délky, na vystřihování součástek z plechu atd.) buď k přímému použití nebo jako polotovarů pro další technologie. Křivku stříhu tvoří obvod výstřížku, střížníku či střížnice. Výstřížek má mít takový tvar, aby se dal zhotovit při nejnižších výrobních nákladech a přitom splňoval svoji funkci. Druhá metoda je dělení materiálu laserem. Jde o progresivní nekonvenční metodu, jež je v dnešní době hojně využívána. Laserem lze dělit téměř všechny technické materiály při vysoké rezné rychlosti a při dobré kvalitě řezu.

Vyráběná součást je kyvná páka (viz. seznam příloh). Její využití je v otevíracím mechanismu výpusti obilných sil, kde plní funkci přenosu momentu táhel. Hlavní rozměry, které je třeba při výrobě sledovat, jsou rozměry týkající se děr. Jejich rozmístění na součásti je důležité pro správnou funkci celého mechanismu otevírání výpusti.

Součást je vyráběna z materiálu 11 373.1 podle ČSN 42 0074, označení dle EN je S235 JRG 1. Je to ocel normalizačně žíhaná, obvyklých jakostí se zaručenou svařitelností, válcovaná za tepla. Je vhodná na součásti konstrukcí a strojů. Materiálové vlastnosti: $R_e = 235$ MPa, $R_m = 380$ MPa. Chemické složení: 0,22% uhlíku; 0,05% fosforu; 0,05% síry. Polotovarem pro výrobu je uvažována tabule plechu o rozměrech (2000 x 1000 x 4) mm. Sériovost je předpokládána na desítky až stovky tisíc kusů ročně.

2. TECHNOLOGIE STŘÍHÁNÍ

2.1 Problematika stříhání [2], [3]

Z hutí se do závodů dodávají kovové materiály v nejrůznější podobě, jako tyče, pásy, profily, tabule. Pro další zpracování ve strojírenské výrobě je třeba z nich oddělit část materiálu jako polotovary pro další zpracování, nebo zhotovit určité tvary v požadované přesnosti, a to nejčastěji stříháním.

Technologie stříhání je tedy nejrozšířenější způsob zpracování plechu, ať už se jedná o finální výrobek nebo polotovary určené k dalšímu zpracování. Podstatou stříhání je působení na materiál vhodně upravenými noži tak, aby se materiál ustříhl v určité ploše. Pro dosažení kvalitního stříhu musíme zachovat určité podmínky, to je ostří nožů, vůle mezi noži atd., což klade určité požadavky především na nástroje a stroje.

Nedodržení podmínek může mít za následek nejen nekvalitní střížnou plochu, ale i vylomení břitů nožů nebo zničení celého stroje. Obsluha stroje musí být seznámena se základními technologickými požadavky kvalitního stříhu, tzn. jaká má být správná vůle mezi noži a jaké může být maximální otupení nožů.

Proces stříhání je svým charakterem limitován určitými vlastnostmi, které zásadně ovlivňují konstrukci výstřižků. V rámci technologičnosti konstrukce je nutné brát v úvahu tyto podmínky, které je třeba respektovat:

- drsnost střížné plochy daná průběhem deformace a jakostí materiálu,
- zkosení střížné plochy vlivem střížné vůle,
- zaoblení a zeslabení tloušťky plechu podél střížné plochy,
- zpevnění materiálu do hloubky přibližně 10 až 20% tloušťky plechu,
- prohnutí některých výstřižků ohybovým momentem obou složek střížné síly.

Zabránit uvedeným nedokonalostem je samozřejmě možné (např. tzv. přesným stříháním, přistříháváním apod.), ovšem za cenu zvýšených výrobních nákladů (dražší nástroje, přídavné operace).

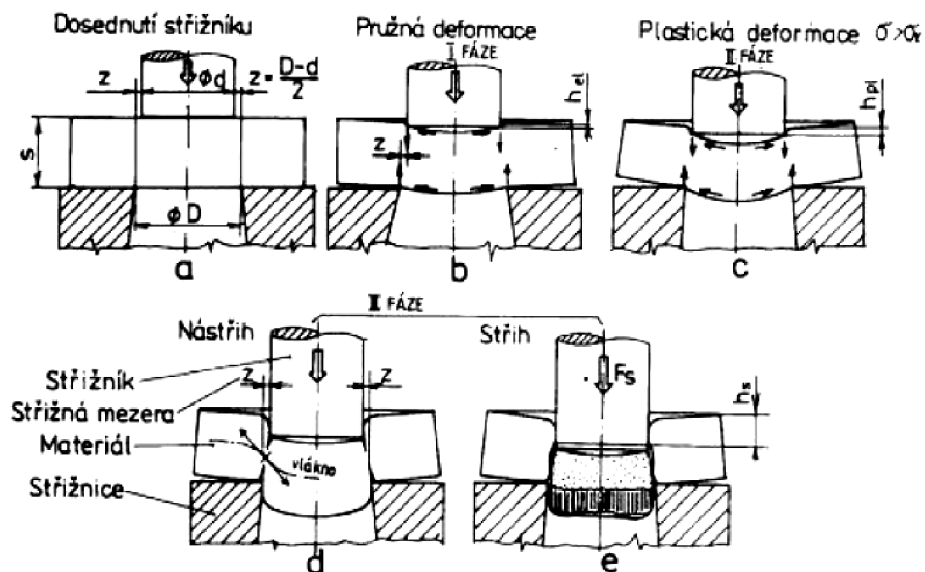
2.2 Střížný proces [1], [2]

Stříhání je základní operací dělení materiálu, která je u kovů zakončena porušením – lomem v ohnisku deformace. Vlastní plastická deformace je sice průvodním, ale zároveň nežádoucím jevem. Materiál se odděluje postupně, nebo současně podél křivky stříhu, vytvořené relativním pohybem dvou břitů, které vytváří střížné – smykové napětí. Průběh stříhání můžeme vysvětlit na příkladu geometrického modelu prostříhování s uzavřenou křivkou stříhu, danou obvodem výstřižku, střížníku a střížnice podle obr.2.1.

Proces stříhání má tři základní fáze. V první fázi po dosednutí střížníku dochází k pružnému vnikání do povrchu stříhaného materiálu. Hloubka vniku závisí na mechanických vlastnostech materiálu a bývá (5 až 8%) tloušťky materiálu.

Ve druhé fázi je napětí ve směru vnikání větší než je mez kluzu kovu a dochází k trvalé plastické deformaci. Podle druhu kovu a jeho mechanických vlastností je hloubka plastického vniknutí (10 až 25%) tloušťky materiálu.

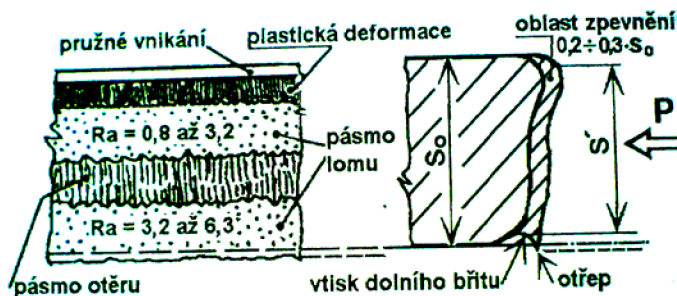
Ve třetí fázi dosáhne napětí meze pevnosti ve stříhu. Nejdříve vznikne tzv. nástřih, tj. vytvoření trhlinek, které je podporováno tahovým normálovým napětím ve směru vláken. Trhliny se rychle šíří, až dojde k oddělení výstřižku. Rychlost vzniku a postupu trhlin je závislá na mechanických vlastnostech stříhaného materiálu a na velikosti střížné vůle.



Obr. 2.1 Průběh stříhání s normální střížnou vůlí

2.3 Kvalita a vzhled střížné plochy [1], [3]

Střížná plocha je tvořena obecně čtyřmi plochami. První je pásmo zaoblení (pružného vniknutí) tzv. první fáze stříhání a představuje oblast pružné deformace. Bývá 6% tloušťky stříhaného materiálu. Druhé pásmo vlastního stříhu tzv. druhé fáze stříhání představuje oblast plastické deformace a činí v závislosti na mechanických vlastnostech stříhaného materiálu 10% jeho tloušťky. Třetí pásmo utržení tzv. třetí fáze stříhání představuje nejširší oblast na střížné ploše. Šířka pásma přibývá s tvrdostí a křehkostí stříhaného materiálu. Dochází zde k oddělení materiálu. Bývá 80% tloušťky stříhaného materiálu. A konečné čtvrté pásmo otláčení od spodního nože. V závislosti na vlastnostech stříhaného materiálu a střížná vůle může dojít v pásmu otláčení k výskytu i ostřiny v důsledku vytažení materiálu tahovými složkami napětí. Bývá 4% tloušťky stříhaného materiálu. Vzhled střížné plochy znázorňuje obr. 2.2.



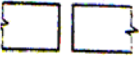





Obr. 2.2 Vzhled střížné plochy

2.4 Zásady stříhání [2], [3]

Výstřížek má mít takový tvar, aby se dal zhotovit při co nejnižších výrobních nákladech a přitom splňoval svoji funkci. Míru technologičnosti zjistíme porovnáním konstrukčních variant.

Z poznatků o stříhání materiálu lze také stanovit určité zásady o technologičnosti konstrukce výstřížku. Tvar výstřížku a jeho uspořádání na pásu ovlivňuje hospodárné využití stříhaného materiálu. Při stříhání vzniká tzv. technologický odpad (závisí na tvaru a uspořádání výstřížku na pásu) a konstrukční odpad (závisí na vnějším a vnitřním tvaru součásti). Hospodárné využití materiálu (pásu) se zjišťuje výpočtem stupně využití materiálu, který má být větší než 70 %.






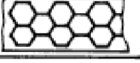




Základem výpočtu spotřeby materiálu (plechu) pro polotovary běžných rozměrů je nástřihový plán, který může být kusový nebo skupinový. Nástřihovým plánem (nástřihem) se nazývá orientace a rozmístění součástí určených ke stříhání na plochu výchozího polotovaru tak, aby odpad byl co nejmenší při splnění podmínky funkční spolehlivosti a snadného zpracování součásti v dalších operacích, obr. 2.3.

Schéma operace	Název operace	Popis operace	Schéma nástroje
	Prosté stříhání	Rozdělování materiálu nebo polotovarů na části.	
	Vystřihování	Vystřihování tvaru z materiálu po uzavřeném obrysu. Vystřižená část tvoří výstřížek.	
	Děrování	Prostřihování otvoru v materiálu nebo polotovaru. Vystřižená část tvoří odpad.	

Obr. 2.3 Vybraná názvosloví stříhacích operací

2.4.1 Nástřihový plán:

Stříháním se vyrábějí součásti buď přímo ze svitků, nebo se pásy připraví rozstřížením tabulí plechu. Způsob uspořádání výstřížku na tabuli má technolog předepsat do tzv. střížného plánu. Po zarovnání okraje lze potom stříhat potřebné pásy i dílce s nejlepším využitím materiálu. Při vystřihování se výstřížky uspořádávají tak, aby využití materiálu bylo co nejlepší. Proto lze využít několik typů stylů rozmístění výstřížku na pás a určení nejvýhodnějšího způsobu, obr.2.4.

Typ stříhu	Stříhací náčrtek	
	s přepážkou	bez přepážky
Přímý		
Jednořadý		
Víceřadý		
Šikmý		
Vstřícný		

Obr. 2.4. Způsoby kombinace výstřížků

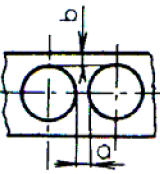
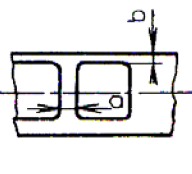
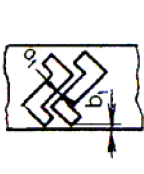
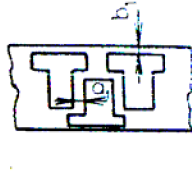
2.5 Spotřeba a využití materiálu [2], [3]

Úspora materiálu patří při stříhání mezi základní hlediska technologičnosti výroby. Pro malý počet vyráběných dílů nemá význam. S rostoucí sériovostí však nabývá na významu a při velkosériové výrobě má větší význam než ostatní zdroje úspor.

Význam úspory materiálu vyplývá z toho, že při lisování bývá 60 až 80% z celkových nákladů na materiál a jen 5 až 15% je podíl přímých mezd. U malosériové výroby je podíl na materiálu asi 30%, na mzdy 20%, na nástroje 25% a zbytek je na režii. Z těchto důvodů je nutné zabývat se úsporou materiálu.

Stříháním se zpracovávají materiály s rozdílnou kvalitou, která však musí vyhovovat funkčním i technologickým požadavkům součásti. Dobře zpracovatelný materiál vyžaduje dostatečnou pevnost a malou tažnost. Tuhost a pevnost výrobků lze zvětšit různými prolisy a žebry. Šířka plechu se obvykle volí co nejužší, ale jen do takového rozměru, aby byl ještě zajištěn dokonalý výstřížek.

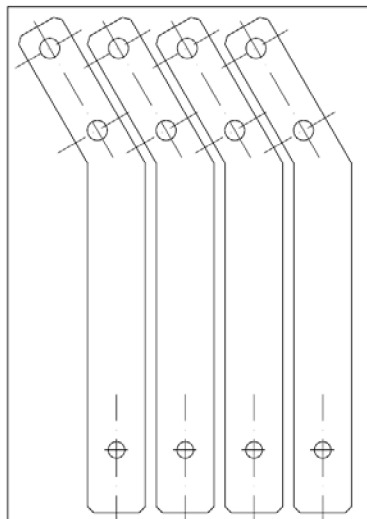
Aby bylo při postupovém stříhu dosaženo dobré kvality a bylo zajištěno dobré podávání odpadu, musí se zachovat určitá šířka mezer mezi výstřížky, střížníkem a okrajem výrobku, obr. 2.5.

Tloušťka materiálu s (mm)	a (mm); b (mm)		a_1 (mm); b_1 (mm)	
				
0,3		1,4		2,3
0,5		1,0		1,8
1,0		1,2		2,0
1,5		1,4		2,2
2,0		1,6		2,5
2,5		1,8		2,8
3,0		2,0		3,0
3,5		2,2		3,2
4,0		2,5		3,5
5,0		3,0		4,0
6,0		3,5		4,5

Obr. 2.5 velikost můstku, mezer a okrajů

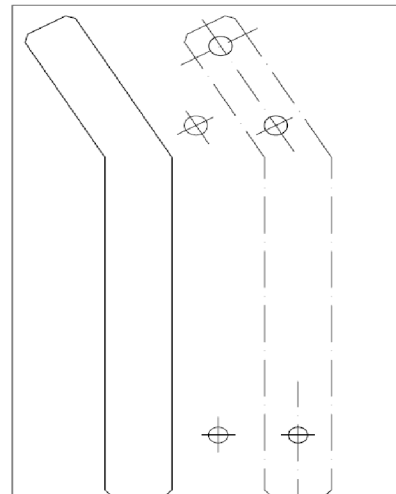
2.5.1 Výpočet spotřeby materiálu:

Vzhledem ke tvaru vyráběné součásti byla zvolena metoda přímá a metoda šikmé s použitím přepážek. Použití této kombinace umožňuje nejvýhodnější rozmístění na polotovaru (pás plechu) a samotná výroba se tím stává jednodušší, obr.2.6 a obr.2.7.



Obr. 2.6. Rozmístění součásti na pásu plechu

3.operace 2.operace 1.operace



Obr. 2.7. Nástřihový plán

Operace v nástřihovém plánu:

- 1. operace** – vsunutí pruhu plechu na první doraz a vystřížení tří děr
- 2. operace** - posunutí plechu na druhý doraz a zahledání
- 3. operace** - vysunutí druhého dorazu a posunutí na doraz koncový a následné vystřížení konečného tvaru součásti.

Výpočet využití materiálu provádíme na rozměr tabule 2000 x 1000 x 4 mm:

Hodnoty zjištěné z tabulek:

-můstek: $a_1 = 3,5\text{mm}$
 -okraj: $b_1 = 7\text{mm}$, $b_1/2 = 3,5\text{mm}$

Výpočet velikosti kroku:

$$k = l_v + a_1 = 18,5 + 3,5 = \underline{22\text{ mm}}$$

Výpočet šířky pásu:

$$\check{s} = \check{s}_v + b_1 = 159 + 7 = \underline{166\text{ mm}}$$

Počet celých pásů z tabule:

$$z_p = \frac{\text{délka tabule}}{\text{šířka pásu}} = \frac{2000}{166} = 12,05 \div \underline{12\text{ pásů}}$$

Počet výstřížků z pásu plechu:

$$z_{kp} = \frac{\text{délka pásu}}{\text{délka kroku}} = \frac{1000}{22} = 45,45 \div \underline{45\text{ ks}}$$

Počet výstřížků z tabule:

$$z_{kt} = z_p \cdot z_{kp} = 12 \cdot 45 = \underline{540\text{ ks}}$$

Potřebný počet tabulí:

$$\frac{\text{počet celkových výstřížků}}{\text{počet výstřížků z tabule}} = \frac{250000}{540} = 462,96 \div \underline{463\text{ tabulí}}$$

Plocha výstřížku:

$$S_v = 2882\text{mm}^2 = \underline{0,002882\text{m}^2}$$

Plocha tabule:

$$S_t = 1000 \cdot 2000 = 2000000\text{mm}^2 = \underline{2\text{m}^2}$$

Plocha všech výstřížků z tabule: $S_{z_v} = z_{kt} \cdot S_v = 540 \cdot 0,002882 = \underline{1,556m^2}$

Procentní využití tabule: $v_m = \frac{S_{z_v}}{S_t} \cdot 100 = \frac{1,556}{2} \cdot 100 = 77,8 \approx \underline{78\%}$

Hmotnost jedné ocelové tabule plechu: $hmot_{1t} = 2 \cdot 1 \cdot 0,004 \cdot 7850 = \underline{62,8kg}$

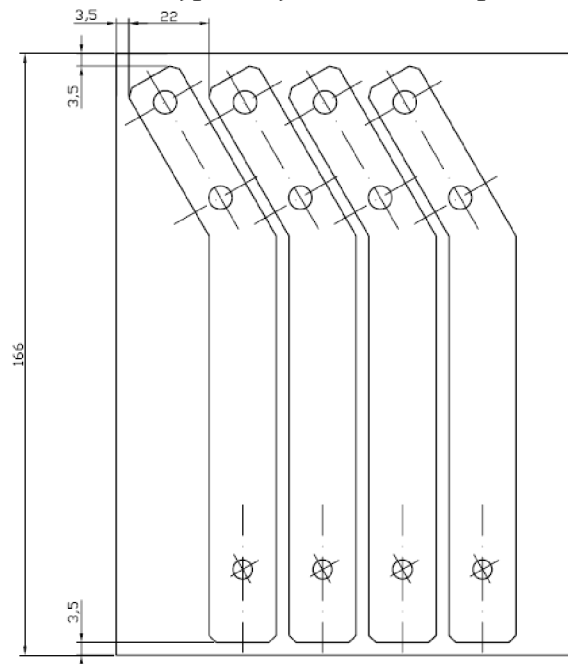
Hmotnost výstřížku: $hmot_v = 0,002882 \cdot 0,004 \cdot 7850 = \underline{0,1kg}$

Celková spotřeba materiálu: $hmot_t = 463 \cdot 62,8 = \underline{29076,4kg}$

Skutečná spotřeba materiálu:
 $hmotnost\ materiálu \cdot \% \text{ využití tabule} = 29076,4 \cdot 0,78 = \underline{22679,6kg}$

Technologický odpad:
 $hmotnost\ celk.\ materiálu - skutečná\ spotřeba = 29076,4 - 22679,6 = \underline{6396,81kg}$

Nástřihový plán vyráběné součásti s vypočtenými hodnotami pro rozmístění na pásu:

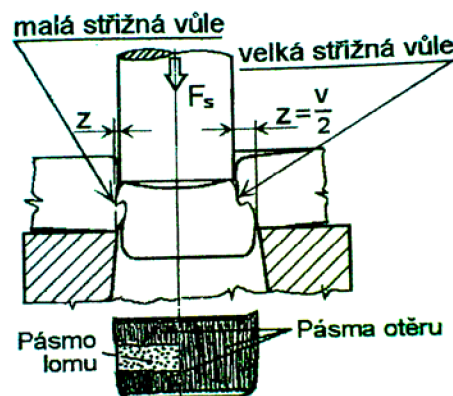


Obr. 2.8. Rozmístění součásti na pásu plechu s rozměry

2.6 Střížná vůle [1], [3]

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. Pro přímé určení velikosti vůle se proto přihlíží k tloušťce stříhaného materiálu a k pevnosti ve stříhu.

Tvrký a křehký materiál se oddělí rychle při malém vniknutí střížných hran nástroje s hloubkou 10% tloušťky materiálu. U měkkých a houževnatých materiálů dochází ke vzniku trhlin – nástřihu a jejich šíření pomalu a hloubka vniknutí střížných hran v okamžiku oddělení bývá až 60% tloušťky materiálu. Při stříhání materiálu s normální vůlí se trhliny po nástřihu šíří tak, že v okamžiku stříhu se setkají. Na obr. 2.9 je schématicky znázorněn nástřih při malé i příliš velké střížné vůli, jejichž důsledkem je rozšíření pásma otěru na větší část střížné plochy.



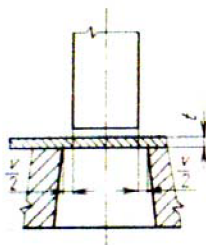
Obr. 2.9 Schéma stříhání při malé a velké střížné vůli

2.6.1 Určení střížné vůle:

Vůle se pro běžné stříhání volí v intervalu (4 až 10)% tloušťky materiálu a lze ji tedy zvolit podle tab.2.10. Pro případ vybrané součásti bylo zvoleno 8% tloušťky materiálu:

$$v = t \cdot 0,08 = 4 \cdot 0,08 = \underline{0,32\text{mm}}$$

Druh materiálu	Střížná vůle (% t)	
	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 6
Měď polotvrdá a tvrdá	6 až 7	6 až 7

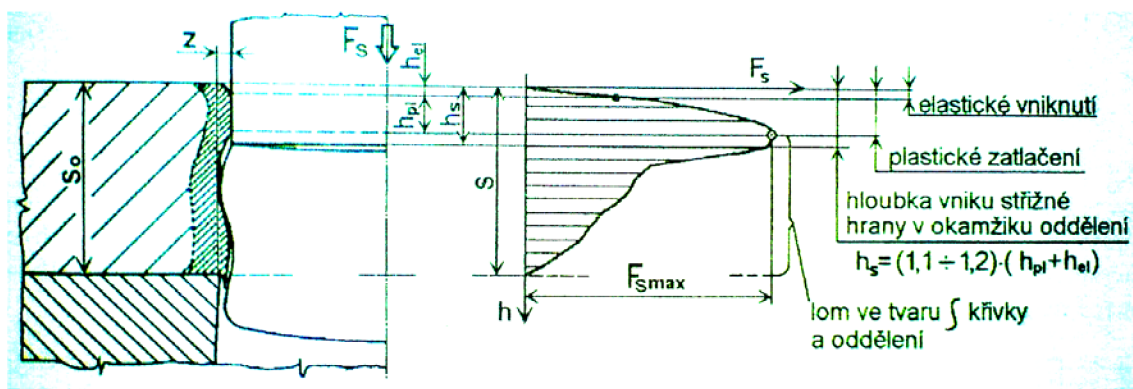


Obr. 2.10 Schéma stříhání při malé a velké střížné vůli

2.7 Střížná síla [1], [2], [3]

Výroba výstřížku vyžaduje mimo stříhadlo ještě vhodný lis. Při stříhání se však nesmí překročit jmenovitá síla lisu, jinak by mohlo dojít k jeho poškození. Proto je třeba znát velikost a průběh střížné síly. Velikost střížné síly se mění v průběhu pracovního zdvihu. V každém okamžiku je dána součinem dvou proměnných veličin, součinem střížného odporu a střížné plochy. Při stříhání paralelními noži roste střížná síla až do maxima. V okamžiku, kdy vznikne ve stříhaném materiálu trhlinka, začne střížná síla klesat. V okamžiku, kdy se materiál oddělí v celé ploše, klesne síla na nulu.

Charakteristický průběh střížné síly v závislosti na hloubce vniknutí střížníku je na obr. 2.11. Po krátké dráze elastického vniknutí břitu-napěchování kovu pod břitem dochází k plastické deformaci-přetvoření. I když se střížná plocha zmenšuje, dochází vlivem lokálního zpevnění k plynulému nárůstu síly. Po vzniku nástřihu (první porušení trhlinami) nastává ještě mírný a plynulý pokles síly až po hloubku vniknutí h_s , kdy dojde k úplnému porušení lomem ve tvaru „S“ křivky a k následnému oddělování výstřížku s výrazným poklesem síly. Lokální snížení výrazného gradientu poklesu střížné síly je způsobeno vzájemným otěrem vytvořené „S“ plochy. Zpevněná oblast zasahuje do 20 až 30 % tloušťky plechu.



Obr. 2.11 Charakteristický průběh střížného procesu a střížné síly

2.7.1 Určení střížné síly:

Na základě střížného procesu, vztahu pro střížné napětí τ_s a geometrických podmínek stříhu je možno pro střížnou sílu při děrování a vystřihování napsat vztah:

$$F_s = n \cdot S \cdot \tau_s = 1,3 \cdot l \cdot t \cdot 0,8 \cdot R_m$$

kde S - plocha stříhu [mm^2]

l - délka stříhu (obvod všech stříhaných částí) [mm]

t - tloušťka stříhaného materiálu [mm]

τ_s - střížný odpor ($0,8 \cdot R_m$) [MPa]

R_m - mez pevnosti [MPa]

$n = (1,2 \text{ až } 1,55)$ je koeficient vlivu vnějších podmínek při stříhání (opotřebení)

Pro přesnější a tedy i výhodnější určení celkové střížné síly je součást rozdělena na několik samostatných částí. U těchto částí je postupně určena délka stříhu a následně i střížná síla. Ostatní parametry pro výpočet síly jsou stejné.

Rozdělení součásti na jednotlivé prvky a jejich výsledné střižné síly:

- díra o průměru 5,3mm:

$$F_{Sk1} = n \cdot S_1 \cdot \tau_S = n \cdot l_1 \cdot t \cdot 0,8 \cdot R_m = 1,3 \cdot 16,65 \cdot 4 \cdot 0,8 \cdot 380 = 26320 \text{ N} \cong \underline{26,32kN}$$

- díra o průměru 6,4mm:

$$F_{Sk2} = n \cdot S_2 \cdot \tau_S = n \cdot l_2 \cdot t \cdot 0,8 \cdot R_m = 1,3 \cdot 20,1 \cdot 4 \cdot 0,8 \cdot 380 = 31774,08 \text{ N} \cong \underline{31,77kN}$$

- obvod součásti:

$$F_{Sob} = n \cdot S_3 \cdot \tau_S = n \cdot l_3 \cdot s \cdot 0,8 \cdot R_m = 1,3 \cdot 359 \cdot 4 \cdot 0,8 \cdot 380 = 567507,2 \text{ N} \cong \underline{567,51kN}$$

Celková střižná síla je dána součtem střižných sil jednotlivých prvků:

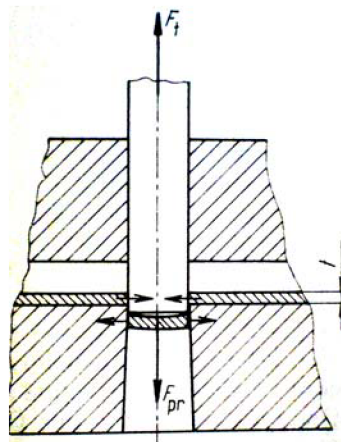
$$F_S = F_{Sk1} + 2 \cdot F_{Sk2} + F_{Sob} = 26320 + 2 \cdot 31774,08 + 567507,2 = 657375,36 \text{ N} = \underline{657,4kN}$$

2.7.2 Stírací a protlačovací síla:

Po vystřížení a děrování ulpi stříhaný materiál vlivem pružné deformace na střížníku a k jeho setření je třeba určité síly. Také pro vytlačení výstřížku ze střížnice je třeba vynaložit určitou sílu F. Obě tyto síly závisí na druhu materiálu, velikosti střižné vůle, tvaru a rozměru křivky stříhu a na druhu mazání. Velikost sil lze vypočítat z velikosti pružných deformací ε_1 a ε_2 . Velikost pružných deformací můžeme stanovit z rozdílů průměru střížníku a vystříženého otvoru. Síly potřebné k setření materiálu ze střížníku a k vysunutí výstřížku ze střížnice lze také určit podle empirických vzorců:

Stírací síla: $F_{st} = c_1 \cdot F_S = 0,11 \cdot 657375,36 = 72311,29 \text{ N} = \underline{72,3kN}$
 ,kde c_1 je koeficient stírání

Protlačovací síla: $F_{pr} = c_2 \cdot F_S = 0,06 \cdot 657375,36 = 39442,52 \text{ N} = \underline{39,44kN}$
 ,kde c_2 je koeficient protlačování



Obr. 2.12 Stírací síla F_1 a protlačovací síla F_{pr}

2.8 Těžiště střížných sil [3]

Stříhá-li se současně několika střížníky na lisu, musí výslednice střížných sil působit v ose lisu. Kdyby tato síla působila mimo osu, byl by beran zatížen značným klopným momentem, což by se projevilo menší přesností výrobků, snížením životnosti nástrojů i předčasným opotřebením lisu.

Působíště lze zjistit výpočtem nebo graficky. Protože tloušťka i mechanické vlastnosti materiálu jsou pro určitý výstřížek stejné, bude velikost střížných sil přímo úměrná obvodu děrovaného otvoru.

Při početní metodě vycházíme z podmínky, která platí pro rovnovážný stav, tj. že součet momentů sil ke zvolené přímce je roven nule. Střížné síly jsou počítány pro jednotlivé úseky střížných nástrojů v závislosti na vzdálenosti v souřadném systému, obr. 2.13.

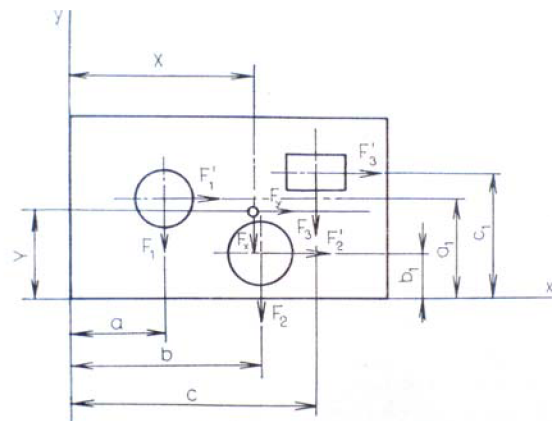
Matematicky vyjádřeno:

$$F_x \cdot X = F_1 \cdot a + F_2 \cdot b + F_3 \cdot c,$$

$$\text{kde } F_x = F_1 + F_2 + F_3.$$

$$\text{Z toho následně plyne: } X = \frac{F_1 \cdot a + F_2 \cdot b + F_3 \cdot c}{F_1 + F_2 + F_3}.$$

Obdobně dostaneme hodnotu Y .



Obr. 2.13 Výpočet těžiště střížných sil - početně

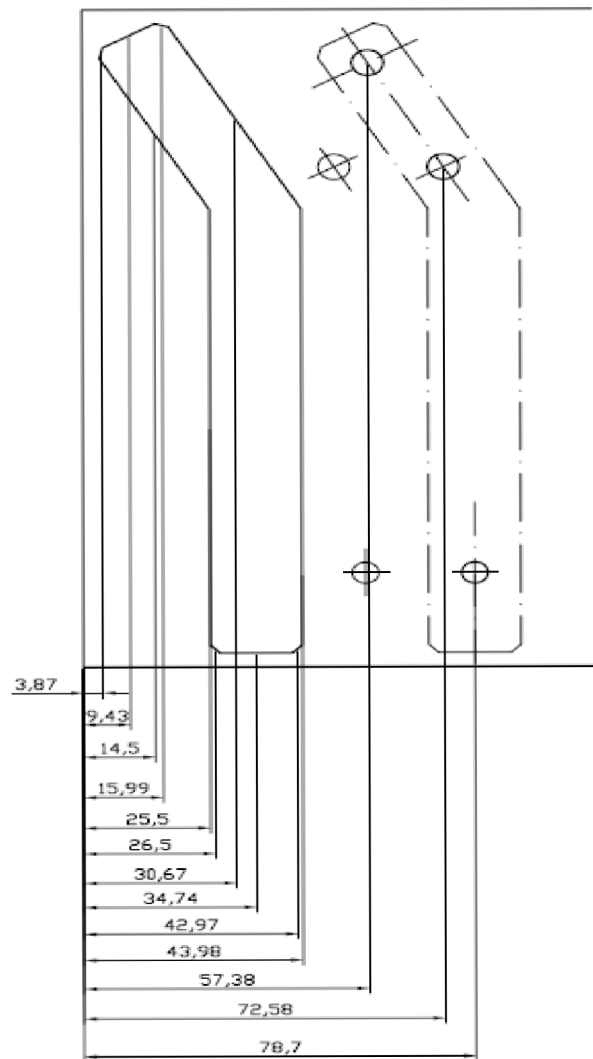
2.8.1 Výpočet střížných sil pro jednotlivé úseky stříhaných částí součástí:

- $F_1 = n \cdot l_1 \cdot t \cdot 0,8 \cdot R_m = 1,3 \cdot 2,83 \cdot 4 \cdot 0,8 \cdot 380 = 4473,6N = \underline{4,47kN}$
- $F_2 = n \cdot l_2 \cdot t \cdot 0,8 \cdot R_m = 1,3 \cdot 12 \cdot 4 \cdot 0,8 \cdot 380 = 18969,6N = \underline{18,97kN}$
- $F_3 = n \cdot l_3 \cdot t \cdot 0,8 \cdot R_m = 1,3 \cdot 44 \cdot 4 \cdot 0,8 \cdot 380 = 69555,2N = \underline{69,6kN}$
- $F_4 = F_1$
- $F_5 = n \cdot l_5 \cdot t \cdot 0,8 \cdot R_m = 1,3 \cdot 110 \cdot 4 \cdot 0,8 \cdot 380 = 173888N = \underline{173,9kN}$
- $F_6 = F_1$
- $F_7 = n \cdot l_7 \cdot t \cdot 0,8 \cdot R_m = 1,3 \cdot 53 \cdot 4 \cdot 0,8 \cdot 380 = 84161,8N = \underline{84,2kN}$
- $F_8 = n \cdot l_8 \cdot t \cdot 0,8 \cdot R_m = 1,3 \cdot 14,5 \cdot 4 \cdot 0,8 \cdot 380 = 22921,6N = \underline{22,92kN}$
- $F_9 = F_1$
- $F_{10} = F_5$
- $F_{11} = n \cdot l_{11} \cdot t \cdot 0,8 \cdot R_m = 1,3 \cdot 20,1 \cdot 4 \cdot 0,8 \cdot 380 = 31774,1N = \underline{31,77kN}$
- $F_{12} = F_{11}$
- $F_{13} = n \cdot l_{13} \cdot t \cdot 0,8 \cdot R_m = 1,3 \cdot 16,65 \cdot 4 \cdot 0,8 \cdot 380 = 26320,32N = \underline{26,32kN}$

2.8.2 Výpočet těžiště pro osu x:

Vzdálenosti působišť jednotlivých sil v ose x:

- $x_1 = 3,87\text{mm}$
- $x_2 = 9,43\text{mm}$
- $x_3 = 14,5\text{mm}$
- $x_4 = 16\text{mm}$
- $x_5 = 25,5\text{mm}$
- $x_6 = 26,5\text{mm}$
- $x_7 = 30,67\text{mm}$
- $x_8 = 34,74\text{mm}$
- $x_9 = 42,97\text{mm}$
- $x_{10} = 43,98\text{mm}$
- $x_{11} = 57,38\text{mm}$
- $x_{12} = 72,58\text{mm}$
- $x_{13} = 78,7\text{mm}$



Obr. 2.14. vzdálenosti jednotlivých částí střížníků od osy x

$$x_T = \frac{\sum_{i=1}^n (F_i \cdot x_i)}{\sum_{i=1}^n F_i} = \frac{F_1 \cdot x_1 + F_2 \cdot x_2 + F_3 \cdot x_3 + F_4 \cdot x_4 + F_5 \cdot x_5 + F_6 \cdot x_6 + F_7 \cdot x_7 + F_8 \cdot x_8 + F_9 \cdot x_9 + F_{10} \cdot x_{10} + F_{11} \cdot x_{11} + F_{12} \cdot x_{12} + F_{13} \cdot x_{13}}{F_1 + F_2 + F_3 + F_4 + F_5 + F_6 + F_7 + F_8 + F_9 + F_{10} + F_{11} + F_{12} + F_{13}}$$

$$x_T = \frac{4,47 \cdot 3,87 + 1,897 \cdot 9,43 + 696 \cdot 14,5 + 4,47 \cdot 16 + 1,739 \cdot 25,5 + 4,47 \cdot 26,5 + 842 \cdot 30,67 + 2,292 \cdot 34,74 + 4,47 \cdot 42,97 + 1,739 \cdot 43,98 + 3,177 \cdot 57,38 + 3,177 \cdot 72,58 + 2,632 \cdot 78,7}{4,47 + 1,897 + 696 + 4,47 + 1,739 + 4,47 + 842 + 2,292 + 4,47 + 1,739 + 3,177 + 3,177 + 2,632}$$

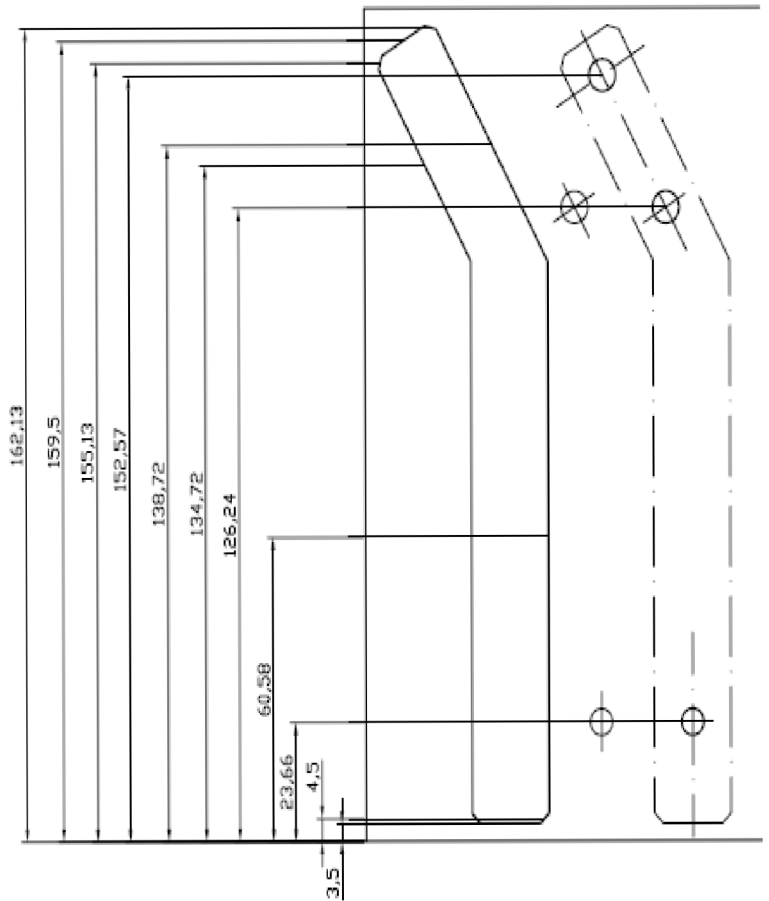
$$x_T = \frac{2324,88}{6574}$$

$$\underline{\underline{x_T = 353,65\text{mm}}}$$

2.8.3 Výpočet těžiště pro osu y:

Vzdálenosti působišť jednotlivých sil v ose y:

- $y_1 = 3,5\text{mm}$
- $y_2 = 4,5\text{mm}$
- $y_3 = 4,5\text{mm}$
- $y_4 = 23,66\text{mm}$
- $y_5 = 60,58\text{mm}$
- $y_6 = 60,58\text{mm}$
- $y_7 = 126,24\text{mm}$
- $y_8 = 134,72\text{mm}$
- $y_9 = 138,72\text{mm}$
- $y_{10} = 152,57\text{mm}$
- $y_{11} = 155,13\text{mm}$
- $y_{12} = 159,5\text{mm}$
- $y_{13} = 162,13\text{mm}$



Obr. 2.15. vzdálenosti jednotlivých částí střížníků od osy y

$$y_T = \frac{\sum_{i=1}^n (F_i \cdot y_i)}{\sum_{i=1}^n F_i} = \frac{F_1 \cdot y_1 + F_2 \cdot y_2 + F_3 \cdot y_3 + F_4 \cdot y_4 + F_5 \cdot y_5 + F_6 \cdot y_6 + F_7 \cdot y_7 + F_8 \cdot y_8 + F_9 \cdot y_9 + F_{10} \cdot y_{10} + F_{11} \cdot y_{11} + F_{12} \cdot y_{12} + F_{13} \cdot y_{13}}{F_1 + F_2 + F_3 + F_4 + F_5 + F_6 + F_7 + F_8 + F_9 + F_{10} + F_{11} + F_{12} + F_{13}}$$

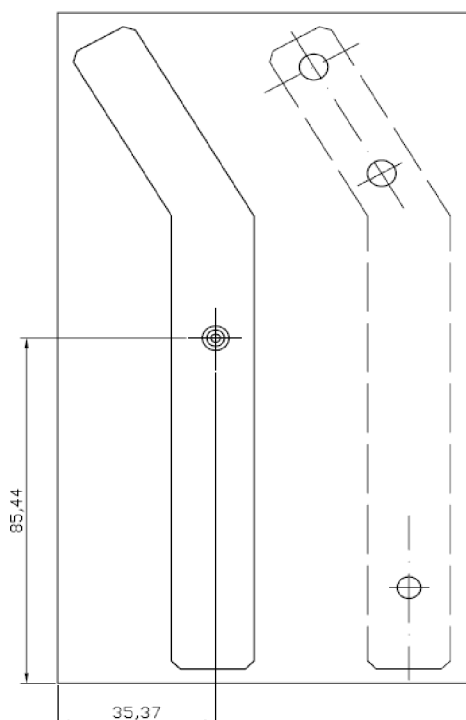
$$y_T = \frac{2292 \cdot 3,5 + 4,47 \cdot 4,5 + 4,47 \cdot 4,5 + 2632 \cdot 23,66 + 1739 \cdot 60,58 + 1739 \cdot 60,58 + 3177 \cdot 126,24 + 696 \cdot 134,72 + 842 \cdot 138,72 + 3177 \cdot 152,57 + 4,47 \cdot 155,13 + 1897 \cdot 159,5 + 4,47 \cdot 162,13}{2292 + 4,47 + 4,47 + 2632 + 1739 + 1739 + 3177 + 696 + 842 + 3177 + 4,47 + 1897 + 4,47}$$

$$y_T = \frac{5617,8}{65,74}$$

$$\underline{\underline{y_T = 85,445\text{mm}}}$$

2.8.4 Výsledná poloha těžiště:

T [35.365; 85.445]



Obr. 2.16. Zobrazení polohy těžiště

2.9 Střížná práce [1], [3]

Střížná práce je práce potřebná k vystřížení dané součásti. Odvíjí se od velikosti střížné síly a hloubky vniknutí střížné hrany. Dostaneme tedy práci potřebnou k ustřížení z integrálu plochy pod čarou znázorňující průběh (velikosti) střížné síly v závislosti na dráze. Dostatečně přesné hodnoty práce dostaneme, nahradíme-li průběh síly eliptickou závislostí.

Plocha půlelipsy, tedy střížná práce je: $A = \frac{\pi}{4} \cdot k \cdot t \cdot F_s(J)$

Výpočet střížné práce pro vyráběnou součást

$$A = \frac{\pi}{4} \cdot k \cdot t \cdot F_s = \frac{\pi \cdot 0,4 \cdot 0,004 \cdot 657375,36}{4} = \underline{826,08J}$$

k – koeficient závislý na tloušťce a druhu materiálu dle ČSN 22 6015 volím k = 0,4

3. STŘÍŽNÉ NÁSTROJE [2], [3]

Při návrhu stříhadla nebo děrovadla se vychází z celé řady činitelů, které hodnotí výrobu součástí podle požadavků na ně kladených. Při tom se přihlíží k minimálním nákladům na jejich výrobu. Volba nástrojů je určena výkresem součástí a charakterem výroby.

Střížné nástroje patří z konstrukčního a technologického hlediska k nejsložitějším tvářecím nástrojům. Jejich vývoj přinesl řadu nových významných typů se zdokonalenou konstrukcí. Technologie výroby střížných nástrojů se převádí z nejobtížnějších řemeslných ručních operací na přesné strojní obrábění. To umožňuje vytvářet optimální střížné podmínky pro jejich funkci. Tím se značně zvyšuje jejich spolehlivost a životnost.

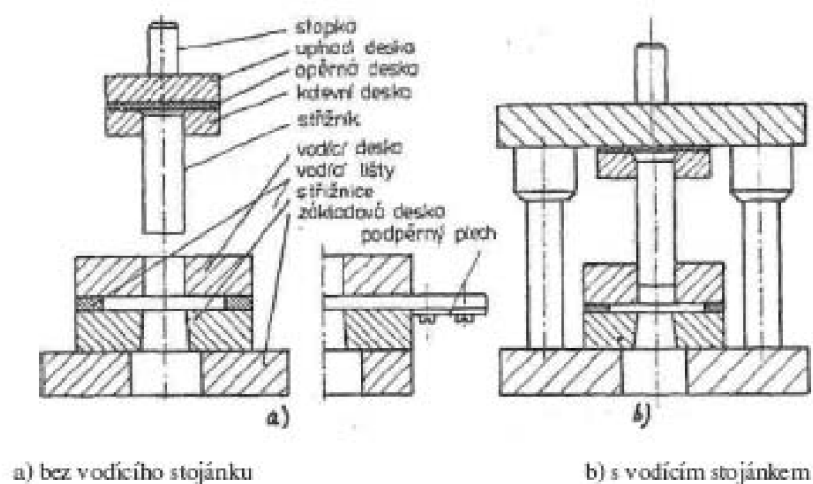
3.1 Základní rozdělení [1], [2], [3]

Střížný nástroj se dle požadavku dělí na (obr. 3.1):

- bez vedení – pro méně přesnou výrobu s malými požadavky na kvalitu střížné plochy, pro výrobu malých a středně velkých výrobků, vyráběných v kusové a malosériové výrobě. Vzájemnou polohu hlavních dílů (střížníku a střížnice) zajišťuje pouze stojan a beran lisu. Vedení střížníku proti střížnici zajišťuje vodící deska.
- s vedením -přesné vedení horní části nástroje vůči spodní zajišťují vodící sloupky.

Podle počtu a druhu operací se nástroje dělí na:

- nástroje jednoduché
- nástroje postupové - dva a více operací jdoucí za sebou (děrování a vystříhování)
- nástroje sloučené - sloučení operací stejného typu (vystříhování v jednom pracovním zdvihu)
- nástroje sdružené – sdružování operací různého typu (stříhání a tažení)



Obr. 3.1 Střížný nástroj bez vedení a s vedením

3.2 Materiály pro střížného nástroje [2], [3]

Na materiálu funkčních částí nástroje a na postupu tepelného zpracování je závislá jak ekonomická otázka, tak i otázka přesnosti nástroje. Dosavadní používané nástrojové materiály jsou na hranicích možností, a proto byla při inovaci nástrojových materiálů věnována zvýšená pozornost. Byly vyvinuty oceli pro výrobu střížných nástrojů, u nichž se vyžaduje maximální odolnost proti opotřebení. Výběr materiálu pro funkční části nástrojů je závislý především na typu nástroje a způsobu namáhání, zpracovávaném materiálu a počtu kusů. Kromě nástrojových ocelí byly vyvinuty také slinuté karbidy s vysokým obsahem kobaltu. Tím lze dosáhnout vyšších výkonů nástrojů.

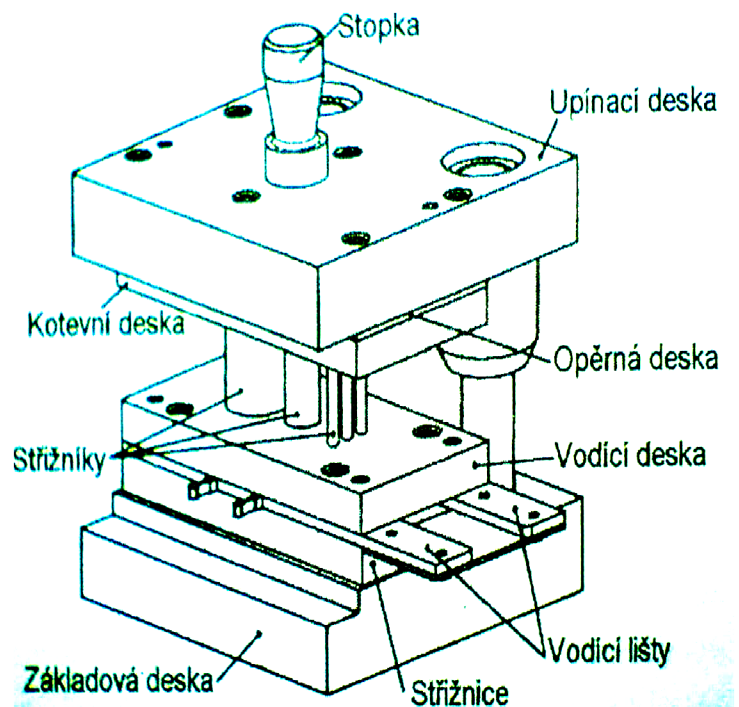
Materiály používané pro konstrukci střížných nástrojů:

- konstrukční oceli - obvyklých jakostí tříd 10 a 11
- ušlechtilé, uhlíkové nebo slitinové oceli tříd 12 až 17
- šedé litiny - používá se jen pro základové části nástrojů
- oceli na odlitky - nahrazuje šedou litinu
- nástrojové oceli - ušlechtilé oceli třídy 19
- ostatní materiály - SK, keramické vložky, slitiny Al, Zn, lité pryskyřice, dřevo,

3.3 Složení střížného nástroje [1], [2], [3]

Vlastní střížný nástroj se skládá z několika na sebe navazujících částí tak, aby byla zajištěna správná funkce nástroje a dosažena požadovaná přesnost výstřížku. Tyto části jsou buď vyráběny dle norem a nebo jsou vyrobeny na zakázku. Tato možnost se volí tehdy, pokud normované rozměry nevyhovují a nebo je třeba vyrobit střížný nástroj specifických rozměrů.

Nástroj lze rozdělit na horní a dolní část, které mohou, ale nemusí být vzájemně spojeny vodícími stojánky. Horní část obsahuje stopku, opěrnou desku, upínací desku, kotevní desku a střížníky. Dolní část nástroje se skládá ze základové desky, vodící lišty, střížnice a vodící desky (pokud má nástroj vedení), obr.3.2.



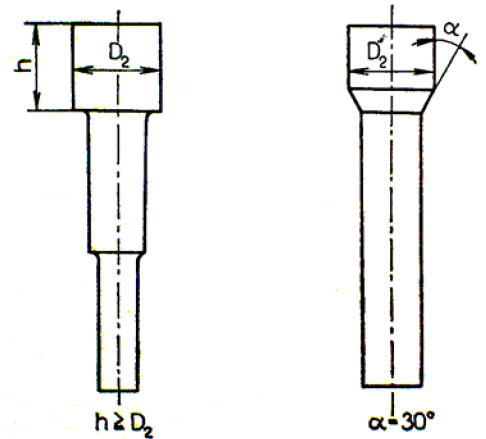
Obr. 3.2 Části střížného nástroje

3.3.1 Střížník:

Střížníky patří mezi základní pracovní elementy nástroje. Vyrábějí se normalizované, kruhových, čtvercových, obdélníkových i jiných tvarů. Pokud je střížník většího rozměru, je možné ho vyrobit jako dělený, kdy je čelo z kvalitní nástrojové oceli a zbytek z méně kvalitní oceli. Střížníky se upínají do kotevní desky. Střížníky je možné roznýtovat, uchytit za

vyrobené osazení nebo zalit do pryskyřice. Materiál střížníků bývá nástrojová ocel 19 435, 19 436, 19 312, 19 422, zušlechtné na tvrdost 61 až 63 HRC.

Pevnost tenkých střížníků se zvětší osazením nebo vkládáním do pouzdra. Používá se různých druhů střížníků. Základním požadavkem u všech je tuhost a kolmost upevnění v kotevní desce. Délky střížníků jsou 60 až 90 mm, odstupňované po 10 mm. Střížníky se vyrábějí z nástrojových ocelí a tepelně se zpracovávají nebo mají činné části ze slinutých karbidů.



Obr. 3.3 Ukázka střížníků

Požadavky na střížník

- kolmý a zalícovaný v kotevní desce
- zajištěný proti pootočení, souosý
- odmagnetizovaný

3.3.2 Střížnice:

Dalším významným prvkem střížného nástroje je střížnice. Podle složitosti a velikosti stříhaného kusu se střížnice vyrábí buď celistvá (pro malé a tvarově jednoduché tvary) nebo skládaná (pro rozměrné a tvarově složité součásti). Skládané střížnice mají větší životnost, jelikož je zde možnost vyměnitelnosti. Vložky a díly střížnice jsou výrobně jednodušší a levnější než střížnice celistvá. Materiálem bývá nástrojová ocel 19 436, 19 191, 19 312 zušlechtné na 60 až 62 HRC.

Požadavky na střížnici

- střížnice musí být vyrobená bez přechodů a musí být broušená,
- ve vodícím stojánku zalícovaná se správným předpětím,
- v zeslabených místech podepřená ze spodu tvarovými vložkami,

3.4 Technické výpočty [2], [3]

Výrobkem je výstřížek:

- střížník:

Rozměr 2,83mm:

$$RAV = (JR - V + TA) - TA = (2,83 - 0,32 + 0,025) - 0,025 = \underline{2,535_{-0,025}^0 [mm]}$$

Rozměr 12mm:

$$RAV = (JR - V + TA) - TA = (12 - 0,32 + 0,040) - 0,040 = \underline{11,72_{-0,040}^0 [mm]}$$

Rozměr 14,5mm:

$$RAV = (JR - V + TA) - TA = (14,5 - 0,32 + 0,040) - 0,040 = \underline{14,22_{-0,040}^0 [mm]}$$

Rozměr 44mm:

$$RAV = (JR - V + TA) - TA = (44 - 0,32 + 0,062) - 0,062 = \underline{43,742_{-0,062}^0 [mm]}$$

Rozměr 53mm:

$$RAV = (JR - V + TA) - TA = (53 - 0,32 + 0,062) - 0,062 = \underline{52,742_{-0,062}^0 [mm]}$$

Rozměr 110mm:

$$RAV = (JR - V + TA) - TA = (110 - 0,32 + 0,062) - 0,062 = \underline{109,742_{-0,062}^0 [mm]}$$

- střížnice:
Rozměr 2,83mm:
 $REV = (JR - P) + TE = (2,83 - 0,1) + 0,036 = \underline{2,73_0^{+0,036} [mm]}$
Rozměr 12mm:
 $REV = (JR - P) + TE = (12 - 0,17) + 0,063 = \underline{11,83_0^{+0,063} [mm]}$
Rozměr 14,5mm:
 $REV = (JR - P) + TE = (14,5 - 0,17) + 0,063 = \underline{14,33_0^{+0,063} [mm]}$
Rozměr 44mm:
 $REV = (JR - P) + TE = (44 - 0,25) + 0,1 = \underline{43,75_0^{+0,1} [mm]}$
Rozměr 53mm:
 $REV = (JR - P) + TE = (53 - 0,25) + 0,1 = \underline{52,75_0^{+0,1} [mm]}$
Rozměr 110mm:
 $REV = (JR - P) + TE = (110 - 0,25) + 0,1 = \underline{109,75_0^{+0,1} [mm]}$

Výrobkem je otvor:

- střížník:
Díra Ø 5,3mm:
 $RED = (JR + P) - TA = (5,3 + 0,1) - 0,025 = \underline{5,4_{-0,025}^0 [mm]}$
Díra Ø 6,4mm:
 $RED = (JR + P) - TA = (6,4 + 0,1) - 0,025 = \underline{6,5_{-0,025}^0 [mm]}$
- střížnice:
Díra Ø 5,3mm:
 $RED = (JR + V - TE) + TE = (5,3 + 0,32 - 0,036) + 0,036 = \underline{5,584_0^{+0,036} [mm]}$
Díra Ø 6,4mm:
 $RED = (JR + V - TE) + TE = (6,4 + 0,32 - 0,036) + 0,036 = \underline{6,684_0^{+0,036} [mm]}$

3.5 Stroje pro stříhání [3]

Pro stříhání se mohou použít universální tvářecí stroje-lisy nebo jednoúčelové stroje uzpůsobené pro určitý způsob stříhání. Mezi universální tvářecí stroje se střížnými nástroji patří klikové lisy, výstředníkové lisy, hydraulické lisy. Jednoúčelové stroje lze rozdělit na nůžky na plech, vysekávací lisy na plech a děrovací lisy.

Podle velikosti se dělí lisy na:

- lehké - jmenovitá síla $F_j < 500$ [kN]
- střední - $F_j = 500$ až 5000 [kN]
- těžké - $F_j > 5000$ [kN]

Volba použitého převodového mechanismu závisí na charakteristickém tvářecím pochodu a délce zdvihu: krátký zdvih je $1 \div 3$ mm, střední zdvih je $3 \div 20$ mm, dlouhý zdvih je 100 a více mm.

3.5.1 Volba stroje:

Základním prvkem pro volbu stroje je střížná síla. Při volbě lisu volíme lis o jmenovité síle o 20% větší, než je síla potřebná pro vystřížení součásti. Důvodem je zajištění provedení stříhu s co nejmenším rizikem poškození stroje či střížného nástroje. Po příslušných výpočtech byl zvolen lis výstředníkový o jmenovité síle 1000kN (viz. seznam příloh).

4. SPECIÁLNÍ METODA DĚLENÍ – LASER

4.1 Historie a druhy laseru [3], [4], [5]

Název LASER vznikl ze začátečních písmen anglického popisu samotné podstaty jeho principu činnosti Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation – zesílení světla stimulovanou emisí záření. Na počátku století M. Planck, N. Bohr a A. Einstein formulovali základní zákony kvantové elektroniky a podstatu vynucené emise záření popsal v roce 1917 Albert Einstein. První laserový efekt se podařilo dosáhnout v krystalu syntetického rubínu Theodoru Maimanovi v r. 1960. Od té doby pronikají aplikace laseru téměř do všech oblastí lidské činnosti od fyzikálních aplikací, měření délek, medicíny, holografie, přenosu informací až po výkonné lasery ve strojírenství a vojenské technice.

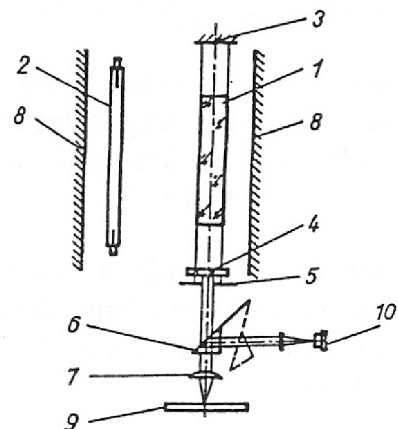
Laserovým paprskem lze provádět dělení plechů, tyčí a profilů. Princip je založen na stimulovaném záření, tj. na zesílení světla prostřednictvím emise záření. Laser je světelný zdroj, který vyniká světelnou charakteristikou, jaká se nevyskytuje u normálních světelných zdrojů, jako je např. žhavicí se žárovka.

Lasery se od sebe liší typem aktivního prostředí, výkonem, účinností, provozními podmínkami a vlnovou délkou a podle toho se dělí na:

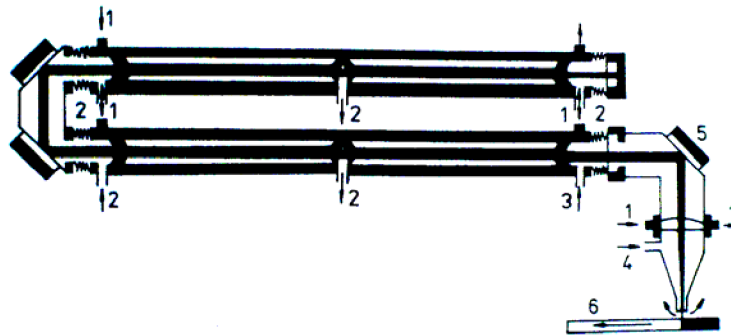
- **Lasery v pevné fázi** – médium u těchto laserů jsou ionty vzácných zemin nebo jiné prvky. Nejčastějším krystalem laserů v pevné fázi je rubín (Al_2O_3) aktivovaný ionty Cr^{3+} . Buzení je optické. Používané zdroje nejsou monochromatické, mají široké spektrum vyzařování a k buzení aktivního prostředí se využívá jejich úzké spektrální oblasti.

Obr. 4.1 Schéma pevnolátkového laseru

- 1 - aktivní prostředí (výbrus)
- 2 - výbojka
- 3 - zrcadlo se 100% odrazivostí
- 4 - zrcadlo s odrazivostí 80 – 90%
- 5 - clona
- 6 - optický hranol
- 7 - zaostřovací optika
- 8 - eliptická reflexní dutina
- 9 - svařovaný materiál
- 10 - pozorovací optika



- **Lasery plynové** – médium těchto laserů je plyn nebo směs plynů. Buzení není optické, ale využívá výboje v plynu. Nejznámější náplní komerčně vyráběných laserů je směs hélia a neónu. Kromě těchto směsí se používá i mnoho jiných plynů, např. CO_2 . pro plynové lasery je charakteristický kontinuální provoz.



Obr. 7.23. Kontinuálny CO₂ laser Eurolas GM (8 kW)
 1 — chladiaca kvapalina, 2 — laserový plyn, 3 — plyn, 4 — pomocný plyn, resp. ochranný plyn,
 5 — laserová hlava (rezacia hlava), 6 — rezaný materiál

Obr. 4.2 Schéma plynového laseru s podélným prouděním

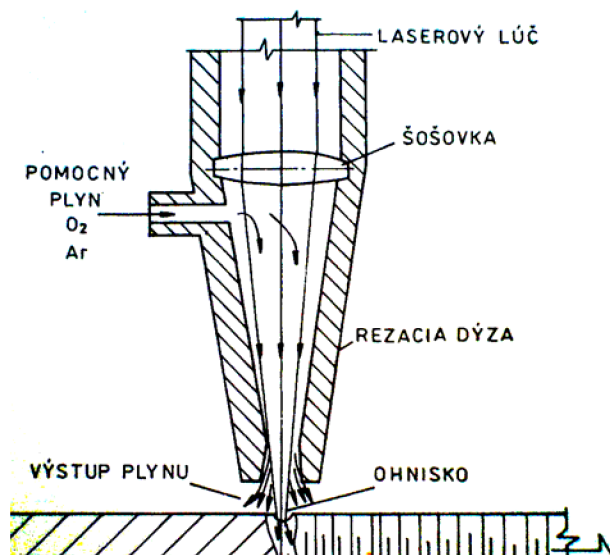
- **Lasery polovodičové** – mají široké emisní pásy a velkou koncentraci aktivních částic. Pro buzení se používá vnějšího elektrického pole, optického buzení nebo buzení s elektronovým svazkem. Polovodičové lasery pracují v impulsním provozu. Kontinuální provoz je možný jen za extrémně nízkých teplot.

Z hlediska průmyslového využití laserů je nejdůležitější projekce laserové energie o vysoké koncentraci do malé plochy. Laserů se využívá především pro obrábění a dělení kovových i nekovových materiálů. Přednost laserů je v tom, že nástroj nepřichází do přímého kontaktu s obráběným nebo zpracovávaným materiálem a že vzniká malé množství odpadu.

Při dělení materiálu laserovým paprskem pracuje zařízení s proudem plynové směsi, která je složena z hélia a z nepatrného podílu dusíku nebo oxidu uhličitého. Jako ochranný plyn se používá kyslík nebo dusík. Metoda je vhodná převážně pro automatické řízení pracovního procesu. Spáry provedené laserovým paprskem jsou ostré, bez otřepů, neboť se materiál následkem velmi vysoké teploty paprsku okamžitě vypařuje. Při bezdotykovém, a tedy absolutně čistém řezu laserem není zpravidla zapotřebí další opracování. V důsledku rychlosti dělicího pochodu nedochází k prohřátí oblasti sousedící s řeznou spárou, takže odpadá nebezpečí zborcení. Experimentálně bylo odzkoušeno stříhání (řezání) na ocelovém plechu, oboustranně pocínovaném plechu, austenitické oceli a titanovém plechu tloušťky až 40mm.

4.2 Možnosti laseru a metody [3], [4], [5], [6]

Laserový paprsek bývá kruhového průřezu o průměru cca 0,05 mm, a proto lze vnitřní rohy řezat s minimálním rádiusem. Vnější rohy lze řezat zcela ostré. Jiné tvarové omezení jsou závislé na množství tepla, které je do řezaného materiálu přivedeno. Je tedy možné obecně říci, že čím je řezaný materiál tenčí, tím je řezání rychlejší a tudíž je méně vneseného tepla do materiálu a tím je menší omezení tvaru. Při řezání laserem vznikají jen malé úkosy řezných ploch, které jsou ze všech metod tepelného dělení nejmenší. Velikost úkosu je závislá na tloušťce řezaného materiálu. U tenkých materiálů jsou řezné plochy takřka kolmé, u materiálů o tloušťce cca 10 mm je úkos řezné plochy přibližně jeden stupeň. Vzdálenost řezací trysky od povrchu materiálu je velmi malá - do 1mm a je sledována kapacitním nebo dotykovým čidlem.



Obr. 4.3 Princip řezání laseru

Rychlost řezání a velikost dělené spáry při stříhání různých materiálů laserovým paprskem je na obr.4.4.

Druh materiálu	Tloušťka s (mm)	Rychlost stříhání v ($m \text{ min}^{-1}$)	Spára (mm)
11 373	1,0	3,0	0,1
	3,0	0,6	0,2
ocelový plech oboustranně pocínovaný	0,75	3,5	0,1
austenitická ocel 18 % Cr, 8 % Ni	1,0	1,5	0,1
	3,0	0,1	—
ocel legovaná titanem	2,0	18,0	0,2
	10,0	2,8	0,5
	40,0	0,5	3,5

Obr. 4.4 Rychlost řezání a velikost dělené spáry při řezání různých materiálů laserovým paprskem

- **Tavné řezání** používá jako pracovní plyn dusík o tlaku v rozmezí 10 až 15 barů a používá se pro vysokolegované oceli, měď, hliník, nikl a jejich slitiny i pro nekovové materiály jako je keramika, plexisklo, dřevo, atd.
- **Oxidační řezání** se od tavného liší především použitím kyslíku jako pracovního plynu a jeho nižším tlakem cca 3 až 5 barů. Základem řezání je exotermická reakce kyslíku s řezaným materiálem, která probíhá při příslušné zápalné (reakční) teplotě kovu. Oxidační řezání se využívá pro nelegovanou až středně legovanou ocel, poněvadž u ostatních kovů kyslík způsobuje výraznou oxidaci řezných hran. U nelegovaných ocelí je řezná plocha hladká s tenkou vrstvou oxidů.

Laserové řezání se vyznačuje těmito výhodami:

- lze řezat téměř všechny technické materiály,
- řezné rychlosti jsou vysoké – v metrech až desítkách metrů za minutu,
- tloušťka řezu u oceli dosahuje až 25 mm,
- přesnost řezání je vysoká cca 0,05 až 0,1 mm na jeden metr délky řezu,
- velmi dobrá kvalita řezných ploch s drsností cca Ra 1,6,
- lze provádět rovinné i prostorové řezy,
- vlivem snadné regulace výkonu je kvalita řezu rovnoměrná na celé řezné ploše včetně, rohů, kde je výkon laseru redukován v závislosti na rychlosti pohybu řezné hlavy,
- úzká řezná spára – fokusace laserového svazku na průměr cca 0,05 mm.



Obr. 4.5 Řezání na 2D laseru

4.2.1 Pálící stroj MAZAK:

Firma DEL a.s. uvedla do provozu laserový universální víceosý pálící stroj MAZAK Space Gear 510 (obr. 4.6) pro flexibilní a vysoce produktivní laserové zpracování materiálů v modulární koncepci. Tato modulární koncepce umožňuje zákaznický specifický uspořádání stroje tzn. rovné díly (2D), trojrozměrné díly (3D), rotačně symetrické díly apod. Konstrukce stroje zaručuje maximální přesnost ve všech rozích pracovního stroje.

3D laserový pálící stroj MAZAK Space Gear 510 jež firma DEL a.s. využívá umožňuje dělení materiálu v pěti osách (pátá osa je rotační hlava pro rotační součásti), obr.4.7. Maximální rozměr děleného materiálu je 1500 mm x 3000 mm (osa x a y), maximální zdvih 420 mm (osa z). Tímto zařízením je možno zpracovávat materiály tloušťky: ocel do 19 mm, nerez do 10 mm a hliník do 8 mm.



Obr. 4.7 Pálicí stroj MAZAK Space Gear 510



Obr. 4.7 Rotační pálicí hlava stroje MAZAK Space Gear 510

5. TECHNICKO-EKONOMICKÉ HODNOCENÍ

Jedním z úkolů práce je technicko-ekonomické hodnocení použitých výrobních technologií. Jelikož obě technologie (postupové stříhání a řezání laserem) se technicky od sebe liší, byla otázka technicko-ekonomického zpracování řešena formou zakázkové výroby, resp. poptávky výroby dané součásti. Pro hodnocení technologie postupového stříhání je nutno vzít v úvahu nejen spotřebu samotného materiálu a použití příslušného stroje, ale i samostatnou výrobu celé střížné sestavy. Co se týče dělení materiálu pomocí laseru, byla brána v úvahu pouze spotřeba materiálu a použití příslušného laserového stroje.

5.1 Postupové stříhadlo [7]

Postupové stříhadlo bylo řešeno ve spolupráci s firmou Tokoz a.s. Tato firma má dlouholetou tradici a zabývá se především výrobou visacích zámků, kování a speciálních přídavných uzamykatelných systémů. Dalším technologickým programem je vývoj a výroba různých druhů nástrojů. V nabídce jsou nástroje na tváření výlisků z plechu, formy na tlakové lití hliníkových a zinkových slitin, formy pro vstřikování plastu (bez horkých vtoků), přípravky, měřidla a další nářadí. Pracoviště je vybaveno moderními stroji a technologiemi, mezi které patří laserové navařování, pulsní navařování, vysokorychlostní 5-ti osé CNC frézovací centrum, 3 - osé CNC frézovací centra, souřadnicové vyvrtávání, elektroerozivní hloubení a řezání, kalení.

Mezi základní parametry návrhu střížného nástroje byly vzaty rozměry požadovaného výstřížku a jeho sériovost. Formou poptávky na výrobu byl tedy střížný nástroj oceněn na 272 000,- Kč. Tato částka zahrnuje návrh, vývoj a následně i výrobu střížného nástroje. Jeho životnost jako celku se pohybuje kolem 2 milionů zdvihů. Pokud jde o střížník, tak jeho životnost v rámci opotřebení je přibližně 250 tisíc zdvihů a jde tedy o velmi kvalitní nástroje. Při uvažování současných cen materiálů, energií a pracovních možnostech firmy, byla cena jednoho výstřížku stanovena na 7,- Kč/ks. Cena zvoleného lisu není brána v úvahu, jde o zakázkovou výrobu.

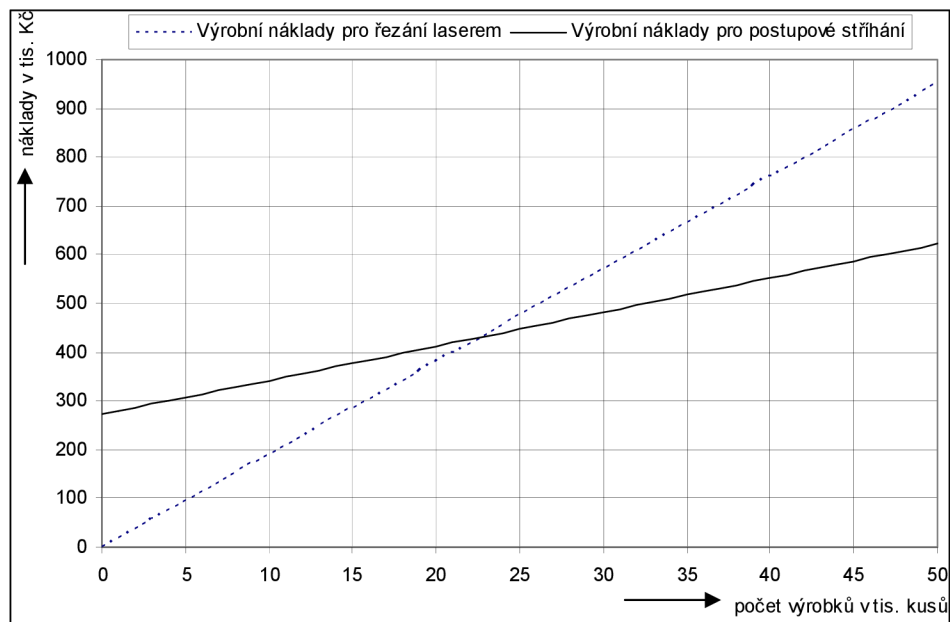
5.2 Laserové řezání [6]

Dělení materiálu pomocí laseru bylo řešeno ve spolupráci s firmou DEL a.s na stroji MAZAK Space Gear 510 (obr. 4.6). Tato firma vznikla v roce 1995 a zabývá se projekcí a výrobou elektrozařízení a automatizace technologických procesů - ať už se jedná o vlastní konstrukci a výrobu skříňových rozváděčů, dodávky průmyslových rozváděčů jako součástí technologických celků, ovládacích pultů nebo datových rozváděčů. Významnou součástí výrobního programu se staly dodávky technologických celků v oblastech tlakového lití kovů, modernizace v gumárenském průmyslu, generální opravy mechanických a hydraulických lisů a engineering ve strojírenství pokrývající široké spektrum aktivit včetně robotizovaných svařovacích pracovišť pro automobilový průmysl.

Pro hodnocení technicko-ekonomických možností byla volena forma zakázkové výroby. Výkresová dokumentace součásti byla ve firmě postoupena ekonomickému oddělení a oddělení zabývající se řezáním laserem. Po zpracování všech nákladů spojených s výrobou byla součást oceněna na 19,- Kč/ks. V této ceně je zahrnuto řezání materiálu a cena materiálu výpalku. Cena pálicího nástroje není brána v úvahu, jde o zakázkovou výrobu.

5.3 Ekonomická volba

Pro technicko - ekonomické zhodnocení je nutno obě varianty porovnat. Systém byl volen formou zakázkové výroby, a proto náklady na pracovníky a energie spojené s použitím příslušných strojů jsou již obsaženy v konečné ceně výrobku. U postupového stříhání je cena samotného výstřížku nižší, než cena výpalku u řezání laserem. Pokud však sečteme cenu střížného nástroje jež musíme zhotovit a cenu výstřížku, tak počáteční náklady týkající se stříhání nekolikanásobně vzrostou oproti řezání na laseru. Na základě tohoto zjištění lze usoudit, že podstatnou roli bude hrát počet vyráběných součástí. Pro názorné porovnání lze využít grafu (obr. 5.1), kde se náklady obou metod porovnají a lze určit mezní hodnotu počtu vyráběných součástí. Tato hodnota je 23 000 ks vyráběných součástí.



Obr. 5.1 Graf závislosti nákladů na počtu vyráběných kusů

6. ZÁVĚR

Cílem bakalářské práce byla volba variant výroby ploché součásti z plechu s otvory. Pro výrobu zvolené součásti byla zvolena metoda postupového stříhání a metoda řezání na laseru. U první metody byla provedena literární studie problematiky stříhání s postupným včleněním parametrů vyráběné součásti. Součást je vyráběna na postupovém střížném nástroji s neoptimálním rozmístěním na pásu plechu. Pás plechu byl volen z důvodu větší tloušťky vyráběné součásti. Samotný střížný nástroj byl navrhnout za použití příslušných norem a následně oceněn za účelem ekonomického hodnocení. Druhá metoda, která je v práci uvedena, je metoda dělení materiálu pomocí laseru.

Technicko-ekonomické hodnocení bylo řešeno pomocí zakázkové výroby. Cílem bylo získat finální výrobek zvolené součásti s konkrétní výrobní cenou za jeden kus. Tohoto bylo dosaženo především u laserové technologie, kde není nutno vyrábět další pracovní nástroje. Metoda je vhodná pro složitější tvary součástí a především pro kusovou a malosériovou výrobu. Technologie stříhání je vhodná především pro velkosériovou a hromadnou výrobu. U postupového stříhání je nutné začlenit do výsledného hodnocení i výrobu samotného střížného nástroje. Tím se nám sice počáteční prudce zvednou, ale se vzrůstajícím počtem vyráběných kusů je metoda velmi výhodná.

Pro vyráběnou součást se u postupového stříhání náklady pohybují u hodnoty 272 000,- Kč za střížný nástroj a 7,- Kč za výstřížek. U laserové metody je celkový počáteční náklad pouhých 19,- Kč, jelikož není započtena cena pálicího nástroje, tedy není nakupován. Dostaneme-li se však v počtu vyráběných kusů na hodnotu 23 000 ks, tak jsou náklady obou metod takřka vyrovnané. Dostaneme-li se až k hodnotě 250 000 vyráběných kusů, pak náklady na výrobu stříháním dosahují hodnoty 2 022 000,- Kč. U laserové metody je tato částka pro stejný počet 250 000 ks více jak dvojnásobná. Náklady dosahují hodnoty 4 750 000,-Kč. Z tohoto důvodu lze konstatovat, že při četnosti převyšující 23 000 ks za rok, je pro výrobu kyvné páky výhodnější použití technologie stříhání na postupovém stříhadle.

SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

- [1] FOREJT, Milan, PÍŠKA, Miroslav. *Teorie obrábění, tváření a nástroje*. VUT v Brně. 1.vyd Brno: CERM, s.r.o. Brno, 2006. 225s. ISBN 80-214-2374-9
- [2] BOBČÍK, Ladislav. *Střížné nástroje pro malosériovou výrobu*. SNTL. 1.vyd Praha: SNTL, 1983. 216s. L13-B2-IV-31/22703
- [3] NOVOTNÝ, Josef, LANGER, Zdeněk. *Stříhání a další způsoby dělení kovových materiálů*. SNTL. 1.vyd Praha: SNTL, 1980. 216s. ISBN 04-234-80
- [4] KUBÍČEK, Jaroslav. *Technologie II – Svařování, díl 2*. Dostupné na World Wide Web: <<http://ust.fme.vutbr.cz/svarovani/opory.html>>
- [5] TURŇA, Milan. *Špeciálne metódy zvarovania*. ALFA. 1.vyd Bratislava: ALFA, 1989. 384s. ISBN 80-05-00097-9
- [6] DEL, a.s., Automatizace, elektrozařízení, engineering [online]. Dostupné na World Wide Web: <<http://www.del.cz>>
- [7] TOKOZ, a.s., Zámky, kování, zakázková výroba [online]. Dostupné na World Wide Web: <<http://www.tokoz.cz>>

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

Označení	Legenda	Jednotka
A	Střížná práce	[J]
a_1	Velikost můstku	[mm]
Al_2O_3	Oxid hliníku	[-]
b_1	Velikost okraje	[mm]
CO_2	Oxid uhlíku	[-]
Cr^{3+}	Iont chromu	[-]
c_1	Koeficient stírání	[-]
c_2	Koeficient protlačování	[-]
d,D	Průměr kruhu	[mm]
$\varepsilon_{1,2}$	Pružná deformace	[-]
F_j	Jmenovitá síla stroje	[N]
F_{pr}	Protlačovací síla	[N]
F_s	Střížná síla	[N]
F_{st}	Stírací síla	[N]
F_x	Síla působící v ose x	[N]
h_{mot_t}	Hmotnost jedné ocelové tabule plechu	[kg]
h_{mot_t}	Hmotnostní spotřeba materiálu	[kg]
h_{mot_v}	Hmotnost výstřížku	[kg]
JR	Jmenovitý rozměr části	[mm]
k	Koeficient tloušťky materiálu	[-]
l	Délka stříhu (obvod stříhu)	[mm]
l_v	Délka výstřížku	[mm]
n	Koeficient vlivu opotřebení	[-]
R_a	Drsnost povrchu	[μm]
RAV	Rozměr střížníku	[mm]
R_c	Mez kluzu	[MPa]
RED	Rozměr díry	[mm]
REV	Rozměr střížnice	[mm]
R_m	Mez pevnosti v tahu	[MPa]
S	Plocha stříhu	[mm ²]
S_t	Plocha tabule	[mm ²]
S_v	Plocha výstřížku	[mm ²]
S_{z_v}	Plocha všech výstřížků z tabule	[mm ²]
š	Šířka pásu	[mm ²]
\dot{s}_v	Šířka výstřížku	[mm]
T	Poloha těžiště	[mm]
TA	Tolerance střížníku	[mm]
TE	Tolerance střížnice	[mm]
t	Tloušťka materiálu	[mm]
τ_s	Střížný odpor	[MPa]
v	Střížná vůle	[mm]
v_m	Procentní využití tabule	[%]
x	Vzdálenost jednotlivých částí výstřížku od základny v ose x	[mm]
x_t	Vzdálenost těžiště v ose x	[mm]
y	Vzdálenost jednotlivých částí výstřížku od základny v ose y	[mm]
y_t	Vzdálenost těžiště v ose y	[mm]
z_p	Počet celých pásů z tabule	[ks]
z_{kp}	Počet výstřížků z pásu	[ks]
z_{kt}	Počet výstřížků z tabule	[ks]

SEZNAM PŘÍLOH

Příloha č.1: Parametry pro Lis LEPP 100

Příloha č.2: Výkres vyráběné součásti, 2009-3P2/3-01

Příloha č.3: Výkres střížnice, 2009-3P2/3-001

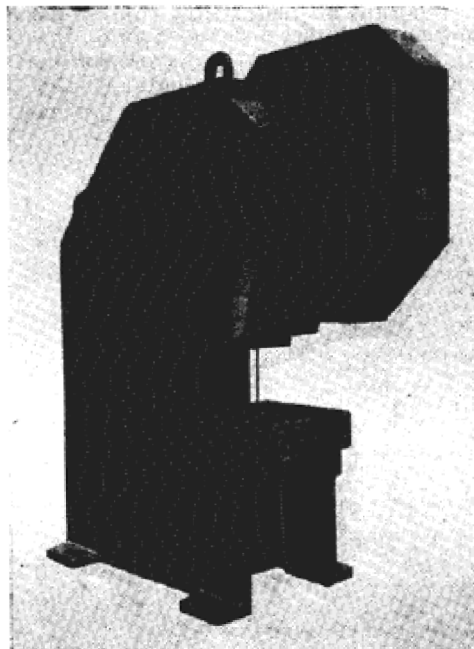
Příloha č.4: Výkres střížníku A, 2009-3P2/3-008

Příloha č.5: Výkres střížníku B, 2009-3P2/3-009

Příloha č.6: Výkres střížníku L, 2009-3P2/3-007

Příloha č.7: Výkres sestavy postupového stříhadla, 2009-3P2/3-000

**Výstředníkový lis
s průchodem —
pomaloběžný**



LEPP 100*

Technologické určení: pro stříhání, ohýbání, rovnání, mělké tažení i protlačování. Plného výkonu se dosáhne použitím mechanizačních doplňků.

Konstrukční provedení: svislý, s vyložením, jednobodový, jednočinný, s nastavitelným zdvihem beranu, s průchodem, s ozubenou předlohou. Stojan *C* — odlitek ze šedé litiny. Beran — zdvih *Z* se nastavuje ručním natáčením výstředníkového pouzdra se stupnicí, vzdálenost beranu od upínací plochy stolu (sevření *H*) se seřizuje otáčením kulového čepu v ojnici.

Uspořádání pohonu: elektromotor, klínové řemeny, ozubená předloha se setrvačnickem, klikový mechanismus — beran. Spojka — pevná s jedním otočným klínem; brzda pásová, brzdový účinek se seřizuje předpětím pružiny.

Spouštění a ovládní: mechanické, dvouruční — pákami, nebo nožní — šlapkou nožní spouštěcí páky. Chod beranu lze nastavit na jednotlivé zdvihy a trvalý běh.

Mazání: olejové, ústřední, samočinné — tlakovým mazacím přístrojem s pohybem odvozeným od lisu; některá místa tukem — ručním mazacím nářadím.

Pojistná zařízení: střížná pojistka, pojistka proti opakování zdvihu beranu, uzamykatelné ovládací zařízení.

Příslušenství dodávané se strojem: upínací deska s vložkou, pravítkový vyhazovač v beranu, součásti pro upevnění lisu.

Příslušenství na objednávku: mechanizační a přídatná technologická zařízení podle tabulky na str. 64, osvětlovací lampy, mechanické počítadlo zdvihů.

Technické údaje

	LEPP 100
Číselný znak	513 111 —6172 01
Jmenovitá síla	Mp 100
Tvářecí práce při jednotlivých zdvizích/při trvalém chodu	kpm 330/165
Rozsah použití při stříhání plechu pevností 40 kp mm ⁻² :	
největší tloušťka — při jednotlivých zdvizích	mm 9
— při trvalém chodu	mm 4,5
největší střížná plocha	mm ² 2 500
Počet zdvihů beranu	za min 56
Vyložení <i>A</i>	mm 320
Průchod <i>B</i>	mm 320
Sevření <i>H</i>	mm 320
Zdvih beranu <i>Z</i>	mm 10—125
Přestavitelnost beranu <i>E</i>	mm 80
Upínací dutina beranu $\varnothing d/h$	mm 50/85
Upínací plocha stolu $l_1 \times b_1$	mm 900 \times 600
Propad $\varnothing d_1/e \times p$	mm 320/400 \times 250
Tloušťka upínací desky h_2	mm 80
Otvar pro vložku v upínací desce $\varnothing d_2 / \varnothing d_3$	mm 230/250
Otvar ve vložce $\varnothing d_4$	mm 120
Výkon elektromotoru	kW 7,5
Rozměry lisu: $S \times L$	mm 1 200 \times 1 865
výška <i>V</i>	mm 2 690
Hmotnost lisu	kg 8 000
Hmotnost lisu se zámořským obalem	kg 6 760
Objem/počet obalů	m ³ /kusů 10,1/1

