

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING
INSTITUTE OF MANUFACTURING TECHNOLOGY

ZHOTOVENÍ TVAROVÝCH OTVORŮ DO PLECHŮ S PROLISY

MANUFACTURING OF SHAPED HOLES INTO STAMPED METAL SHEET

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

BŘETISLAV BARTUSEK

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

doc. Ing. MILAN DVOŘÁK, CSc.

BRNO 2010

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Ústav strojírenské technologie

Akademický rok: 2009/10

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

student(ka): Bartusek Břetislav

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:

Zhotovení tvarových otvorů do plechů s prolisy

v anglickém jazyce:

Manufacturing of Shaped Holes into Stamped Metal Sheet

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Návrh technologie zhotovení tvarových otvorů do plechů s prolisy z oceli 1.4301 tl. 0,8 mm. Čtvercové otvory budou zhotoveny do polotovaru plechu s již předlisovanými podélnými prolisy, kdy dochází ke vzniku pružně-plastických deformací. Roční produkce je 10000 kusů.

Cíle bakalářské práce:

Návrh nové technologie, která je nenáročná na strojní a nástrojové vybavení ve firmě a umožňuje řešení rozměrově odlišných hotových výlisků s prolisy ve vyšší kvalitě a s minimálními náklady.

Seznam odborné literatury:

1. KOTOUČ, J., ŠANOVEC, J., ČERMÁK, J. a MÁDLE, L. Tvářecí nástroje. 1. vyd. Praha: Vydavatelství ČVUT, 1993. 349s. ISBN 80-01-01003-1.
2. KRÍŽ, R., VÁVRA, P. Strojírenská příručka. Tváření. 1. vyd. Praha: Scientia 1998. sv.8. 255s. ISBN 80-7183-054-2.
3. BOLJANOVIC, V. Sheet Metal Forming Processes and Die Design. 1.st. ed. New York: Industrial Press. 2004. 219p. ISBN 0-8311-3182-9.

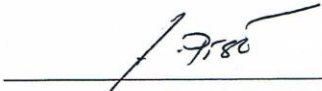
Vedoucí bakalářské práce: doc. Ing. Milan Dvořák, CSc.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2009/10.

V Brně, dne 26.10.2009 10:18

L.S.





prof. Ing. Miroslav Píška, CSc.
Ředitel ústavu



doc. RNDr. Miroslav Doupovec, CSc.
Děkan fakulty

ABSTRAKT

Cílem bakalářské práce je návrh nové technologie pro zhotovení tvarových otvorů do plechů s prolisy z korozivzdorné oceli DIN 1.4301 tloušťky plechu 0,8mm. Čtvercové otvory budou zhotoveny do polotovaru plechu s již předlisovanými podélnými prolisy, kdy dochází ke vzniku pružně-plastických deformací. Na základě studia problematiky plošného tváření, technologických výpočtů a úpravy stroje, je navržena nová technologie, která je nenáročná na strojní a nástrojové vybavení ve strojírenském provozu a umožňuje řešení rozměrově odlišných hotových výlisků s prolisy ve vyšší kvalitě s minimálními náklady. Jako tvářecí stroj byl zvolen děrovací lis LDR 25-A.

Klíčová slova

Plech, děrování, stříhání, prolisy.

ABSTRACT

The aim of bachelor thesis is a proposal of a new technology for manufacturing of shaped holes into stamped metal sheets. The sheets are made of stainless steel DIN 1.4301 of thickness 0.8 mm. Square holes will be punched into a half-finished metal sheet with pre-pressed lengthwise stamps where elastic-plastic deformations occur. On the basis of study of the sheet metal forming technology, technological calculations and the machine adaptation, a new technology is proposed. The new technology is unassuming both with respect to machinery and tool equipment in a mechanical engineering factory. Also it enables solutions of dimensionally variable die stampings with stamps in higher quality for minimum costs. As the forming machine a punching press, model LDR 25-A, was chosen.

Keywords

metal sheet, punching, blanking, stamps

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

BARTUSEK, Břetislav. *Zhotovení tvarových otvorů do plechů s prolisy: Bakalářská práce*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2010. 47s a 10 příloh. Vedoucí práce doc. Ing. Milan Dvořák, CSc.

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma *Zhotovení tvarových otvorů do plechů s prolisy* vypracoval samostatně s použitím odborné literatury a pramenů, uvedených na seznamu, který tvoří přílohu této práce.

28. 5. 2010

.....
Břetislav Bartusek

Poděkování

Děkuji tímto panu doc. Ing. Milanu Dvořákovi, CSc. za cenné připomínky a rady při vypracování bakalářské práce.

OBSAH

Abstrakt.....	4
Prohlášení.....	5
Poděkování.....	6
Obsah.....	7
Úvod	9
1 TEORIE TVÁŘENÍ A STŘIŽNÉHO PROCESU	10
1.1 Teorie střížného procesu	10
1.1.1 <i>Podstata plastické deformace</i>	10
1.1.2 <i>Vliv plastické deformace na strukturu a vlastností kovů</i>	11
1.1.3 <i>Stav napjatosti a deformace</i>	14
1.2 Technologie stříhání	14
1.2.1 <i>Střížný proces a pásma stříhu</i>	15
1.2.2 <i>Střížná mezera a střížná vůle</i>	16
1.2.3 <i>Nedokonalosti střížného procesu</i>	17
1.2.4 <i>Výšky jehel na výstřížcích</i>	17
1.2.5 <i>Přesnost stříhání</i>	17
1.2.6 <i>Děrování</i>	18
2 ZADANÁ SOUČÁST.....	19
2.1 Náčrt zadané součásti	19
2.2 Materiál zadané součásti	20
2.3 Tolerance a přesnost zadané součásti	20
3 TECHNOLOGIČNOST KONSTRUKCE	21
4 NÁVRH VLASTNÍHO TECHNOLOGICKÉHO ŘEŠENÍ.....	22
4.1 Varianty umístění výstřížků	22
4.1.1 <i>Přehled variant</i>	29
4.1.2 <i>Ekonomické zhodnocení nejvýhodnější varianty</i>	29
4.2 Návrh postupu ke zhotovení prolisů	29
4.3 Návrh postupu děrování	30
4.3.1 <i>Technologický odpad při děrování</i>	30
5 TECHNOLOGICKÉ VÝPOČTY	31
5.1 Výpočty pro podélný symetrický půlkruhový prolis	31
5.2 Výpočet střížné síly	31
5.3 Výpočet výtlačné síly (vysouvací, vyrážecí).....	33
5.4 Výpočet stírací síly	33
5.5 Výpočet střížné práce	33
5.6 Určení střížné vůle	33
5.7 Určení rozměrů střížníku a střížnice	34
5.8 Pevnostní výpočty střížníku a střížnice	34
5.8.1 <i>Kontrola střížníku na tlak</i>	34
5.8.2 <i>Kontrola střížníku na vzpěr</i>	35
5.8.3 <i>Kontrola tloušťky střížnice na ohyb</i>	35
6 NÁVRH STROJE	36
7 NAVRŽENÝ TECHNOLOGICKÝ POSTUP	38
8 EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ	39
8.1 Cena nástroje pro děrování na lisu LDR	39
8.2 Cena postupového stříhadla pro lis CTM	40

8.3 Vyhodnocení variant	40
9 ZÁVĚR	41
SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ	42
SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ	43
SEZNAM OBRÁZKŮ A GRAFŮ	44
SEZNAM TABULEK	45
SEZNAM POUŽITÝCH VZTAHŮ	46
SEZNAM PŘÍLOH	47

ÚVOD

Bakalářská práce se zabývá návrhem nové technologie pro zhotovení tvarových otvorů do plechů s prolisy z korozivzdorné oceli dle DIN 1.4301 a tloušťky plechu 0,8mm. Čtvercové otvory budou zhotoveny do polotovaru plechu s již předlisovanými podélnými prolisy, kdy dochází ke vzniku pružně-plastických deformací a stávající stav výroby byly technologie stříhání a tažení. Na základě studie problematiky s využitím zadané a doporučené odborné technické literatury a vlastních zkušeností z průmyslové praxe ve tváření byla navržena technologie, která je nenáročná na strojní a nástrojové vybavení v lisovně a umožňuje řešení rozměrově odlišných hotových výlisků s prolisy ve vyšší kvalitě a s minimálními náklady.

Jako tvářecí stroj je navržen lis LDR 25-A. Jeho konstrukční řešení umožnilo použít nově pružný eladurový stírač záměnou za standardní kovový stírač, který tvořil dosud současné vybavení lisu. Tím se uvolnil prostor pro vložení již předlisovaných plechů do horizontální revolverové hlavy, na kterých následovala technologická operace děrování tvarových otvorů. Eladurový stírač umožňuje vystřižení tvarových otvorů v blízkosti prolisů. S klasickým pevným stíračem je tento proces tváření plechu – děrováním prakticky nerealizovatelný.

Hlavní výhodou navrženého a popsaného řešení je úspora výrobních nákladů, využití a úprava původního strojního a nástrojového vybavení, které je již v současné době považováno za technologicky zastaralé. Další výhodou je možnost využití nekvalifikované obsluhy k práci na tomto upraveném tvářecím stroji. Tyto tvářecí stroje se vyznačují nízkou energetickou náročností (viz. parametry v příloze) a minimálními náklady na údržbu.



Obr. 1 Detail součásti *Přepážka ventilace*
a) vertikální pohled b) horizontální pohled
na prolisy a tvarové otvory

1 TEORIE TVÁŘENÍ A STŘIŽNÉHO PROCESU

Tato kapitola se zabývá teorií tváření a střižného procesu. Tyto teoretické poznatky jsou využity jako základ pro stanovení správné technologie a stanovení technologického postupu při výrobě zadané součásti *Přepážka ventilace*. Dále rozebírá širší souvislosti v procesu tváření a slouží k technologickým výpočtům.

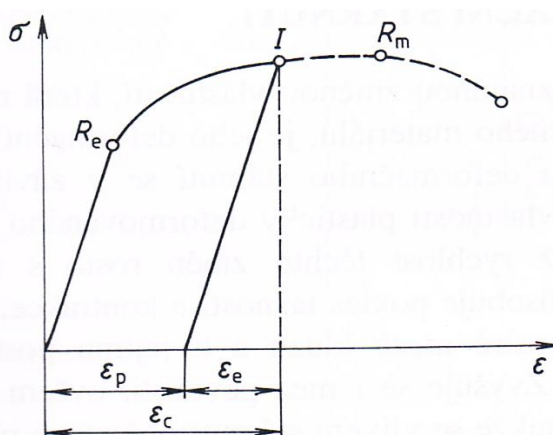
1.1 Teorie střižného procesu

Teorie střižného procesu se zabývá teoretickými základy technologie tváření kovů a snaží se o realizaci vyvolání jejich plastických deformací a tím o trvalou změnu tvaru a rozměrů tvářených těles. Cílem technologie tváření je dosažení požadovaného tvaru součásti a také zlepšení mechanicko-fyzikálních vlastností výchozího polotovaru².

Tváření kovů patří k nejhospodárnějším metodám jejich technologického zpracování vzhledem k minimálnímu odpadu materiálu. Technologie tváření zabezpečuje růst produktivity a současně úspory materiálu a energie. Střižný proces patří k metodě plošného tváření. Plošné tváření s převážně rovinným stavem napjatosti, kdy se dosahuje změny tvaru bez podstatné změny průřezu výchozího polotovaru, např. při tváření plechu.

1.1.1 Podstata plastické deformace

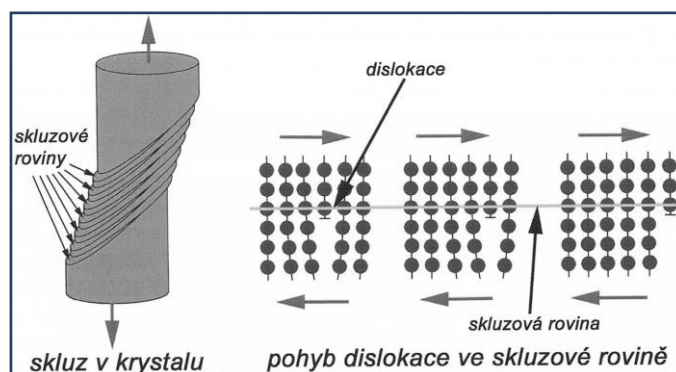
U kovových materiálů probíhá nejdříve deformace pružná (elastická) a při určité velikosti se mění v trvalou (plastickou). Při překročení určité hodnoty napětí, kterou je pro jednoosou napjatost mez kluzu probíhá deformace nadále jako homogenní, ale její nárůst je rychlejší než nárůst napětí a deformace zůstane zčásti zachována i po zrušení napětí (obr. 1.1).



Obr. 1.1 Závislost deformačního napětí na deformaci²

Celková deformace je tvořena vratnou (elastickou) a nevratnou (plastickou) složkou. Platí: $\varepsilon_c = \varepsilon_e + \varepsilon_p$. Přemísťování hmoty je v procesu plastické deformace důsledkem difuzního pohybu a pohybu dislokací (skluzu). Většina kovů má vysoký počet skluzových systémů, a tedy vysokou tvárnost. Aktivita

skluzových systémů se zvyšuje s teplotou, a proto s teplotou vzrůstá i tvárnost kovů².



Obr. 1.2 Mechanismy trvalé deformace kovu – skluzové roviny³

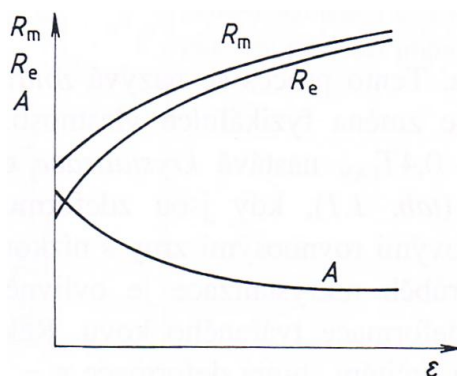
Pozn.: **Skruz** (obr. 1.2) je vzájemné posunutí dvou částí krystalu podél skluzové roviny. Stejným způsobem probíhá i skluz uvnitř jednotlivých zrn v polykrystalickém kovu. Ke skluzu dochází pohybem mřížkových poruch – dislokací. Skluz probíhá nejnázší v rovinách hustě zaplněných atomy. Snadnost skluzu v kovech podporuje také nesměrový charakter kovové vazby, který neklade žádné prostorové nebo nábojové nároky na vzájemné polohy atomů. Z těchto důvodů jsou kovy schopné trvalé deformace³.

1.1.2 Vliv plastické deformace na strukturu a vlastnosti kovů

Při plastické deformaci dochází k velmi zásadním fyzikálním, mechanickým a strukturním změnám. Na tyto změny má vliv výška rekrystalizační teploty (T_{REK}). U tváření za studena je $T < T_{\text{REK}}$. U tváření za tepla je $T > T_{\text{REK}}$.

Tváření za studena

Změna mechanických vlastností spočívá v poklesu hodnot, jež charakterizují plastičnost kovu, tj. tažnosti, kontrakce a vrubové houževnatosti při současném vzrůstu tvrdosti a pevnosti. Tažnost klesá prudce zejména v počátku deformace. Mez kluzu a mez pevnosti neustále rostou (mez kluzu rychleji) a při vyšších stupních deformace se přibližuje k mezi pevnosti, které může někdy i dosáhnout (obr.1.3).



Obr. 1.3 Závislost mechanických hodnot materiálu na stupni deformace²

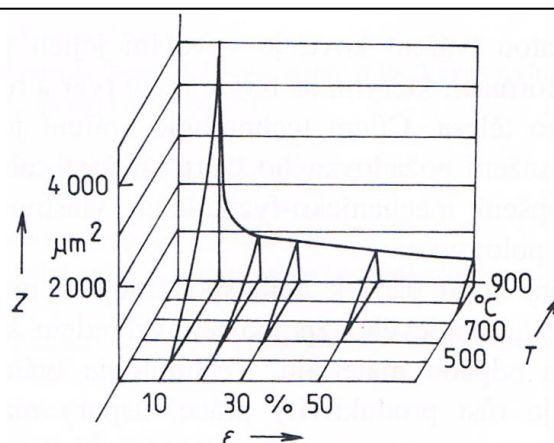
Zpevňování materiálu je doprovázeno i změnou fyzikálních vlastností. Zvyšuje se hustota materiálu, částečně roste jeho elektrický odpor a snižuje se permeabilita, materiál ztrácí odolnost proti korozi. Plastická deformace kovů je doprovázena pootáčením bloků krystalů a jejich rozpadem na menší celky. Krystaly se protahují a orientují ve směru působení vnější síly. Fragmentace zrn, jejich pootáčení, protažení a orientace vytvářejí vláknitý vzhled struktury, který je ještě umocněn řádkovitým uspořádáním vměstků. Tvářený kov se tak vyznačuje *texturou*, jejíž intenzita stoupá se stupněm deformace.

Důsledkem jevů, které zapříčiní vznik textury je anizotropie vlastností deformovaného kovu. Mechanické vlastnosti, především vrubová houževnatost napříč vláken je horší nežli ve směru vláken. Zvýšení pevnosti deformací za studena lze v technické praxi účelně využít. Avšak pokles plastičnosti vyžaduje návrat k původnímu rovnovážnému stavu. Tuto regeneraci vlastností lze dosáhnout **zotavením** ($T < 0,3T_{TAV}$). Při teplotě $T > 0,4T_{TAV}$ nastává **rekrystalizace** deformovaného kovu (tab.1.1), kdy jsou zdeformovaná zrna nahrazena novými rovnoosými zrny s nízkou hodnotou dislokací. Průběh rekrystalizace je ovlivněn teplotou a stupněm deformace tvářeného kovu².

Tab. 1.1 Minimální rekrystalizační teploty a teploty tavení²

Kov	$T_{REK\ min}$ (°C)	T_{TAV} (°C)
Cín	0	232
Olovo	0	327
Zinek	20 až 100	419
Měď	100 až 200	1 083
Hořčík	100 až 150	650
Hliník	150 až 250	658
Stříbro	200	960
Zlato	200	1 063
Železo	400 až 450	1 530
Platina	450	1 771
Nikl	600	1 452
Molybden	900	2 500
Tantal	1 000	3 030
Wolfram	1 150	3 370

Rekrystalizace začíná až při určitém stupni deformace $\varepsilon = 5 - 10\%$, výsledkem je ale velmi hrubá struktura s velmi nízkými mechanickými vlastnostmi, jde o **kritický stupeň deformace**. Pro zajištění jemnozrnné struktury a dobrých mechanických vlastností je třeba kritický stupeň deformace při tváření značně překročit³ (obr. 1.4).



Obr. 1.4 Rekrytalizační diagram; Z – velikost zrna po rekrytalizaci²

Deformační stárnutí

V důsledku deformačního stárnutí se v závislosti na čase mění vlastnosti plasticky deformovaného materiálu, přičemž rychlost těchto změn roste s teplotou. Stárnutí způsobuje pokles tažnosti a kontrakce, dochází ke vzniku ostré meze kluzu a k jejímu zvyšování. Zvyšuje se mez pevnosti a zhoršují se plastické vlastnosti materiálu².

Plastičnost

Kovům je umožněno tváření díky plastičnosti. Tato vlastnost je definována jako *schopnost materiálu účinkem vnějších sil se trvale deformovat*. Na plastometrech se provádí mechanické zkoušky, které zkoumají:

- mez kluzu R_e
- mez pevnosti R_m
- skutečná deformace (logaritmická) φ
- zúžení Z^*
- tažnost A
- exponent zpevnění n

Technologická tvářitelnost

Tvářitelnost materiálu je dána jeho chemickým složením a stavem struktury. Stanovuje se na základě technologických zkoušek, které jsou prováděny v podmínkách stejných nebo blízkých jako skutečná technologická metoda².

Deformační odpor kovů

Deformační odpor σ_D je souhrn přirozeného deformačního odporu σ_P , který reprezentuje vnitřní pevnost materiálu a pasivních odporů (tření). Aby v konkrétních podmínkách deformace docházelo k pohybu kovu, musí být tlak na těleso $p > \sigma_D$. *Přirozený deformační odpor* závisí na vlastnostech (pevnosti) kovu a na činitelích, které tyto vlastnosti v procesu deformace mění. Jsou to: velikost, rychlost deformace a teplota: $\sigma_P = f(\text{mat.}, \varepsilon, \dot{\varepsilon}, T)$. Velikost deformace je možno vyjádřit pomocí poměrné a skutečné deformace. *Poměrná deformace* je poměr absolutní deformace a původního rozměru tělesa.

Skutečná deformace se získá rozdělením a integrací absolutní deformace. Rychlost deformace je přírůstek deformace za jednotku času. Matematicky jde o první derivaci deformace podle času a rychlosti pohybu tvářecího nástroje.

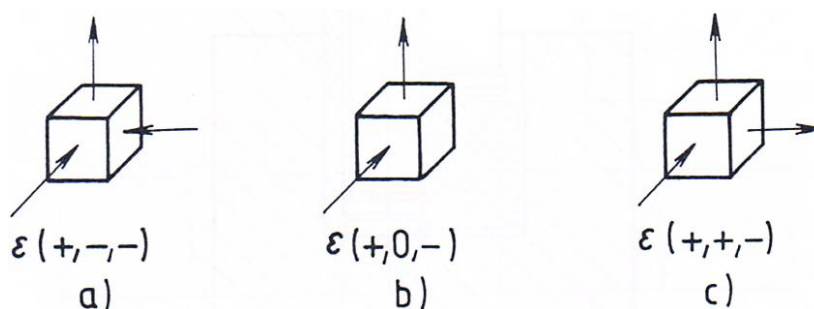
Skutečná hodnota deformačního odporu se získá, když k velikosti přirozeného deformačního odporu přidáme pasivní odpory, kde vliv pasivních odporů vyjadřují součinitelé tření a geometrie vzorku, odlišnosti poměrné rychlosti deformace a vliv nerovnoměrného rozložení napětí, jako důsledek komplikovaného tvaru výtvarků a nehomogenního teplotního pole. Pokud se σ_p stanoví v podmínkách blízkým podmínkám realizované technologické operace, je možné zúžit vliv pasivních odporů na vliv tření².

1.1.3 Stav napjatosti a deformace

Tvářitelnost kovů je závislá i na stavu napjatosti v deformovaném tělese, který vyjadřuje mechanické podmínky plastické deformace. Napjatost je vyjádřena pomocí tří hlavních normálových napětí $\sigma_1 > \sigma_2 > \sigma_3$, které mohou nabývat kladné, záporné nebo nulové hodnoty.

Jednoosá napjatost se uplatňuje pouze při jednoduchém zpracování plechu. Největší deformační schopnost vykazuje materiál podrobený trojosému tlaku.

V teorii tváření je deformaci třeba chápat jako veličinu, která má nejen určitou velikost, ale i směr a smysl. Stav deformace lze posuzovat obdobným způsobem jako stav napjatosti a odvodit pro něj tenzor se třemi složkami hlavních poměrných deformací $\varepsilon_1, \varepsilon_2, \varepsilon_3$. Ze zákona o zachování objemu vyplývá, že jedna ze tří hlavních deformací je vždy rovna součtu dvou zbývajících, jsou možná pouze tři schémata hlavních deformací² (obr. 1. 5).



Obr. 1.5 Schémata hlavních deformací
a) tahová b) smyková c) tlaková²

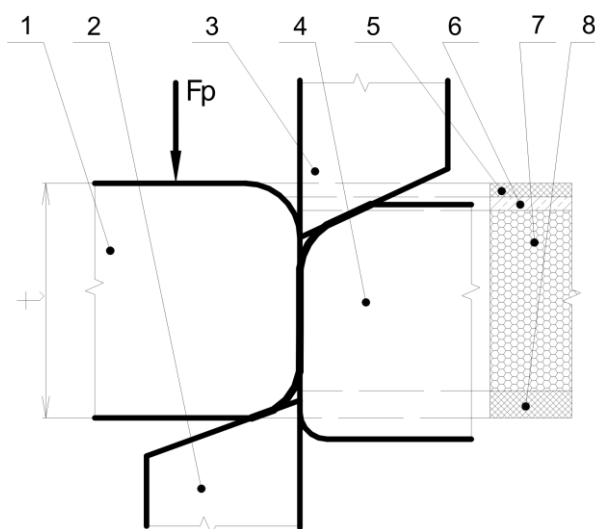
1.2 Technologie stříhání

Technologie stříhání je nejrozšířenější způsob zpracování plechu, ať už se jedná o finální výrobek, nebo polotovary určené k dalšímu zpracování. Podstata stříhání spočívá v oddělení materiálu protilehlými břity nožů. Oddělení nenastane přesně v žádné rovině. Je to proto, že materiál je do jisté míry elastický, tvárný a smykové napětí způsobuje tlak nožů na celé ploše. Proces stříhání se přibližuje čistému smyku. Střížná plocha má tvar písmene „S“¹.

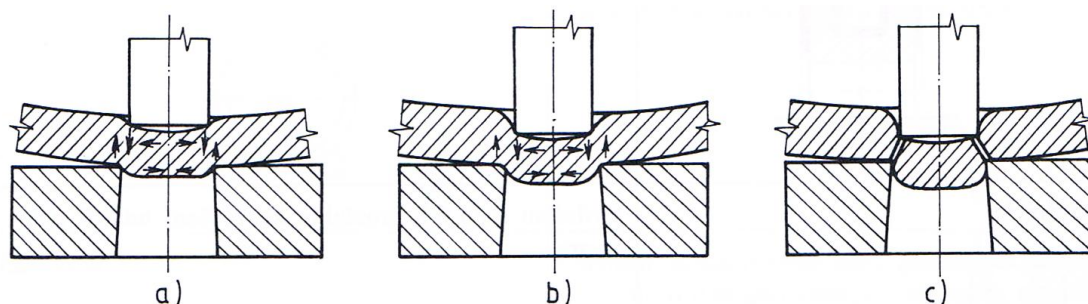
1.2.1 Střížný proces a pásma stříhu

Stříhání a děrování ve střížných nástrojích začíná dosednutím střížníku na stříhaný plech a končí oddělením materiálu. Stříhadla a děrovadla patří podle ČSN 22 60 01 k nástrojům na tváření za studena a jsou řazeny mezi lisovací nástroje. Proces stříhání (obr.1.6) se přibližuje čistému smyku. Střížná plocha je vytvořena obecně čtyřmi plochami (obr.1.7).

- **pásma zaoblění** tzv. první fáze stříhání představuje oblast pružné deformace. Bývá 5 až 8 % tloušťky stříhaného materiálu.
- **pásma vlastního stříhu** tzv. druhé fáze stříhání představuje oblast plastické deformace a činí v závislosti na mechanických vlastnostech stříhaného materiálu 10 až 25 % jeho tloušťky.
- **pásma utržení** tzv. třetí fáze stříhu představuje nejširší oblast na střížné ploše. Šířka pásma přibývá s tvrdostí a křehkostí stříhaného materiálu. Dochází zde k oddělení materiálu.
- **pásma otláčení od spodního nože.** V závislosti na vlastnostech stříhaného materiálu a střížné vůle může dojít v pásmu otláčení k výskytu ostřiny v důsledku vytažení materiálu tahovými složkami napětí¹.



Obr. 1. 6 Proces stříhání a pásma na střížné ploše:
 1. Stříhaný materiál, 2. Spodní nůž, 3. Horní nůž, 4. Odstřížený materiál,
 5. Pásma zaoblění 6. Pásma vlastního stříhu 7. Pásma utržení
 8. Pásma otláčení od spodního nože; F_p Přítlačná síla



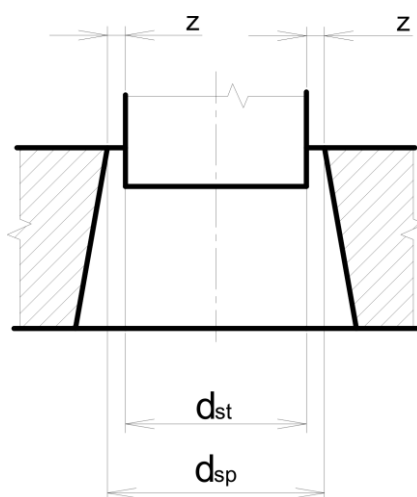
Obr. 1. 7 Fáze stříhání: a) první fáze – oblast pružné deformace, b) druhá fáze – oblast plastické deformace, c) třetí fáze – oddělení materiálu²

1.2.2 Střížná mezera a střížná vůle

Na kvalitu střížného procesu má rozhodující vliv střížná mezera z mezi noži (obr.1.8). Její velikost je závislá na mechanických hodnotách stříhaného materiálu a na jeho tloušťce. Pokud se trhlinky vytvářející se při stříhání u obou střížných nožů spojí v jednu střížnou plochu, byla velikost střížné mezery pro konkrétní materiál stanovena správně.

Velikost střížné vůle ($v = 2z$ u uzavřeného stříhu) uvádí ČSN 22 6015 s názvem „Stříhadla a střížné vůle: Směrnice pro výpočet a konstrukci“. Pro určení střížné vůle lze použít diagram⁹. Obecně platí závislost velikosti střížné vůle na kvalitě a tloušťce stříhaného materiálu. Pro tloušťku materiálu od 0,10 do 12mm je:

- u měkkých ocelí, mosazí, hliníků 2,45 až 7,5% tloušťky materiálu (t)
- u středně tvrdých ocelí s pevností asi 480MPa se pohybuje od 3 do 8,5% t
- u tvrdých ocelí s pevností 600MPa případně i více 3,5 až 10 % t



Obr. 1.8 Střížná mezera: z – střížná mezera, d_{st} – rozměr střížníku, d_{sp} – rozměr střížnice

1.2.3 Nedokonalosti střížného procesu

- *drsnost střížné plochy* vzniká z větší části lomem materiálu.
- *malé zešíkmení střížné plochy* vlivem mezery mezi břity se opotřebením stříhadla zvětšuje.
- *zeslabení tloušťky* plechu podél střížné plochy u výstřížků malé šířky a otevřeného stříhu se projeví ještě zvětšení šířky.
- *zpevnění materiálu* do hloubky asi 0,1 až 0,2t.
- *odchytky v rozměrech výstřížků* jsou způsobeny výrobou a hlavně opotřebením stříhadla.
- *prohnutí některých výstřížků* ohybovým momentem obou složek střížné síly.

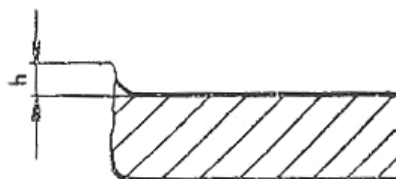
Zabránit uvedeným nedokonalostem je možné speciálními technologiemi např. technologií přesného stříhání, přistříhování, kalibrování apod., ale to za cenu zvýšených výrobních nákladů (dražší nástroj, přidané operace apod.).

1.2.4 Výšky jehel na výstřížcích

Pod pojmem jehla na výstřížku (ostřina) se rozumí utvořený okrajový cíp (převis materiálu) podél linie stříhu. Vytváření jehel na výstřížcích je průvodním jevem každého postupu stříhu. Požadavky jak vyseknout bez ostřin nebo vystříhnout bez jehel jsou nesplnitelné⁹ (obr. 1.10).

Výška jehel h je závislá na:

- velikosti střížné vůle
- jakosti stříhaného materiálu
- tloušťce stříhaného plechu
- stavu stříhadla



Obr. 1. 10 Výška jehel⁹

Za přípustnou lze označit takovou jehlu na výstřížku, která se dá odstranit bez větších obtíží běžnými prostředky (olámáním, broušením)⁹.

1.2.5 Přesnost stříhání

Výstřížky s rozměry menšími než 150mm se vyrábějí s tolerancí IT 12 až IT 14, u přesných stříhadel s vodícími sloupky v toleranci IT 9 až IT 11.

Drsnost povrchu střížné plochy pro:

- vystříhování $R_a = 6,3$ až $3,2\mu\text{m}$
- děrování a ostříhování $R_a = 2,5$ až $6,3\mu\text{m}$.

Přesnost stříhání ovlivňují tyto činitelé:

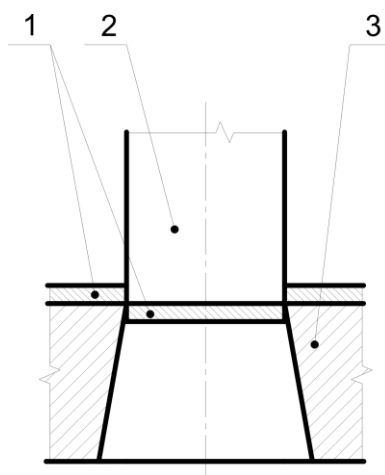
- konstrukce nástroje, kvalita vedení střížníku ke střížnici
- kvalita a tuhost stroje
- zajištění stříhaného materiálu při stříhu
- tloušťka stříhaného materiálu

- druh a stav stříhaného materiálu
- stav a otupení stříhadla
- velikost střížné vůle
- pružná deformace při stříhání

Střední hodnoty tolerancí pro děrování, vzdálenosti mezi děrovanými otvory a vzdálenosti děr od krajů znázorňuje tabulka (Příloha 1).

1.2.6 Děrování

Děrování je způsob vytváření otvorů rozmanitých tvarů, při kterém vystřižená část tvoří odpad (obr. 1. 11). Střížný nástroj pro děrování je konstruován tak, že základním rozměrem je rozměr střížníku a střížnice je zvětšena o vůli a výrobní toleranci. Nejmenší velikosti otvorů při děrování stanoví tabulka (Příloha 10).



Obr. 1.11 Děrování plechu: 1 – děrovaný plech, 2 – střížník, 3 - střížnice

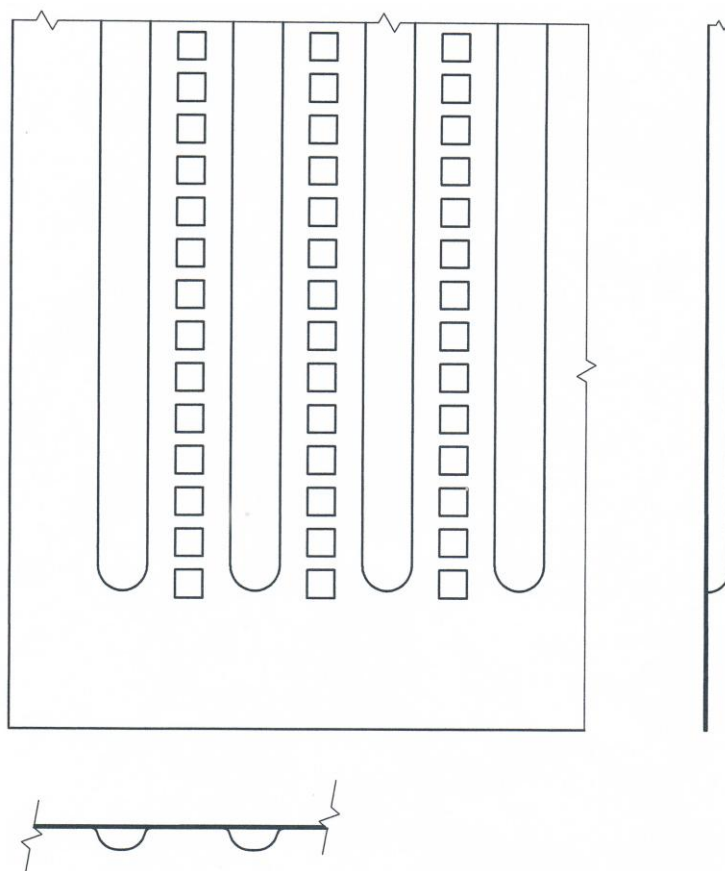
2 ZADANÁ SOUČÁST

Zadaná součást slouží jako přepážka ventilace u přístrojů používaných v lékařské a laboratorní technice. Kladené požadavky na součást: musí umožnit dostatečnou propustnost cirkulace vzdušného média a efektivní cirkulaci vzduchu. Zadáno 10 000 kusů ročně.

U původně zadané součástky byly průchozí otvory pro cirkulaci vzduchu kruhové o průměru 10mm. Současný stav byl z hlediska efektivní cirkulace nedostatečný. Řešením je zhotovení čtvercových otvorů 10x10mm, které umožňují zefektivnění průchodu vzduchu o 21,46% oproti otvorům kruhovým. K tomuto závěru jsem dospěl jednoduchým výpočtem: Obsah kruhu o průměru 10mm je: $S = \pi r^2 = \pi \cdot 25 = 78,54 \text{ mm}^2$. Obsah čtverce o straně 10mm je: $S = a^2 = 100 \text{ mm}^2$. Rozdíl těchto hodnot činí 21,46%. Proto jsem použil čtvercové otvory.

2.1 Náčrt zadané součásti

Z obrázku 2.1 detailu *Přepážky ventilace* je zřejmé umístění tvarových vyděrovaných otvorů mezi podélnými prolisy.



Obr. 2.1 Přepážka ventilace - detail

2.2 Materiál zadané součásti

Označení: 1.4301
ČSN 17 240
DIN X5CrNi18-10⁷

Charakteristika:

Korozivzdorná austenitická ocel se zvláštními, fyzikálně-chemickými vlastnostmi. Ocel vhodná pro konstrukci chemicky odolných zařízení včetně tlakových nádob, pro prostředí oxidační povahy, pro silné anorganické kyseliny jen při velmi nízkých koncentracích a v oblasti normálních teplot^{5,7}.

Mechanické vlastnosti:

- mez pevnosti $R_m = 490-686\text{MPa}$ (pro výpočty uvedeno 600MPa).
- mez kluzu $R_e = 186\text{MPa}$, (při teplotě 100°C $R_e = 157\text{MPa}$)
- tažnost $A_5 = 37\%$
- modul pružnosti $E = 199\text{GPa}$ ⁷

2.3 Tolerance a přesnost zadané součásti

Zadaná součást má jmenovité rozměry $420\text{mm} \times 610\text{mm}$, tloušťku materiálu $0,8\text{mm}$ a tvar děrovaných otvorů $10 \times 10\text{mm}$. Pro tyto rozměry jsou číselné hodnoty tolerancí stanoveny podle tabulky (Příloha 8) následovně:

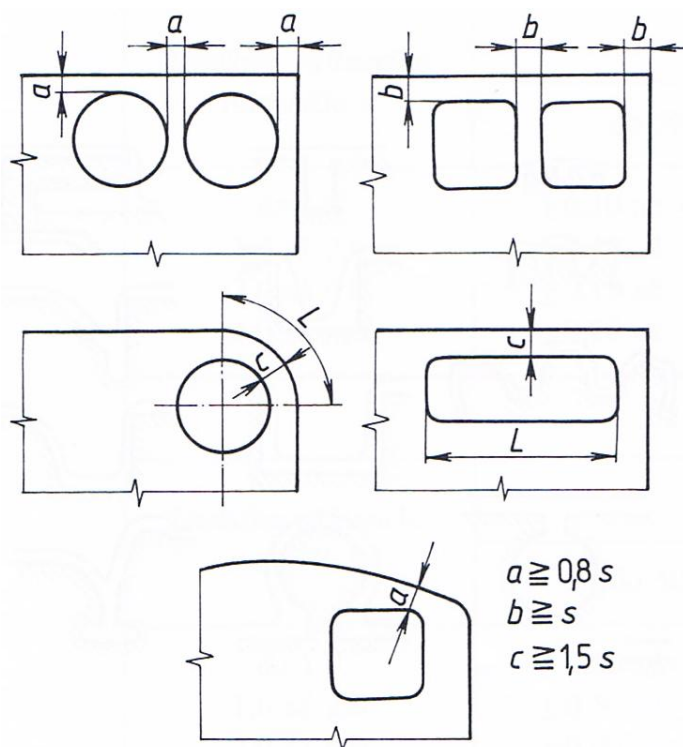
- toleranční stupeň pro stříhání součástí z materiálu do tloušťky 4mm je zvolena střední přesnost IT 11
- vnější tvar $420\text{mm} \times 610\text{mm}$ - toleranční pole 0 až $\pm 440\mu\text{m}$
- děrované otvory $10\text{mm} \times 10\text{mm}$ - toleranční pole 0 až $\pm 90\mu\text{m}$

3 TECHNOLOGIČNOST KONSTRUKCE

K zásadám technologičnosti konstrukce patří zejména: Nezužovat tolerance rozměrů pod úroveň, kterou lze dosáhnout běžným stříháním. Drsnost a kolmost předepisovat k ploše plechu jen pokud se jedná o funkční plochu součásti. Zmenšit úhel rohu tvarového otvoru je možné, pokud je zaoblen větším poloměrem ($r > 0,5t$) nebo zkosen ($k > t$). Na výstřižku není vhodné měnit poloměr zaoblení rohů a střídat ostré a zaoblené rohy. Části výstřižku a zaoblení, které vystupují z obrysu mají mít výšku $h > 1,2t$.

Tvary pro stříhání na nůžkách volíme tak, aby měly co nejmenší počet stříhů. Rovnoběžníkové tvary výstřižků jsou nejvhodnější. Rozvětvené tvary výstřižku jsou neúspěšné, vhodnější jsou tvary spojitě. Obrysy, především u malých výstřižků, mají být co nejjednodušší pro snazší a levnější výrobu nástroje a jeho údržbu.

Tvary výstřižků umísťujeme v nástřihovém plánu tak, aby se co možná nejlépe využil materiál s minimem odpadu. Jako ekonomicky přijatelné lze u plošného tváření považovat využití materiálu větší než 70%. Doporučené vzdálenosti vystřižených otvorů různých tvarů pro splnění pravidel technologičnosti jsou znázorněny na obr. 3.1. Nejmenší doporučené velikosti otvorů vzhledem k tloušťce materiálu jsou uvedeny v tabulce (Příloha 9).



Obr. 3.1 Technologické vzdálenosti stříhaných obrysů²

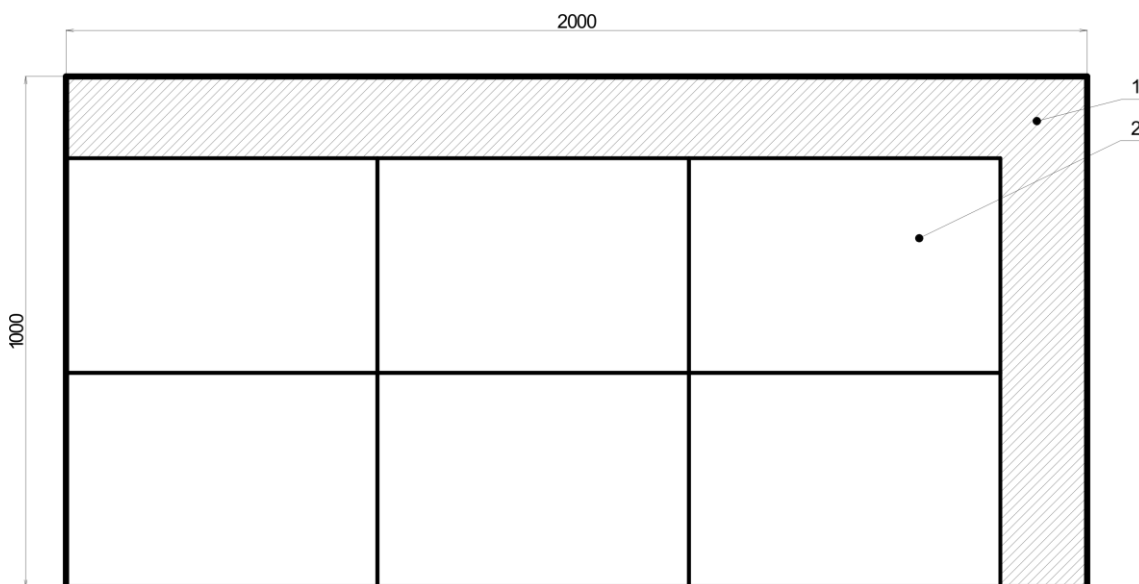
4 NÁVRH VLASTNÍHO TECHNOLOGICKÉHO ŘEŠENÍ

Vlastní technologické řešení Přepážky ventilace předkládá nástřihové plány, které jsou navrženy jako varianty pro stříhání vnějšího rozměru součástí, jejich umístění a rozmístění do tabulí respektive svitku plechu, procentuální využití, včetně stanovení odpadu a spotřebu materiálu pro zadaný počet kusů (10 000ks/rok). Výsledky jednotlivých variant jsou přehledně seřazeny v tabulce 4.1. Nejefektivnější varianta je pak zvlášť ekonomicky vyhodnocena. Anizotropii materiálu při tomto procesu považujeme za zanedbatelnou, vzhledem k tomu, že lépe využijeme materiál.

4.1 Varianty umístění výstřížků

Varianta 1. Obr. 4.1

Nástřihový plán varianty 1. představuje tabuli plechu o rozměrech 1000 x 2000mm, EN ISO 9445. Jednotlivé dílce jsou umístěny horizontálně ve třech řadách nad sebou.



Obr. 4.1 Nástřihový plán varianty 1.:
1 – odpad z tabule, 2 - přístřihy

Počet výstřížků z jedné tabule: 6 kusů

Tabule – nerez plech válcovaný za studena EN ISO 9445 1000 x 2000mm

Výrobní série 10 000ks / rok

Počet spotřebovaných tabulí na výrobní sérii: $10\,000 : 6 = 1666,7 \approx 1667\text{ks}$

Plocha jednoho výstřížku: $0,42 \times 0,61 = 0,2562\text{m}^2$

Plocha výstřížků z jedné tabule: $0,2562 \times 6 = 1,5372\text{m}^2$

Plocha jedné tabule o rozměrech 1000 x 2000mm = 2m^2

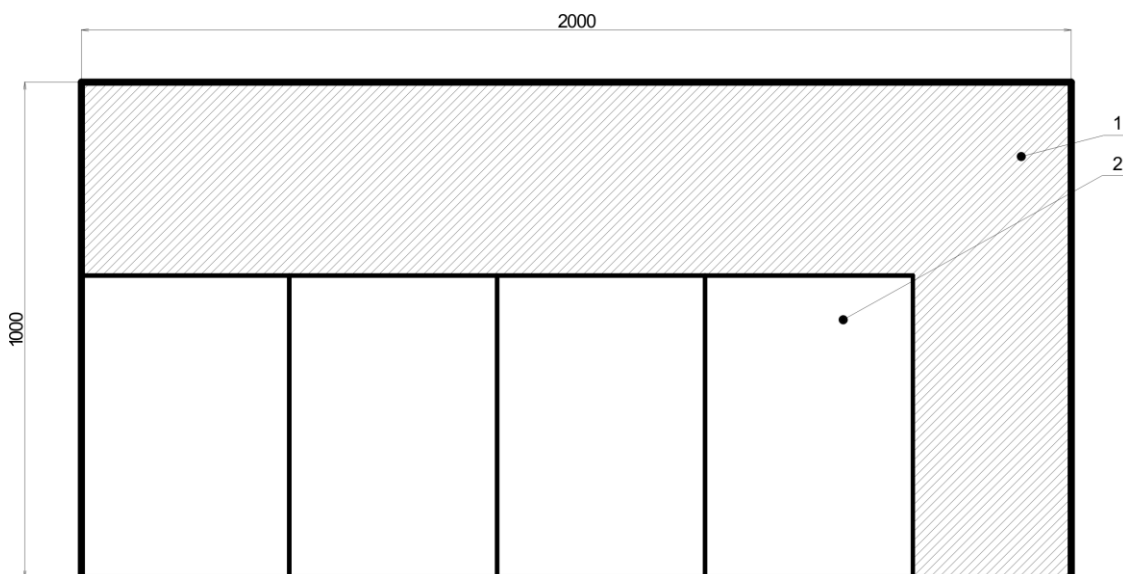
% využití tabule: $(1,5372 : 2) \times 100 = 76,86\%$

Hmotnost tabule: 12,32kg/ks

Spotřeba plechu: 1667ks tabulí t.j. $1667 \times 12,32 = 20537,44\text{kg}$ plechu

Varianta 2. Obr. 4. 2

Nástříhový plán varianty 2. představuje tabuli plechu o rozměrech 1000x2000 mm, EN ISO 9445. Jednotlivé dílce jsou umístěny vertikálně v jedné řadě.



Obr. 4.2 Nástříhový plán varianty 2.:

1 – odpad z tabule, 2 – přístřihy

Počet výstřížků z jedné tabule: 4 kusy

Tabule – nerez plech válcovaný za studena EN ISO 9445 1000 x 2000mm

Výrobní série 10 000ks / rok

Počet spotřebovaných tabulí na výrobní sérii: $10\,000 : 4 = 2500\text{ks}$ tabulí

Plocha jednoho výstřížku: $0,42 \times 0,61 = 0,2562\text{m}^2$

Plocha výstřížků z jedné tabule: $0,2562 \times 4 = 1,0248\text{m}^2$

Plocha jedné tabule o rozměrech 1000 x 2000mm = 2m^2

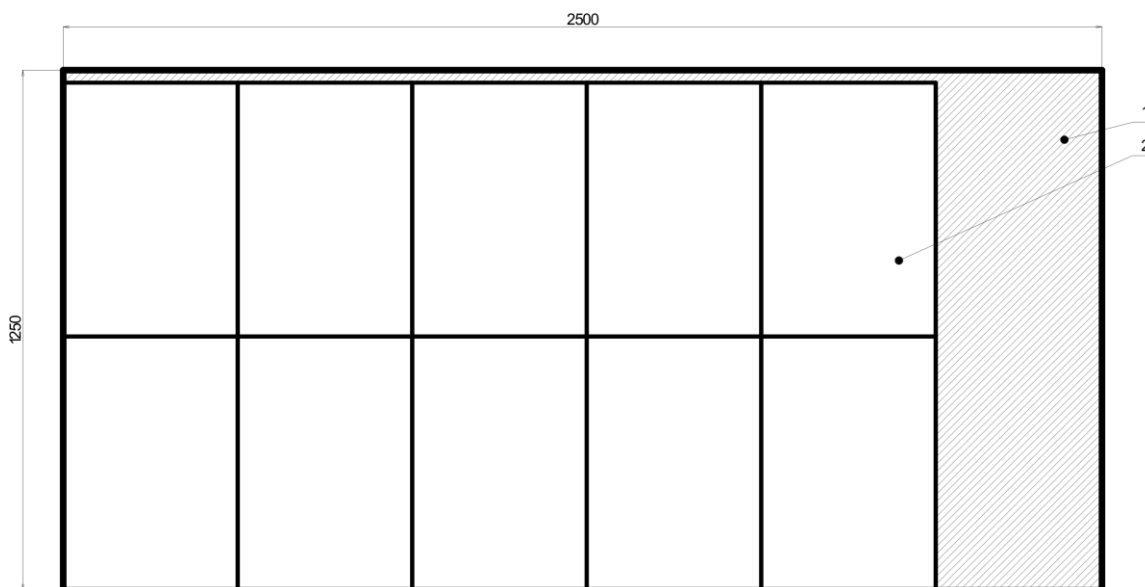
% využití tabule: $(1,0248 : 2) \times 100 = 51,24\%$

Hmotnost tabule: 12,32kg/ks

Spotřeba plechu: 2500ks tabulí t.j. $2500 \times 12,32 = 30800\text{kg}$ plechu

Varianta 3. Obr. 4. 3

Nástřihový plán varianty 3. představuje tabuli plechu o rozměrech 1250x2500 mm, EN ISO 9445. Jednotlivé dílce jsou umístěny vertikálně ve dvou řadách nad sebou.



Obr. 4.3 Nástřihový plán varianty 3.:
1 – odpad z tabule, 2 – přístřihy

Počet výstřižků z jedné tabule: 10 kusů

Tabule – nerez plech válcovaný za studena EN ISO 9445 1250 x 2500mm

Výrobní série 10 000ks / rok

Počet spotřebovaných tabulí na výrobní sérii: $10\,000 : 10 = 1000\text{ks}$ tabulí

Plocha jednoho výstřižku: $0,42 \times 0,61 = 0,2562\text{m}^2$

Plocha výstřižků z jedné tabule: $0,2562 \times 10 = 2,562\text{m}^2$

Plocha jedné tabule o rozměrech 1250 x 2500mm = $3,125\text{m}^2$

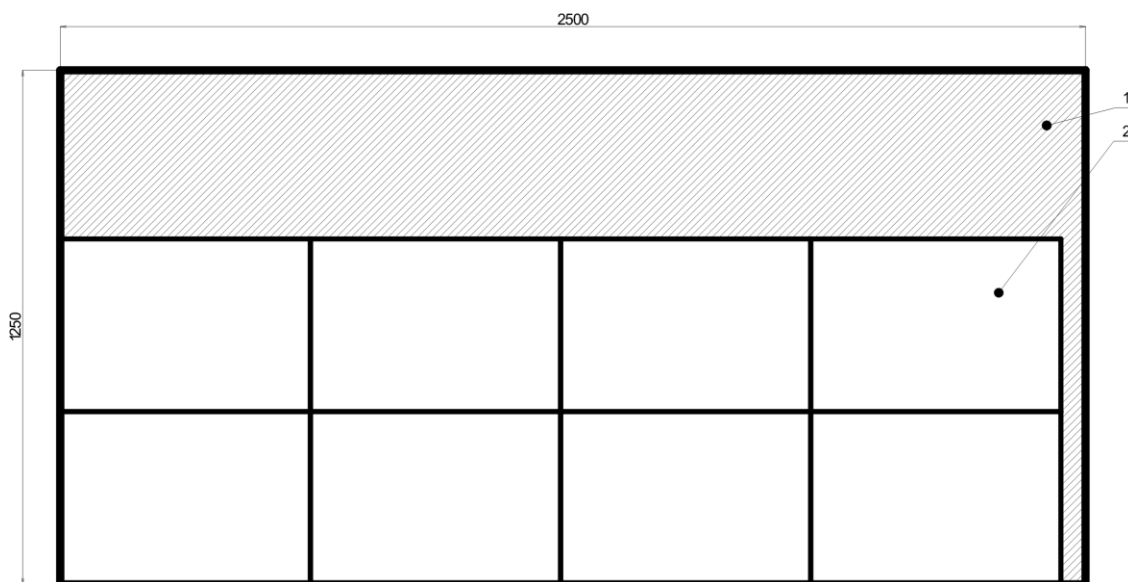
% využití tabule: $(2,562 : 3,125) \times 100 = 81,98\%$

Hmotnost tabule: 19,75kg/ks

Spotřeba plechu: 1000ks tabulí t.j. $1000 \times 19,75 = 19750\text{kg}$ plechu

Varianta 4. Obr. 4. 4

Nástřihový plán varianty 4. představuje tabuli plechu o rozměrech 1250x2500 mm, EN ISO 9445. Jednotlivé dílce jsou umístěny horizontálně ve dvou řadách nad sebou.



Obr. 4.4 Nástřihový plán varianty 4.:
1 – odpad z tabule, 2 – přístřihy

Počet výstřižků z jedné tabule: 8 kusů

Tabule – nerez plech válcovaný za studena EN ISO 9445 1250 x 2500mm

Výrobní série 10 000ks / rok

Počet spotřebovaných tabulí na výrobní sérii: $10\,000 : 8 = 1250\text{ks}$ tabulí

Plocha jednoho výstřižku: $0,42 \times 0,61 = 0,2562\text{m}^2$

Plocha výstřižků z jedné tabule: $0,2562 \times 8 = 2,0496\text{m}^2$

Plocha jedné tabule o rozměrech 1250 x 2500mm = $3,125\text{m}^2$

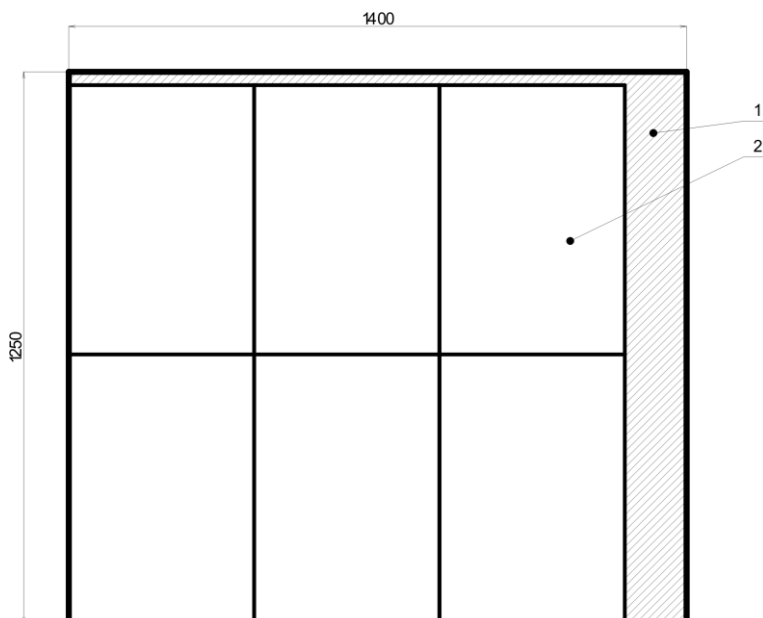
% využití tabule: $(2,0496 : 3,125) \times 100 = 65,59\%$

Hmotnost tabule: 19,75kg/ks

Spotřeba plechu: 1250ks tabulí t.j. $1250 \times 19,75 = 24687,5\text{kg}$ plechu

Varianta 5. Obr. 4. 5

Nástřihový plán varianty 5. představuje tabuli plechu o rozměrech 1250x1400 mm, ČSN EN ISO 9445. Jednotlivé dílce jsou umístěny vertikálně ve dvou řadách nad sebou.



Obr. 4.5 Nástřihový plán varianty 5.:
1 – odpad z tabule, 2 – přístřihy

Počet výstřižků z jedné tabule: 6 kusů

Tabule – nerez plech válcovaný za studena EN ISO 9445 1250 x 1400mm

Výrobní série 10 000ks / rok

Počet spotřebovaných tabulí na výrobní sérii: $10\,000 : 6 = 1666,7 \approx 1667$ ks tabulí

Plocha jednoho výstřižku: $0,42 \times 0,61 = 0,2562\text{m}^2$

Plocha výstřižků z jedné tabule: $0,2562 \times 6 = 1,536\text{m}^2$

Plocha jedné tabule o rozměrech 1250 x 1400mm = $1,75\text{m}^2$

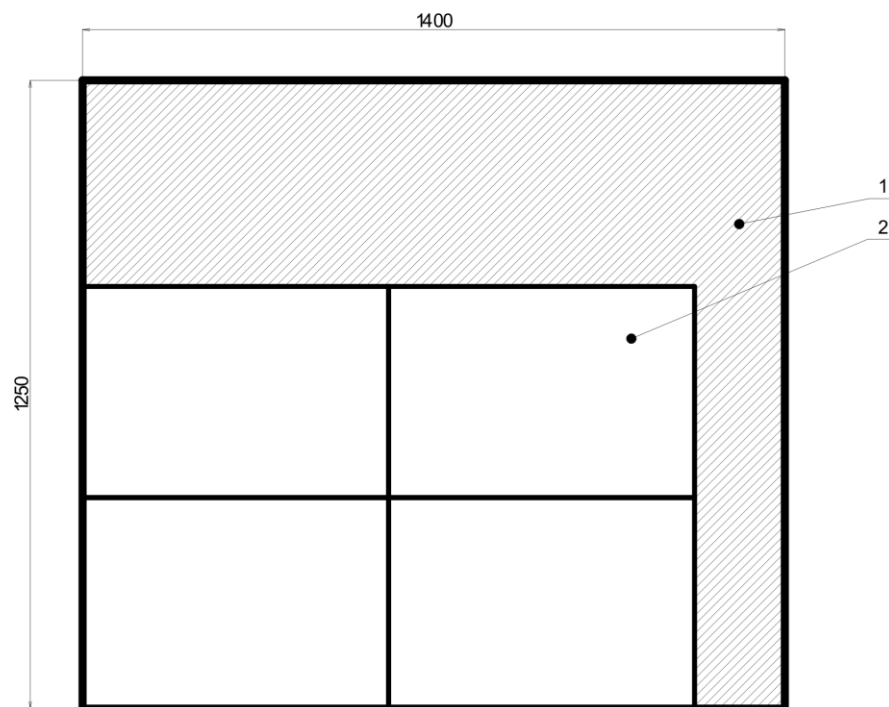
% využití tabule: $(1,536 : 1,75) \times 100 = 87,77\%$

Hmotnost tabule: 11,06kg/ks

Spotřeba plechu: 1667ks tabulí t.j. $1667 \times 11,06 = 18437,02\text{kg}$ plechu

Varianta 6. Obr. 4. 6

Nástříhový plán varianty 6. představuje tabuli plechu o rozměrech 1250x1400 mm, ČSN EN ISO 9445. Jednotlivé dílce jsou umístěny horizontálně ve dvou řadách nad sebou.



Obr. 4.6 Nástříhový plán varianty 6.:
1 – odpad z tabule, 2 – přístřihy

Počet výstřížků z jedné tabule: 4 kusy

Tabule – nerez plech válcovaný za studena EN ISO 9445 1250 x 1400mm

Výrobní série 10 000ks / rok

Počet spotřebovaných tabulí na výrobní sérii = $10\,000 : 4 = 2500$ ks tabulí

Plocha jednoho výstřížku: $0,42 \times 0,61 = 0,2562\text{m}^2$

Plocha výstřížků z jedné tabule: $0,2562 \times 4 = 1,0248\text{m}^2$

Plocha jedné tabule o rozměrech 1250 x1400mm = $1,75\text{m}^2$

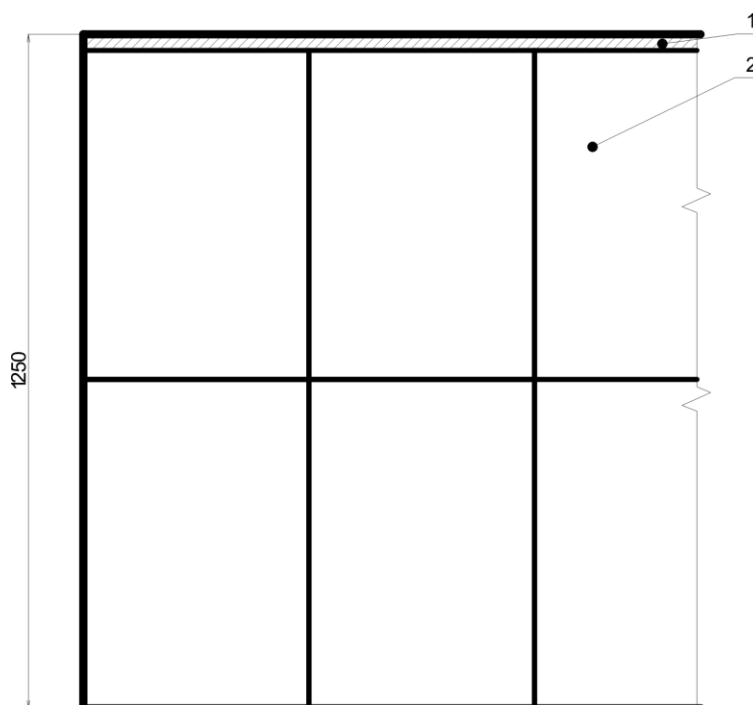
% využití tabule: $(1,0248 : 1,75) \times 100 = 58,56\%$

Hmotnost tabule: 11,06kg/ks

Spotřeba plechu: 2500ks tabulí t.j. $2500 \times 11,06 = 27650$ kg plechu

Varianta 7. Obr. 4. 7

Nástřihový plán varianty 7. představuje svitek plechu o rozměrech 1,25x1000 mm, ČSN EN ISO 9445. Jednotlivé dílce jsou umístěny vertikálně po dvou nad sebou.



Obr. 4.7 Nástřihový plán varianty 7.:
1 – odpad ze svitku, 2 – přístřihy

Počet výstřižků z jednoho svitku: 4760ks

Svitek – nerez plech válcovaný za studena EN ISO 9445 1,250 x 1000m

Výrobní série 10 000ks / rok

Počet spotřebovaných svitků na výrobní sérii = $10\,000 : 4760 = 2,1$ ks svitků

Plocha jednoho výstřižku: $0,42 \times 0,61 = 0,2562\text{m}^2$

Plocha výstřižků z jednoho svitku: $0,2562 \times 4760 = 1219,5\text{m}^2$

Plocha jednoho svitku o rozměrech: $1,25 \times 1000\text{mm} = 1250\text{m}^2$

% využití svitku: $(1219,5 : 1250) \times 100 = 97,56\%$

Hmotnost svitku: 7700kg/ks

Spotřeba plechu: 2,1ks svitků t.j. $7700 \times 2,1 = 16170\text{kg}$ plechu

4.1.1 Přehled variant

Vyhodnocení variant jednotlivých nástřihových plánů spotřeby plechu materiálových norem EN ISO 9445, rozměry, procentuální využití a spotřeba hmotnosti materiálu na výrobní dávku jsou uvedeny v tabulce 4.1.

Tab.4.1 Přehled variant umístění součásti v nástřihovém plánu

Varianta	Materiál norma ISO	Počet spotřebovaných tabulí na výrobní dávku [ks]	Rozměry tabule [mm]	Počty výstřížků z tabule [ks]	Procentuální využití materiálu z tabule [%]	Spotřeba hmotnosti materiálu na výrobní dávku 10 000ks [kg]
1.	EN ISO 9445	1667	1000 x 2000	6	76,86	20537,44
2.	EN ISO 9445	2500	1000 x 2000	4	51,24	30800,00
3.	EN ISO 9445	1000	1250 x 2500	10	81,98	19750,00
4.	EN ISO 9445	1250	1250 x 2500	8	65,59	24687,50
5.	EN ISO 9445	1667	1250 x 1400	6	87,77	18437,02
6.	EN ISO 9445	2500	1250 x 1400	4	58,56	27650,00
7.	EN ISO 9445	2,1 svitku	1,25x1000m	4760	97,56	16170,00

4.1.2 Ekonomické zhodnocení nejvýhodnější varianty

Z výsledků uvedených v tabulce 4.1 je zřejmé, že ekonomicky nejvýhodnější je varianta 5 nástřihového plánu. Výsledné využití materiálu z tabule činí 97,56% je velmi efektivní a plně vyhovuje technologickým podmínkám o minimálním 70ti% využití materiálu. Rozdíl mezi nejefektivnější a nejméně efektivní variantou plošného využití tabulí činí 46,32%. Velmi výrazný je taktéž rozdíl v úspoře hmotnosti materiálu na výrobní dávku, který činí 14,63 tun materiálu.

Cena korozivzdorné oceli 1.4301 se v současné době pohybuje od 75 do 120kč/kg⁷. Při průměrné ceně 100kč/kg činí úspora materiálu mezi druhou a pátou variantou 1.463 000kč.

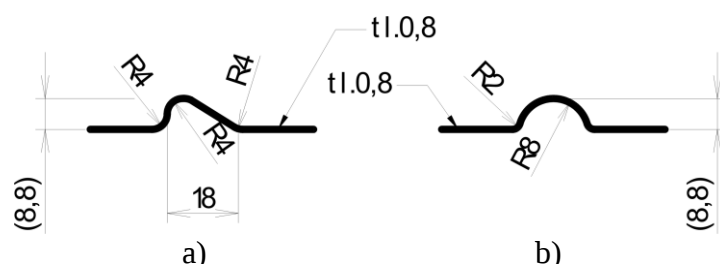
4.2 Návrh postupu ke zhotovení prolisů

V současné výrobě byl zhotoven prolis nesymetrický, který způsoboval pružně-plastické deformace, tzv.“lupavku“ v polotovaru s prolisy s kruhovými otvory. Docházelo ke změně tvaru před finální operací děrováním výše uvedených kruhových otvorů.

V další etapě byl navržen symetrický tvar prolisu (obr. 4.8), u kterého nedochází k pružně-plastickým deformacím a tím došlo ke zvýšení kvality finálního výlisku. Operace z původního klikového lisu byla převedena na CTM hydraulický lis. Mezní hloubku výztužného žebra – podélných prolisů s využitím tlaku pryže $p = 100\text{kP}$, pro tloušťku plechu 0,8mm při šířce prolisu 18mm by-

chom vylišovali pouze do hloubky 1,6mm dle diagramu podle I. P. Romanovského¹⁰. Tato hloubka prolisů je však nedostačující, proto byla testována mezní hloubka prolisů pro zadaný materiál 1.4301 pevným lisovníkem na hydraulickém lisu CTM.

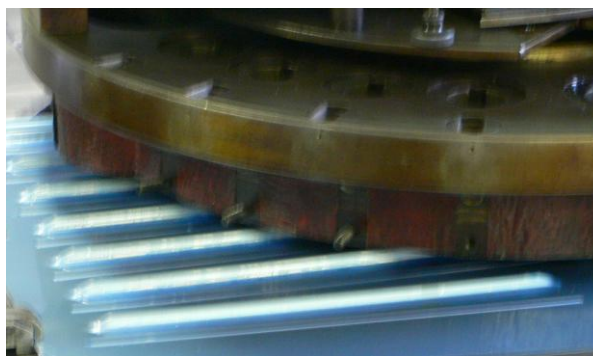
Výsledkem je maximální funkční hloubka prolisu $h = 8\text{mm}$. Velikost síly pro reliéfní přetváření plechů za účelem zhotovení výztužných žebér u plechů lze stanovit pomocí empirického vzorce pro plechy do tloušťky 1,5mm.



Obr. 4.8 Řez podélným půlkruhovým prolisem
a) nesymetrickým b) symetrickým

4.3 Návrh postupu děrování

Postup děrování otvorů 10 x 10mm je realizován v jedné operaci a na jedno upnutí přístřihu plechu v navrženém lisu LDR 25-A. S použitím nástroje: Střížníku a střížnice o jmenovitém rozměru 10 x 10mm (Příloha 3 a 4), eladurového stírače (Příloha 5) a šablony (Příloha 6). Vyděrováno bude 242 děr, dle výkresu součásti (Příloha 1). Vložení plechu s prolisy do pracovního prostoru lisu LDR 25-A (obr. 4.9).



Obr. 4.9 Děrování plechu s prolisy

4.3.1 Technologický odpad při děrování

Při operaci děrování vzniká technologický odpad čtvercového tvaru 10 x 10mm, který už nelze efektivně využít pro výrobu. Hmotnost technologického odpadu z jednoho vyrobeného dílce 420 x 610mm, činí: 0,1491kg, což je 5,735%. Na celou výrobní dávku 10 000ks je to 1490,72kg. Navrhují proto technologický odpad po skončení výroby prodat do výkupny druhotných surovin např. Barko – kovošrot¹¹, kde v současné době vykupují nerezový odpad za 45kč/kg. Což činí za hmotnost odpadu celé dávky přibližně 67 000kč.

5 TECHNOLOGICKÉ VÝPOČTY

Tato kapitola se zabývá všemi potřebnými technologickými výpočty, jako jsou: lisování podélných symetrických prolisů, střížné síly, výtlačné síly, stírací síly, střížné práce, střížné vůle, určení rozměrů střížníku a střížnice a také pevnostními výpočty střížníku a střížnice. Tyto výpočty jsou nezbytně nutné pro stanovení konstrukce náradí, návržení stroje a technologického postupu.

5.1 Výpočty pro podélný symetrický půlkruhový prolis

Na součásti se dle výkresu nachází 12 podélných symetrických půlkruhových prolisů. Délka všech těchto prolisů se sečte a výsledek se vloží do vzorce (5.1). Vyhodnocení je v (tab. 5.1). Součinitel závislý na šířce a hloubce žebra se stanoví na hodnotu $k = 0,8$.

Lisovací síla pro reliéfní přetváření plechů¹⁰:

$$F_l = L \cdot h \cdot R_m \cdot k [kN] \quad (5.1)$$

L = délka výztužných žebor s možností součtu všech žebor na výrobku

h = hloubka prolisu

R_m - volím střední hodnotu meze pevnosti dle materiálového listu 600MPa

k - součinitel, který závisí na šířce a hloubce výztužného žebra¹⁰, nabývá hodnot: $k^* = 0,7 - 1 [-]$

$$\text{Po dosazení: } F_l = (12 \cdot 320) \cdot 8 \cdot 600 \cdot 0,8 = \underline{\underline{14745,6kN}}$$

Tab. 5.1 Výpočet lisovací síly pro podélný symetrický půlkruhový prolis

Rozměry tažníku	Tvar tažníku	L Délka jednoho prolisu [mm]	Počet prolisů [ks]	Celková délka prolisů [mm]	H hloubka prolisu [mm]	Rm [MPa]	k [-]	F _l Lisovací síla [kN]
320x18mm	oválný	320	12	3840	8	600	0,8	14745,6

5.2 Výpočet střížné síly

Výpočet střížné síly vychází z hodnocení materiálových vlastností, kvality střížné hrany a vzhledu výstřížků po oddělení. Pro výpočet střížné síly pro děrování tvarových otvorů se bude vycházet z rozšířeného vztahu, který uvádí např. Mádle⁴ (tab. 5.1 a tab. 5.2).

$$F_s = k_1 \cdot k_2 \cdot k_3 \cdot S \cdot \tau_{ps} [kN] \quad (5.2)$$

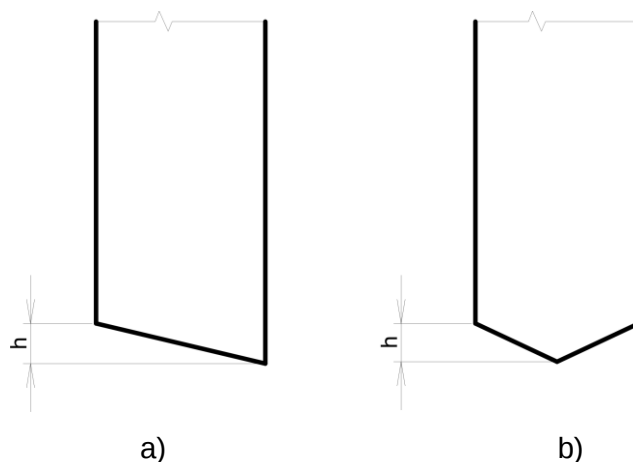
$\tau_{ps} = 0,8R_m$ pevnost ve stříhu (střížný odpor)

k_1 - koeficient charakterizující kvalitu střížné hrany (stupeň otupení: 1,1 až 1,2)

k_2 - koeficient charakterizující tření mezi střížníkem, materiálem a střížnicí (1,07 až 1,14)

k_3 - koeficient charakterizující průběh stříhu (rovný stříh, šikmý stříh)

- pro úkos $h = t$ se volí parametr z intervalu: $k_3 = (0,4 \text{ až } 0,7)$
- pro úkos $h = 2t$ analogicky z intervalu: $k_3 = (0,2 \text{ až } 0,4)$
 h = výška zešikmení střížníku. (obr. 5.1); t = tloušťka materiálu



Obr. 5.1 Schéma zešikmení střížníku pro snížení střížné síly
a) jednostranný úkos b) oboustranný úkos

Tab. 5.1 Výpočet střížné síly pro k_{1min} , k_{2min} , k_{3min}

Otvor	Tvar střížníku	I [mm]	tl. [mm]	S [mm ²]	k_{1min} [-]	k_{2min} [-]	k_{3min} [-]	τ_{ps} [MPa]	F_s [kN]
10 x 10mm	rovný	40	0,8	100	1,1	1,07	-	480	45,2
10 x 10mm	šikmý jednostranně	40,064	0,8	100,32	1,1	1,07	0,4	480	37,8
10 x 10mm	šikmý oboustranně	41	0,8	105	1,1	1,07	0,2	480	9,5

Tab. 5.2 Výpočet střížné síly pro k_{1max} , k_{2max} , k_{3max}

Otvor	Tvar střížníku	I [mm]	tl. [mm]	S [mm ²]	k_{1max} [-]	k_{2max} [-]	k_{3max} [-]	τ_{ps} [MPa]	F_s [kN]
10 x 10mm	rovný	40	0,8	100	1,2	1,14	-	480	52,5
10 x 10mm	šikmý jednostranně	40,064	0,8	100,32	1,2	1,14	0,7	480	36,9
10 x 10mm	šikmý oboustranně	41	0,8	105	1,2	1,14	0,4	480	22,1

Nejmenší střížná síla $F_s = 9,5\text{kN}$ vychází z parametrů pro k_{1min} , k_{2min} , k_{3min} s oboustranně zešikmeným střížníkem. Tato hodnota je výchozí pro další výpočty.

5.3 Výpočet výtlačné síly (vysouvací, vyrážecí)

Výtlačná síla je síla potřebná pro vysunutí střížníku ze střížnice, její hodnoty získáme výpočtem podle vztahu:

Výtlačná síla⁹:

$$F_v = F_s \cdot k_{ev} [N] \quad (5.3)$$

F_v = síla potřebná k vysunutí střížníku ze střížnice [N]

k_{ev} = koeficient závislý na druhu stříhu a tloušťce materiálu (pro ocel 0,05)

$$\text{Po dosazení: } F_v = 9500 \cdot 0,05 = \underline{\underline{475N}}$$

5.4 Výpočet stírací síly

Stírací síla⁹:

$$F_u = F_s \cdot k_{eu} [N] \quad (5.4)$$

F_u = síla potřebná k setření materiálu ze střížníku [N]

k_{eu} = koeficient závislý na druhu stříhu a tloušťce materiálu pro ocel (0,011 – 0,013)

$$\text{Po dosazení: } F_u = 9500 \cdot 0,012 = \underline{\underline{114N}}$$

5.5 Výpočet střížné práce

Výpočet střížné práce pro stříhání se zešíkmeným střížníkem je závislý na střížné síle, délce stříhu a úhlu sklonu střížníku. Při výpočtu střížné práce se bude vycházet ze vztahu, který uvádí např. Hýsek⁸.

Střížná práce⁸

$$A = \frac{F_s \cdot l}{1000 \cdot \cot g \alpha} [J] \quad (5.5)$$

A = střížná práce [J]

F_s = střížná síla [N]

l = délka stříhu [mm]

α = úhel sklonu nožů [°]

$$\text{Po dosazení: } A = \frac{9,5 \cdot 41}{1000 \cdot 0,3199} = \underline{\underline{1217,6J}}$$

5.6 Určení střížné vůle

Dle normy ČSN 22 60 15 je stanovena střížná vůle pro zadaný materiál 1.4301 tloušťky 0,8mm a maximální možné pevnosti v tahu $R_m = 600\text{MPa}$:
 $v = 0,048\text{mm}$.

5.7 Určení rozměrů střížníku a střížnice

V tabulce 5.3 jsou stanoveny rozměry a tolerance střížníku a střížnice dle normy ČSN 22 60 15⁹ pro daný jmenovitý rozměr 10 x 10mm.

RED - rozměr střížnice při děrování

RAD - rozměr střížníku při děrování

JR - jmenovitý rozměr otvoru

v - střížná vůle

TS - tolerance jmenovitého rozměru

P - přípustná míra opotřebení

TE - výrobní tolerance střížnice

TA - výrobní tolerance střížníku

$$RED = (RAD + v - TE) \begin{matrix} +TE \\ 0 \end{matrix} \quad (5.6)$$

$$RAD = (JR + P) \begin{matrix} 0 \\ -TA \end{matrix} \quad (5.7)$$

Tab. 5.3 Rozměry střížníku a střížnice s tolerancemi pro děrování

JR [mm]	TS [mm]	v [mm]	P [mm]	TA [mm]	TE [mm]	RAD [mm]	RED [mm]
10 x 10	+0,09	0,048	0,09	0,024	0,015	10,09 _{-0,024} ⁰	10,123 ₀ ^{+0,015}

5.8 Pevnostní výpočty střížníku a střížnice

Tyto výpočty slouží ke konstrukci a výrobě střížného nástroje.

5.8.1 Kontrola střížníku na tlak

Běžné střížníky se kontrolují na tlak, ale i na vzpěr⁶.

Kontrola na tlak⁶:

$$\sigma_d = \frac{F_s}{S} \leq \sigma_{dov} [MPa] \quad (5.8)$$

kde: F_s = střížná síla [N]

S = plocha průřezu střížníku [mm²]

σ_{dov} = dovolené namáhání v tlaku [2000 – 2500MPa]

$$\text{Po dosazení: } \sigma_d = \frac{9500}{1,05 \cdot 10^{-4}} = 90,48 \cdot 10^6 \text{ Pa} = \underline{\underline{90,48 \text{ MPa}}}$$

$$90,48 \text{ MPa} \leq 2000 \text{ MPa}; \sigma_d \leq \sigma_{dov} \Rightarrow \text{vyhovuje}$$

Z výpočtu vyplývá, že podmínka pro namáhání střížníku na tlak je splněna.

5.8.2 Kontrola střížníku na vzpěr

V případě delších střížníků je nezbytné provedení kontroly na vzpěr. Kritická délka střížníku pro nevedený střížník se vypočítá např. podle vztahu:

Kritická délka střížníku⁶:

$$l_k = \sqrt{\frac{2\pi^2 \cdot E \cdot I}{k_b \cdot F_s}} [mm] \quad (5.9)$$

E = modul pružnosti v tahu (ocel: $2,15 \cdot 10^5 \text{ MPa}$)

I = moment setrvačnosti čtvercového průřezu o straně **a**: $I = 0,141a^4 [mm^4]$

k_b = koeficient bezpečnosti (1,5 – 2) [-]

F_s = střížná síla [N]

$$\text{Po dosazení: } l_k = \sqrt{\frac{2\pi^2 \cdot 2,15 \cdot 0,141 \cdot 10^4}{1,5 \cdot 9500}} = \underline{\underline{648mm}}$$

Z výpočtu vyplývá, že kritická délka střížníku provedené kontroly na vzpěr plně vyhovuje zadaným parametrům střížníku viz.výkres (Příloha 3).

5.8.3 Kontrola tloušťky střížnice na ohyb

a) Odhad tloušťky střížnice z velikosti střížné síly podle Oehlera:

Tloušťka střížnice⁶:

$$H = \sqrt[3]{F_s} [mm] \quad (5.10)$$

H = tloušťka střížnice [mm]

F_s = střížná síla [N]

$$\text{Po dosazení: } H = \sqrt[3]{9500} = \underline{\underline{21,18mm}}$$

Podle tohoto výpočtu střížnice nevyhovuje konstrukčním parametrům zadaným na výkrese střížnice viz. (Příloha 4). Proto je nutno provést ještě výpočet s přihlédnutím k dovolenému napětí σ_{dov} .

b) Tloušťka střížnice vypočtená s přihlédnutím k dovolenému napětí v ohybu dle vztahu:

Tloušťka střížnice vzhledem k σ_{dov} ⁶:

$$H = \sqrt{\frac{1,5 \cdot F_s}{\sigma_{dov}}} [mm] \quad (5.11)$$

H = tloušťka střížnice [mm]

F_s = střížná síla [N]

σ_{dov} = dovolené namáhání v ohybu, pro ocel [300 – 400MPa]

$$\text{Po dosazení: } H = \sqrt{\frac{1,5 \cdot 9500}{350}} = \underline{\underline{6,38mm}}$$

Tloušťka střížnice vypočtená s přihlédnutím k dovolenému napětí vyhovuje konstrukčním parametrům zadaným na výkrese střížnice viz. (Příloha 4).

6 NÁVRH STROJE

Pro nové řešení je navržena úprava stávajícího lisu typu LDR 25-A (obr. 6.3) a (Příloha 7), která spočívá v navržení a aplikaci pružného eladurového stírače systému Trumpf¹³ a (Příloha 5). Toto řešení umožňuje děrování již předlisovaných obdélníkových polotovarů s prolisy o velikostech 8 x 18 x 320mm. Současná technologie toto neumožňuje vzhledem k samotné konstrukci stroje, který nepočítá s děrováním jiného, než plochého materiálu tj. bez výstupků a prohlubní.

Z technologických parametrů zvoleného lisu vyplývá, že je určen pouze pro postupné děrování otvorů kruhových a jiných tvarů v tabulích nebo přístřizích plechů, např. v elektrotechnickém průmyslu při výrobě měřicích přístrojů, zejména panelů ovládacích skříní, základních desek přístrojů, krytů apod. Konstrukční provedení s vyložení, s otočnými revolverovými nástrojovými hlavami a s ručním nastavováním stolu podle šablony. Nástrojová hlava se natáčí do žádané polohy u zvoleného lisu LDR 25-A motoricky. Plech se upíná na pohyblivý nosič, který obsluhuje lisař.

Držák každého střížníku je ukončen hlavicí tvaru T, která se při nastavení nástroje – střížníku do pracovní polohy zasune do drážky beranu a tak uzamkne. Uvedené konstrukční uspořádání neumožňuje děrování předlisovaných plechů s různými tvary prolisů a proto v bakalářské práci byla pro tuto novou technologii provedena úprava na lisu LDR 25-A, která spočívá v demontáži pevných stíračů z příslušenství stroje a v montáži pružného endurového stírače s výše uvedenými parametry.

Vlastní úprava nástroje spočívá v zavedení kruhového průřezu u plochy, která fixuje stírač ke střížníku (obr. 6.1) náhrada plochy uchycení. Čtvercový tvar střížníku při svislém, přímočarém, vratném pohybu způsoboval prořezávání stírače svými hranami (obr. 6.2).



Obr. 6.1 Eladurový stírač a střížník v držáku



Obr. 6.2 Střížnice a střížník - původní



Obr. 6.3 Lis LDR 25-A

7 NAVRŽENÝ TECHNOLOGICKÝ POSTUP

Dle technologického postupu dvou navržených variant můžeme stanovit cenu vyrobeného dílce *Přepážka ventilace* pro děrování na lisu LDR a pro děrování na lisu CTM. Technologický postup nám zde slouží k ekonomickému zhodnocení navržené výroby. Vzhledem k výrobní dávce 10 000ks ročně, jsou přípravné časy považovány za zanedbatelné a nejsou zde proto uvedeny.

Tab. 7.1 Technologický postup výroby součásti s děrováním na LDR

			TELG. POSTUP VÝROBY SOUČÁSTI <i>PŘEPÁŽKA VENTILACE</i>		
Operace	Třídící číslo pracoviště	Čas kusový	Popis operace	Název stroje/pracoviště	Typ stroje
		tk _i [min]			
1	29239	0,5	Stříhat rozměr 420x1250mm ze svitku	Tabulové nůžky	
2	29239	0,5	Stříhat na míru 610mm	Tabulové nůžky	
3	03033	10	Reliéfní tváření	Kooperace	CTM 250t
4	11131	40	Děrovat otvory 10x10mm dle šablony	Lis děrovací	LDR 25-A
5	09421	1,5	Odstranit otřepy	Ruční pracoviště	
6	09863	-	Technická kontrola	Kontrolní pracoviště	
Σ tk celk.		52,5			

Z tab. 7.1 vyplývá, že kusový čas pro vyrobení jednoho dílce *Přepážka ventilace* s použitím děrování tvarových otvorů na lisu LDR je 62,5 minut.

Tab. 7.2 Technologický postup výroby součásti s děrováním na CTM

			TELG. POSTUP VÝROBY SOUČÁSTI <i>PŘEPÁŽKA VENTILACE</i>		
Operace	Třídící číslo pracoviště	Čas kusový	Popis operace	Název stroje/pracoviště	Typ stroje
		tk _i [min]			
1	29239	0,5	Stříhat rozměr 420x1250mm ze svitku	Tabulové nůžky	
2	29239	0,5	Stříhat na míru 610mm	Tabulové nůžky	
3	03033	10	Reliéfní tváření	Kooperace	CTM 250t
4	03033	20	Děrovat otvory 10x10mm na post.stříhadle	Kooperace	CTM 250t
5	09421	1,5	Odstranit otřepy	Ruční pracoviště	
6	09863	-	Technická kontrola	Kontrolní pracoviště	
Σ tk celk.		32,5			

Z tab. 7.2 vyplývá, že kusový čas pro výrobu jednoho dílce *Přepážka ventilace* s použitím děrování tvarových otvorů na lisu CTM je 27,5 minut.

8 EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ

Ekonomické zhodnocení současné a navrhované technologie děrování vychází z předpokladu stanovení ceny tvářecího nástroje. Při výrobě nástroje se jedná o kusovou výrobu a je obtížné stanovit cenu. Proto byla cena stanovena odborným odhadem na základě těchto faktorů:

- konzultace v nástrojárně
- ceny materiálu dle katalogu⁷
- technologického postupu

Tab. 8.1 Faktory pro odhad ceny nástroje pro děrování tvarových otvorů

1 hodina práce v nástrojárně	2500kč
Výrobní čas bloku postupového stříhadla	40hod.
Výrobní čas střížníku	8hod.
Výrobní čas střížnice	6hod.
Výrobní čas šablony pro lis LDR	4hod.
Cena oceli 19 347	49,83kč
Cena oceli 12 050	37,93kč
Hustota oceli p	7,8kg/dm ³
Počet vyrobených kusů za rok součásti <i>Přepážka ventilace</i>	10 000ks
Kusový čas děrování tvarových otvorů pro CTM 250t	20 minut
Kusový čas děrování tvarových otvorů pro LDR 25-A	40 minut

8.1 Cena nástroje pro děrování na lisu LDR

K děrování na lisu LDR potřebujeme tyto základní nástroje:

- střížník
- střížnice
- stírač
- šablona

Tab. 8.2 Stanovení ceny nástroje pro lis LDR

Název	Materiál	Hmotnost [kg]	Cena materiálu [kč]	Výrobní čas [hod]	Cena práce v nástrojárně [1hod/kč]	Celková cena [kč]
Střížník	19 347	0,12	49,83	8	2500	20 006, 00
Střížnice	19 347	0,395	49,83	6	2500	15 020, 00
Stírač	eladur	0,03	600	-	-	600, 00
Šablona	12 050	7,5	37,93	4	2500	10 038,00
Celková cena nástroje:						45 664,00

Celková cena nástroje pro lis LDR byla stanovena odborným odhadem na základě výše uvedených parametrů na 45 664kč.

8.2 Cena postupového stříhadla pro lis CTM

Postupové stříhadlo – nástroj pro lis CTM lisuje v jednom kroku najednou 22ks tvarových otvorů. To znamená že k jeho výrobě potřebujeme ocelový blok o rozměrech cca. 150 x 150 x 500mm, který slouží k výrobě základní desky, vodící a stírací desky pro umístění 22ti kusů střížníků a 22ti kusů střížnic.

Tab. 8.3 Stanovení ceny nástroje pro lis CTM

Název/ počet kusů	Materiál	Hmotnost/ kus [kg]	Cena materiálu [kč]	Výrobní čas za poč.kusů [hod]	Cena práce v nástrojárně [1hod/kč]	Celková cena [kč]
Střížník/22	19 347	0,12	49,83	176	2500	440 000, 00
Střížnice/22	19 347	0,395	49,83	132	2500	330 000, 00
Blok stříha- dla/1	12 050	87,75	3330	40	2500	100 000, 00
Celková cena nástroje:						870 000,00

Celková cena postupového stříhadla pro lis CTM byla stanovena odborným odhadem na základě výše uvedených parametrů na 870 000kč.

8.3 Vyhodnocení variant

Porovnáním cen tvářecích nástrojů a kusových výrobních časů byly zjištěny celkové náklady na výrobu 10 000 kusů *Přepážky ventilace* s použitím děrování tvarových otvorů na lisech LDR a CTM.

Tab. 8.4 Celkové náklady s použitím lisu LDR

1 hodina práce na lisu LDR	600kč
Cena nástroje pro lis LDR	45 664kč
Kusový čas pro výrobu jednoho dílce <i>Přepážka ventilace</i> s děrováním tvarových otvorů na lise LDR	52,5min
Cena jednoho kusu <i>Přepážky ventilace</i> s použitím děrování na lise LDR	525kč/kus
Cena výroby 10 000ks <i>Přepážky ventilace</i> s použitím lisu LDR	5.250 000kč
Celková cena za 10 000ks i s náklady na nástroj pro LDR	5.295 664kč

Tab. 8.5 Celkové náklady s použitím lisu CTM

1 hodina práce na lisu CTM	1500kč
Cena postupového stříhadla pro lis CTM	870 000kč
Kusový čas pro výrobu jednoho dílce <i>Přepážka ventilace</i> s děrováním tvarových otvorů na lise CTM	32,5min
Cena jednoho kusu <i>Přepážky ventilace</i> s použitím děrování na lise CTM	812,5kč/kus
Cena výroby 10 000ks <i>Přepážky ventilace</i> s použitím lisu CTM	8.125 000kč
Celková cena za 10 000ks i s náklady na nástroj pro CTM	8.995 000kč

Výrobou zadané součásti *Přepážka ventilace* v množství 10 000ks ročně na lisu LDR 25-A oproti lisu CTM ušetříme celkovou částku **3.699 336kč**, z toho rozdíl mezi cenou tvářecích nástrojů pro LDR a CTM děrování činí **824 336kč**. Vyjádřeno procentuálně činí úspora mezi těmito dvěma technologiemi **41,13%**.

9 ZÁVĚR

V bakalářské práci je prezentováno nové technologické řešení výroby *Přepážky ventilace* pro aplikaci u zdravotní a laboratorní techniky.

Technologie reliéfních prolisů byla změněna z nesymetrických tvarů na symetrické tvary. Z původního lisování na klikovém lisu byla technologie převedena na hydraulický lis CTM a tím dosaženo zlepšení kvality a eliminace pružně-plastických deformací a odstranění tzv. „lupavky“.

Stávající výrobní postup součásti s kruhovými otvory o průměru 10mm neumožňoval dostatečnou cirkulaci vzduchu. Zavedením čtvercových otvorů došlo k nárůstu cirkulace vzduchu o 21,46%.

Nahrazením pevného stírače pružným do lisu LDR 25-A byla na tomto stroji umožněna navíc technologická operace děrování plechů s podélnými prolisy s výškou 8mm. Využitím tohoto lisu byly uspořeny náklady na výrobu nákladného přípravku pro lis CTM. Touto metodou je možné vyrábět plechy rozdílných velikostí a tvarů a operativně měnit tvary a velikosti otvorů dle potřeby a prakticky okamžitě aplikovat do výroby. Na různé druhy je třeba jen vyrobit rozdílné kopírovací šablony z plechů.

Stěžejní význam bakalářské práce spočívá zejména v úspoře lisovacích nástrojů pro děrování, nákladů na kusový čas součásti a možnost rychlé a snadné zavedení do výroby. Řešení je zajímavé pro malosériovou i velkosériovou výrobu.

Úspora při jakémkoliv množství vyrobených kusů je vždy značná. Analýza vstupních a výstupních hodnot toto jednoznačně prokázala. Při výrobní dávce 10 000 kusů ročně činí uspořená částka **3.699 336kč** z toho rozdíl mezi cenou tvářecích nástrojů pro LDR a CTM děrování činí **824 336kč**. A to i přesto že na CTM bychom děrovali 22 otvorů současně. Vyjádřeno procentuálně činí uspořená částka mezi oběma návrhy 41,13%.

Do budoucna bych viděl jako možné řešení, po konstrukčních a technologických úpravách aplikaci této technologie zavést děrování na CNC tvářecí stroje.

SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

1. DVOŘÁK, Milan, et al. **Technologie 2.** vyd.3.doplněné. Brno : Akademické nakladatelství CERM, s.r.o., 2004. 240 s. ISBN 80-214-2683-7.
2. KŘÍŽ, R., VÁVRA, P. **Strojírenská příručka. Tváření.** 1. Vyd. Praha: Scientia 1998. sv.8. 255s. ISBN 80-7183-054-2.
3. VOJTĚCH, Dalibor. **Materiály a jejich mezní stavy.** Vyd.1.Vydavatelství VŠCHT Praha, 2010. 212 s. ISBN 978-80-7080-741-5.
4. KOTOUČ,J.,ŠANOVEC,J.,ČERMÁK,J.,a MÁDLE,L.**Tvářecí nástroje.** 1.vyd.Praha: Vydavatelství ČVUT,1993. 349s.ISBN 80-01-01003-1.
5. LEINVEBER, J. VÁVRA, P. **Strojnické tabulky.** 3. doplněné. vyd. Albra-pedagogické nakladatelství,Úvaly, 2006. 913 s.ISBN 80-7361-033-7.
6. DVOŘÁK, Milan, GAJDOŠ, František, ŽÁK, Ladislav. **Technologie tváření** : Návodů do cvičení. 2. vyd. Brno : Akademické nakladatelství CERM, 2005. 103 s. ISBN 80- 214-2881-3.
7. FERONA a .s. [online]. 2010 [cit. 2010-05-18]. **Sortimentní katalog.** Dostupné z WWW: <<http://www.ferona.cz/cze/katalog/strom.php>>.
8. HÝSEK, Rudolf. **Tvářecí stroje 1971.**Vydání první. Praha : Nakladatelství technické literatury, n.p., 1972. 600 s. L13-E1-IV-41/22333.
9. Norma ČSN 22 60 15. **Stříhadla a střížné vŕle : Směrnice pro výpočet a konstrukci.** Praha : Vydavatelství ÚNM, 1977. 28 s. N 16 198.
10. ROMANOVSKIJ, V.P. **Příručka pro lisování za studena.** Tisk, knižní výroba Brno. 1959, 540s. L13-E14-III/2395
11. Barko: **Kovošrot a výkup druhotných surovin** [online]. 2010 [cit. 2010-05-20]. Dostupné z WWW: <<http://www.druhotnesuroviny.cz/>>.
12. TOP LANTIS : **Nástroje pro vysekávací lisy** [online].Top Lantis spol. s r.o., 2010 [cit. 2010-05-22]. Dostupné z WWW: <<http://toplantis.cz/nastroje.php?m=nastroje1>>.

SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ

Zkratka/Symbol	Jednotka	Popis
a	mm	Strana čtverce
A	J	Střižná práce
A	%	Tažnost
d _{st}	mm	Rozměr střižníku
d _{sp}	mm	Rozměr střižnice
E	MPa	Modul pružnosti
ε	[-]	Stupeň deformace
ε_c	[-]	Celková deformace
ε_e	[-]	Elastická deformace
ε_p	[-]	Plastická deformace
ε_1	[-]	Poměrná deformace osa x
ε_2	[-]	Poměrná deformace osa y
ε_3	[-]	Poměrná deformace osa z
F _s	N	Střižná síla
F _l	N	Lisovací síla
F _v	N	Výtlačná síla
F _u	N	Stírací síla
F _p	N	Přítlačná síla (přidržovače)
h	mm	Výška (jehel, výstupků apod.)
H	mm	Tloušťka střižnice
I	mm ⁴	Moment setrvačnosti čtvercového průřezu o straně „a“
JR	mm	Jmenovitý rozměr
k	mm	Zkosení stříhu (u stříhání)
k [*]	[-]	Koeficient závislý na šířce a hloubce výtažku (u tažení)
k _b	[-]	Koeficient bezpečnosti
k ₁	[-]	Koeficient kvality střižné hrany
k ₂	[-]	Koeficient tření mezi střižníkem, materiálem a střižnicí
k ₃	[-]	Koeficient průběhu stříhu – rovný, šikmý
k _{ev}	[-]	Koeficient závislý na druhu stříhu a tloušťce materiálu
l _k	mm	Kritická délka střižníku
n	[-]	Exponent zpevnění
p	Pa	Tlak
P	%	Přípustná míra opotřebení
r	mm	Poloměr vnitřní
RAD	mm	Rozměr střižníku při děrování
RED	mm	Rozměr střižnice při děrování
Ra	μm	Střední aritmetická úchylka drsnosti povrchu

Re	MPa	Mez kluzu
Rm	MPa	Mez pevnosti
S	mm ²	Obsah plochy
TA	mm	Výrobní tolerance střižníku
TE	mm	Výrobní tolerance střižnice
TS	mm	Tolerance jmenovitého rozměru
T	°C	Teplota
T _{REK}	°C	Rekrystalizační teplota
T _{TAV}	°C	Teplota tavení oceli
t	mm	Tloušťka materiálu
τ _{ps}	MPa	Pevnost ve stříhu (střižný odpor)
v	mm	Střižná vůle
z	mm	Střižná mezera
Z	μm	Velikost zrna po rekrystalizaci
Z*	mm	Zúžení (kontrakce) (u tažení)
σ ₁	MPa	Normálové napětí
σ ₂	MPa	Normálové napětí
σ ₃	MPa	Normálové napětí
σ _d	MPa	Deformační odpor
σ _d	MPa	Namáhání na tlak
σ _{dov}	MPa	Dovolené namáhání v tlaku
σ _p	MPa	Přirozený deformační odpor

SEZNAM OBRÁZKŮ A GRAFŮ

Číslo obrázku	strana	Popis
Obr. 1	Str. 9	Detail součásti <i>Přepážka ventilace</i>
Obr. 1.1	Str. 10	Závislost deformačního napětí na deformaci
Obr. 1.2	Str. 11	Mechanismy trvalé deformace kovu
Obr. 1.3	Str. 11	Závislost mechanických hodnot materiálu na stupni deformace
Obr. 1.4	Str. 13	Rekrystalizační diagram
Obr. 1.5	Str. 14	Schémata hlavních deformací
Obr. 1.6	Str. 15	Proces stříhání a pásma na střižné ploše
Obr. 1.7	Str. 16	Fáze stříhání
Obr. 1.8	Str. 16	Střižná mezera

Obr. 1.10	Str. 17	Výška jehel
Obr. 1.11	Str. 18	Děrování plechu
Obr. 2.1	Str. 19	Přepážka ventilace - detail
Obr. 3.1	Str. 21	Technologické vzdálenosti stříhaných obrysů
Obr. 4.1	Str. 22	Nástřihový plán varianty 1.
Obr. 4.2	Str. 23	Nástřihový plán varianty 2.
Obr. 4.3	Str. 24	Nástřihový plán varianty 3.
Obr. 4.4	Str. 25	Nástřihový plán varianty 4.
Obr. 4.5	Str. 26	Nástřihový plán varianty 5.
Obr. 4.6	Str. 27	Nástřihový plán varianty 6.
Obr. 4.7	Str. 28	Nástřihový plán varianty 7.
Obr. 4.8	Str. 30	Řez podélným půlkruhovým prolisem
Obr. 4.9	Str. 30	Děrování plechu s prolisy
Obr. 5.1	Str. 32	Schéma zešikmení střížníku
Obr. 6.1	Str. 36	Eladurový stírač a střížník v držáku
Obr. 6.2	Str. 37	Střížnice a střížník – původní
Obr. 6.3	Str. 37	Lis LDR 25-A

SEZNAM TABULEK

Číslo tabulky	strana	Popis
Tab. 4.1	Str. 29	Přehled variant umístění součástí v nástřihovém plánu
Tab. 5.1	Str. 31	Výpočet lisovací síly pro podélný symetrický půlkruhový prolis
Tab. 5.1	Str. 32	Výpočet střížné síly pro k_{1min} , k_{2min} , k_{3min}
Tab. 5.2	Str. 32	Výpočet střížné síly pro k_{1max} , k_{2max} , k_{3max}

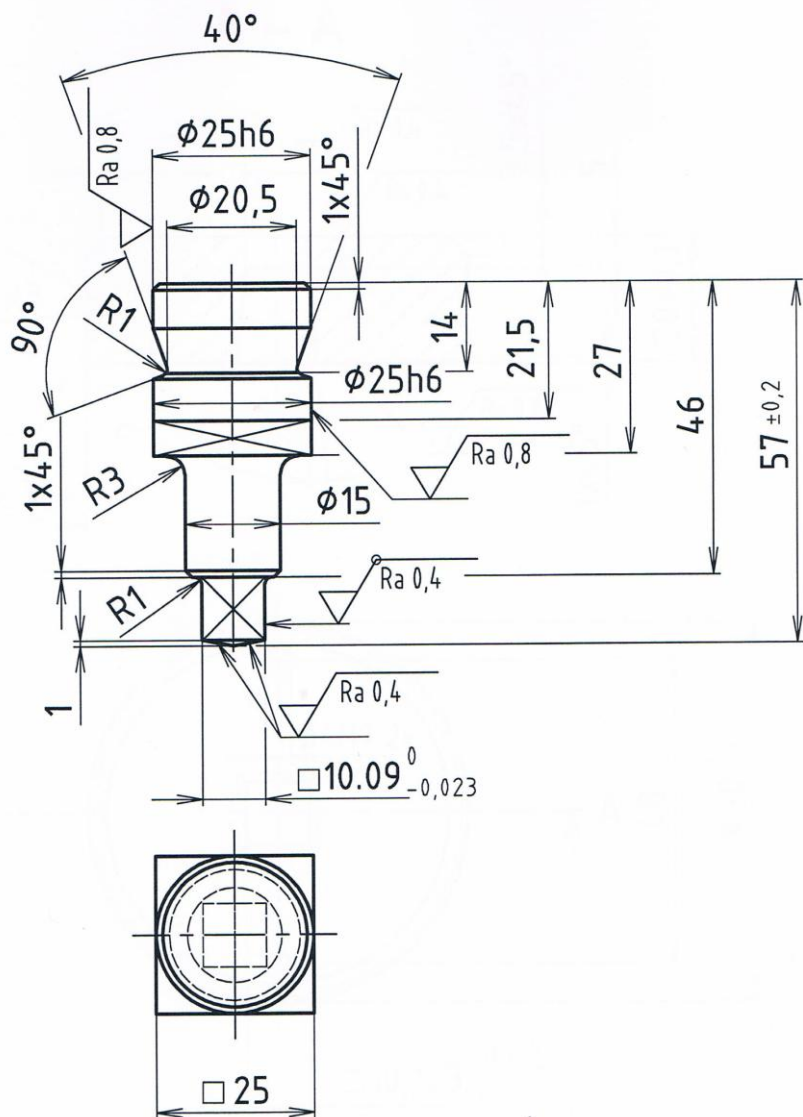
Tab. 5.3	Str. 34	Rozměry střížníku a střížnice s tolerancemi pro děrování
Tab. 7.1	Str. 38	Technologický postup výroby součásti s děrováním na LDR
Tab. 7.2	Str. 38	Technologický postup výroby součásti s děrováním na CTM
Tab. 8.1	Str. 39	Faktory pro odhad ceny nástroje pro děrování tvarových otvorů
Tab. 8.2	Str. 39	Stanovení ceny nástroje pro lis LDR
Tab. 8.3	Str. 40	Stanovení ceny nástroje pro lis CTM
Tab. 8.4	Str. 40	Celkové náklady s použitím lisu LDR
Tab. 8.5	Str. 40	Celkové náklady s použitím lisu CTM

SEZNAM POUŽITÝCH VZTAHŮ

Číslo vztahu	strana	Popis
(5.1)	Str. 31	Lisovací síla pro reliéfní přetváření plechů
(5.2)	Str. 31	Střížná síla
(5.3)	Str. 33	Výtlačná síla
(5.4)	Str. 33	Stírací síla
(5.5)	Str. 33	Střížná práce
(5.6)	Str. 39	Rozměr střížníku při děrování
(5.7)	Str. 34	Rozměr střížnice při děrování
(5.8)	Str. 34	Kontrola na tlak
(5.9)	Str. 35	Kritická délka střížníku
(5.10)	Str. 35	Tloušťka střížnice
(5.11)	Str. 35	Tloušťka střížnice vzhledem k σ_{dov}

SEZNAM PŘÍLOH

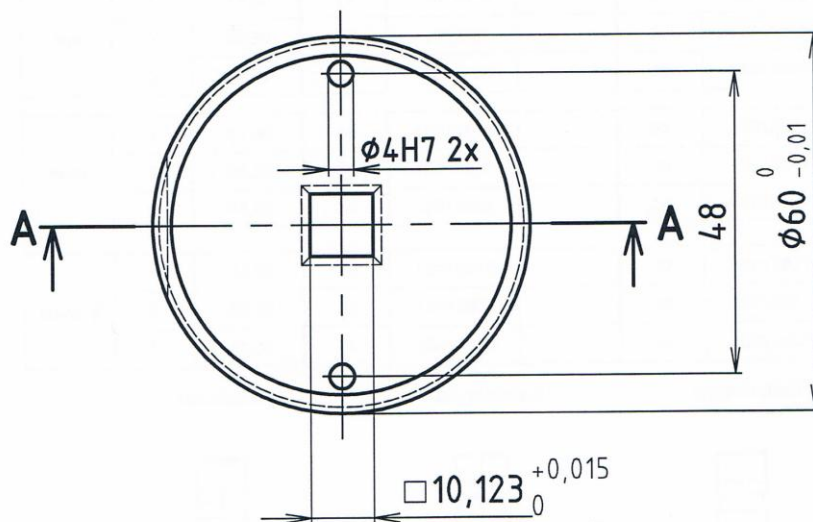
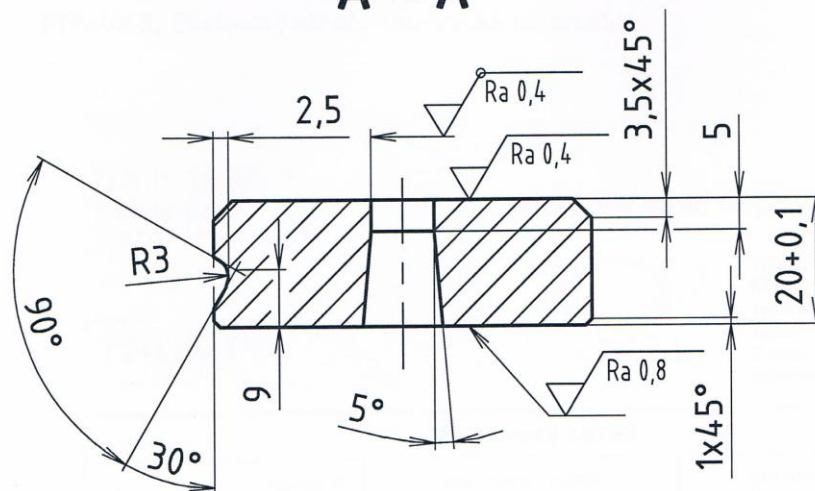
- Příloha 1 Výkres A 1 součásti *Přepážka ventilace* (volně vloženo)
- Příloha 2 Výkres A 2 sestavy nástroje (volně vloženo)
- Příloha 3 Výkres střížníku
- Příloha 4 Výkres střížnice
- Příloha 5 Eladurový stírač – technické parametry
- Příloha 6 Výkres A 1 šablony pro lis LDR (volně vloženo)
- Příloha 7 Lis LDR 25-A – technické údaje
- Příloha 8 Tabulka: Střední hodnoty tolerancí pro děrování
- Příloha 9 Tabulka: Číselné hodnoty tolerancí
- Příloha 10 Tabulka: Nejmenší velikosti otvorů při děrování



KALENO A POPUŠTĚNO 56+2 HRC

Struktura povrchu:  Ra 3,2 (✓)		Hrany:  -0,1  +0,1		Měřítko 1:1	Přesnost ISO 2768 - mH
Materiál 19 437		Polotovár ČSN EN ISO 4957		Hmotnost 0,12 kg	Tolerování ISO 8015
VUT FSI Brno Ústav strojírenské technologie		Druh dokumentu VÝKRES SOUČÁSTI Kreslil B.Bartusek Schválil Datum vydání 22.5.2010		Název STŘIŽNÍK Zadání Příloha č.3	
				Promítání 	
				CHRÁNĚNO PODLE ISO 16016	

A - A



KALENO A POPUŠTĚNO 56+2 HRC

Struktura povrchu: $\sqrt{Ra\ 3,2}$ (✓)		Hrany: $\begin{matrix} -0,1 \\ +0,1 \end{matrix}$	Měřítko 1:1	Přesnost ISO 2768 - mH
				Tolerování ISO 8015
				Promítání $\begin{matrix} \text{---} \end{matrix}$
Materiál 19 437	Polotovár	ČSN EN 10083-2	Hmotnost 0,395 kg	CHRÁNĚNO PODLE ISO 16016
VUT FSI Brno Ústav strojírenské technologie	Druh dokumentu	VÝKRES SOUČÁSTI	Název STŘIŽNICE	
	Kreslil	B.Bartusek		
	Schválil		Zadání Příloha č.4	
	Datum vydání	24.5.2010		

Příloha 5: Eladurový stírač – technické parametry

Ceník 10/05-T
Eladurový stěrač
pro standardní razník

Systém
TRUMPF

PASS STANZTECHNIK AG



spol. s r.o.
TOP
LANTIS

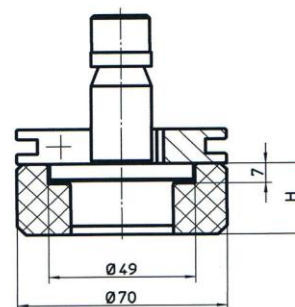
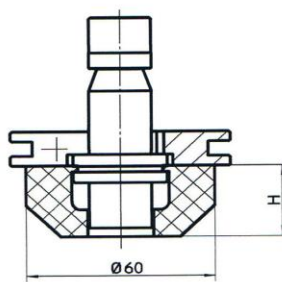
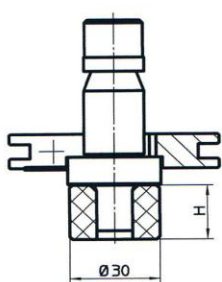
TOP LANTIS spol. s r.o.
679 13 - Vysočany
Telefon: + 420 516 436059
Telefax: + 420 516 435607
E-Mail: info@top.lantis.cz
Internet: www.top.lantis.cz

Eladurový stěrač								
obrys	typ stěrače	rozměr "d" v mm	pro "rovný" razník			pro razník "Whisper"		
			H v mm	obj. číslo	cena €	H v mm	obj. číslo	cena €
bez	1	-12,00	19	1S013810		22	1S013820	
	2	-30,50	25	1S013830		28	1S013840	
	3	-48,00	25	1S013850		28	1S013860	
kruh	1	-12,00	19	1S013811		22	1S013821	
	2	-30,50	25	1S013831		28	1S013841	
	3	-48,00	25	1S013851		28	1S013861	
tvarový	1	-12,00	19	1S013812		22	1S013822	
	2	-30,50	25	1S013832		28	1S013842	
	3	-48,00	25	1S013852		28	1S013862	

typ stěrače 1

typ stěrače 2

typ stěrače 3



Použití:

- ke snížení hlučnosti
- k vysekávání a tváření

POZOR: Upozorňujeme na to, že opotřebení eladurového (resp. plastového) stěrače je při vysekávání, děrování nebo tváření plechu velmi značné.

* použitelný také pro stroje skupiny „S“

Příloha 7: Lis LDR 25-A – technické údaje

Technické údaje	LDR 25-A	
Číselný znak	513114-497901	
Jmenovitá síla	25	kN
Největší rozměr tabule	1000 x 800	mm
Největší opsaný průměr děrovaného otvoru	100	mm
Největší tloušťka plechu Rm 50MPa	2	mm
Největší počet nástrojů	20	ks
Počet zdvihů beranu (teoretický)	125	za min
Vyložení A	800	mm
Zdvih beranu Z	20	mm
Výkon elektromotoru	1,1	kW
Spotřeba nasátého vzduchu pro 1 zapnutí spojky	2	dm ³
Rozměry lisu:		
délka	3050	mm
šířka	1970	mm
výška	1575	mm
Hmotnost lisu	5000	kg
Hmotnost lisu se zámořským obalem	5800	kg
Objem / počet obalů	12,5 / 5	m ³ / kusů

Příloha 8: Tabulka: Střední hodnoty tolerancí pro děrování²

Děrování			
Tloušťka stříhaného materiálu s	Rozměry děr		
	do 10	10 až 50	50 až 100
0,2 až 1,0	0,06 až 0,02	0,08 až 0,04	0,10 až 0,08
1,0 až 4,0	0,08 až 0,03	0,10 až 0,06	0,12 až 0,10
4,0 až 10,0	0,10 až 0,06	0,12 až 0,10	0,15 až 0,14
Vzdálenost děr			
Tloušťka stříhaného materiálu s	Vzdálenost		
	do 50	50 až 150	150 až 300
do 1,0	$\pm 0,10$ až $\pm 0,03$	$\pm 0,15$ až $\pm 0,05$	$\pm 0,20$ až $\pm 0,08$
1,0 až 2,0	$\pm 0,12$ až $\pm 0,04$	$\pm 0,20$ až $\pm 0,06$	$\pm 0,30$ až $\pm 0,10$
2,0 až 4,0	$\pm 0,15$ až $\pm 0,06$	$\pm 0,25$ až $\pm 0,08$	$\pm 0,35$ až $\pm 0,12$
4,0 až 6,0	$\pm 0,20$ až $\pm 0,08$	$\pm 0,30$ až $\pm 0,10$	$\pm 0,40$ až $\pm 0,15$
Vzdálenost děr od krajů			
Tloušťka stříhaného materiálu s	Vzdálenost od krajů		
	do 50	50 až 150	150 až 300
do 1,0	$\pm 0,50$ až $\pm 0,25$	$\pm 0,60$ až $\pm 0,30$	$\pm 0,70$ až $\pm 0,35$
1,0 až 2,0	$\pm 0,50$ až $\pm 0,25$	$\pm 0,60$ až $\pm 0,30$	$\pm 0,70$ až $\pm 0,35$
2,0 až 4,0	$\pm 0,60$ až $\pm 0,30$	$\pm 0,70$ až $\pm 0,35$	$\pm 0,80$ až $\pm 0,40$
4,0 až 6,0	$\pm 0,70$ až $\pm 0,35$	$\pm 0,80$ až $\pm 0,40$	$\pm 1,00$ až $\pm 0,60$

Příloha 9: Tabulka: Číselné hodnoty tolerancí²

Tab. 3.6. Číselné hodnoty tolerancí [V20]

Rozsah jmenovitých rozměrů (mm)		Toleranční stupně IT																				
		01	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	
přes	do	μm													mm							
	3	0,3	0,5	0,8	1,2	2	3	4	6	10	14	25	40	60	0,10	0,14	0,25	0,40	0,60	1,00	1,40	
3	6	0,4	0,6	1	1,5	2,5	4	5	8	12	18	30	48	75	0,12	0,18	0,30	0,48	0,75	1,20	1,80	
6	10	0,4	0,6	1	1,5	2,5	4	6	9	15	22	36	58	90	0,15	0,22	0,36	0,58	0,90	1,50	2,20	
10	18	0,5	0,8	1,2	2	3	5	8	11	18	27	43	70	110	0,18	0,27	0,43	0,70	1,10	1,80	2,70	
18	30	0,6	1	1,5	2,5	4	6	9	13	21	33	52	84	130	0,21	0,33	0,52	0,84	1,30	2,10	3,30	
30	50	0,6	1	1,5	2,5	4	7	11	16	25	39	62	100	160	0,25	0,39	0,62	1,00	1,60	2,50	3,90	
50	80	0,8	1,2	2	3	5	8	13	19	30	46	74	120	190	0,30	0,46	0,74	1,20	1,90	3,00	4,60	
80	120	1	1,5	2,5	4	6	10	15	22	35	54	87	140	220	0,35	0,54	0,87	1,40	2,20	3,50	5,40	
120	180	1,2	2	3,5	5	8	12	18	25	40	63	100	160	250	0,40	0,63	1,00	1,60	2,50	4,00	6,30	
180	250	2	3	4,5	7	10	14	20	29	46	72	115	185	290	0,46	0,72	1,15	1,85	2,90	4,60	7,20	
250	315	2,5	4	6	8	12	16	23	32	52	81	130	210	320	0,52	0,81	1,30	2,10	3,20	5,20	8,10	
315	400	3	5	7	9	13	18	25	36	57	89	140	230	360	0,57	0,89	1,40	2,30	3,60	5,70	8,90	
400	500	4	6	8	10	15	20	27	40	63	97	155	250	400	0,63	0,97	1,55	2,50	4,00	6,30	9,70	
500	630			9	11	16	22	32	44	70	110	175	280	440	0,70	1,10	1,75	2,80	4,40	7,00	11,00	
630	800			10	13	18	25	36	50	80	125	200	320	500	0,80	1,25	2,00	3,20	5,00	8,00	12,50	
800	1 000			11	15	21	28	40	56	90	140	230	360	560	0,90	1,40	2,30	3,60	5,60	9,00	14,00	
1 000	1 250			13	18	24	33	47	66	105	165	260	420	660	1,05	1,65	2,60	4,20	6,60	10,50	16,50	
1 250	1 600			15	21	29	39	55	78	125	195	310	500	780	1,25	1,95	3,10	5,00	7,80	12,50	19,50	
1 600	2 000			18	25	35	46	65	92	150	230	370	600	920	1,50	2,30	3,70	6,00	9,20	15,00	23,00	
2 000	2 500			22	30	41	55	78	110	175	280	440	700	1 100	1,75	2,80	4,40	7,00	11,00	17,50	28,00	
2 500	3 150			26	36	50	68	96	135	210	330	540	860	1 350	2,10	3,30	5,40	8,60	13,50	21,00	33,00	

Příloha 10: Tabulka: Nejmenší velikosti otvorů při děrování²

Materiál	Obvyklé děrování		Děrování vedeným střížníkem a s přidržovačem	
	d/s	b/s	d/s	b/s
textid, pertinax apod.	0,40	0,35	0,30	0,25
hliník	0,80	0,60	0,30	0,25
měkká ocel				
mosaz	1,00	0,80	0,35	0,30
tvrdá ocel	1,50	1,20	0,50	0,40

d — průměr kruhové díry, b — šířka obdélníkové díry, s — tloušťka materiálu