



VYSOKÉ UČENÍ TECHICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING
INSTITUTE OF MANUFACTURING TECHNOLOGY

VÝROBA SOUČÁSTI RÁMU STŘECHY AUTOMOBILU PLOŠNÝM TVÁŘENÍM

SHEET METAL FORMING PRODUCTION OF AUTOMOBILE FRAME TOP

DIPLOMOVÁ PRÁCE
DIPLOMA THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

Bc. DANIEL MARÁK

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

prof. Ing. MILAN FOREJT, CSc.

BRNO 2008

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Ústav strojírenské technologie

Akademický rok: 2007/08

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

student(ka): Marák Daniel, Bc.

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

obor: **Výrobní technologie a průmyslový management (2303T010)**

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

Výroba součástí rámu střechy automobilu plošným tvářením.

v anglickém jazyce:

Sheet metal forming production of automobile frame top.

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Jde o návrh technologie seriové výroby součástí rámu střechy automobilu z konstrukční oceli plošným tvářením s důrazem na ohýbání a tažení.

Cíle diplomové práce:

1. Vypracovat literární studii se zaměřením na technologii objemového tváření za studena.
2. Zhodnotit současný stav výroby součástí obdobného tvaru.
3. Navrhnout vlastní technologii výroby.
4. Vypracovat výkresovou dokumentaci postupového nástroje a doložit ji potřebnými výpočty
5. Zpracovat technické a ekonomické hodnocení navržené technologie.
6. Formulovat závěry a doporučení pro technickou praxi.

Seznam odborné literatury:

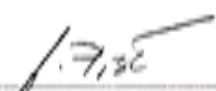
1. LANGE, Kurt, et al. Handbook of metal forming. Kurt Lange. 1st edition. New York : McGraw-Hill Book Company, 1985. 1156 s. ISBN 0-07-036285-8.
2. FOREJT, Milan, PÍŠKA, Miroslav. Teorie obrábění, tváření a nástroje. 1 : Akademické vydavatelství CERM, s. r. o., 2006. 217 s. ISBN 80-214-2374-9.
- [3] BAREŠ, Karel, et al. Lisování. Jindřich Klůna; Vladislav Lacina; TISK n.p. Brno. 1. vyd. Praha : SNTL, 1971. 544 s., 10 grafických příloh. Strojírenská literatura; sv. 6870.

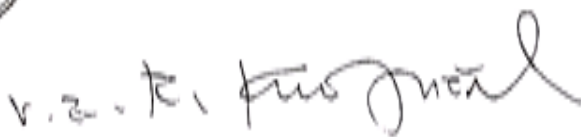
Vedoucí diplomové práce: prof. Ing. Milan Forejt, CSc.

Termín odevzdání diplomové práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2007/08.

V Brně, dne 31.10.2007




doc. Ing. Miroslav Píška, CSc.
Ředitel ústavu


doc. RNDr. Miroslav Doupovec, CSc.
Děkan fakulty

ABSTRAKT

MARÁK Daniel: Výroba součásti rámu střechy automobilu plošným tvářením.

Projekt vypracovaný v rámci inženýrského studia oboru N2326 předkládá návrh technologie postupu výroby výlisku – dílce z mikrolegované oceli s vyšší mezí kluzu H 240 LA a konstrukční návrh nástroje pro jeho lisování. Na základě literární studie technologie plošného tvářením za studena byl navržen technologický postup výroby v deseti operacích. Konstrukce sdruženého postupového nástroje vychází z typu lisu, který je určen pro lisování daného výlisku. Lis KRUPP 400t disponuje lisovací silou 4 000kN. Materiály použité při konstrukci nástroje jsou obvykle používány výrobci nástrojů. Střížníky a střížnice jsou vyrobeny z oceli 19 573, tepelně zpracované podle výkresové dokumentace. Tažníky a tažnice jsou vyrobeny z oceli 19 552, zakaleny na 56+2HRC a povlakovány metodou TiCN.

Klíčová slova: Sdružený postupový nástroj, tažení, stříhání, H 240 LA

ABSTRACT

MARÁK Daniel: Sheet metal forming production of automobile frame top.

The project, which have been created within the framework study of engineering branch N2326, submit project technology process of pressing - part from micro-alloyed steel with higher yield point H 240 LA and proposal of tool design for its pressing. Technology process was designed in ten operations, base on literary studying of cold forming technology. Design of progressive die respects type of press machine, which is specified for production this part. Press KRUPP 400t disposes pressing force 4 000kN. Materials, used for design of tool, are in use by tool shops. Punches and punching dies are produced from steels 19 573, heat-treated according drawing documentation. Drawing punches and dies are produced from steel 19 552, hardened on 56+2HRC and coated by TiCN method.

Keywords: Progressive die, drawing, blanking, H 240 LA

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

MARÁK, D. *Výroba součásti rámu střechy automobilu plošným tvářením*. . Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2008. 61 s. Vedoucí diplomové práce prof. Ing. Milan Forejt, CSc.

ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

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

V Brně dne 22.5.2008

.....

Podpis

PODĚKOVÁNÍ

Děkuji panu prof. Ing. Milanu Forejtovi, CSc. za cenné připomínky a rady týkající se zpracování diplomové práce.

OBSAH

ABSTRAKT	3
BIBLIOGRAFICKÁ CITACE	4
ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ.....	5
PODĚKOVÁNÍ.....	6
OBSAH	7
ÚVOD.....	9
1. TECHNOLOGIE PLOŠNÉHO TVÁŘENÍ ZA STUDENA.....	10
1.1. Modelování a simulace technologických procesů [1], [2], [3], [4]	10
1.1.1. Simulační modely	10
1.2. Tažení [5], [6], [7], [8].....	11
1.2.1. Proces tažení	12
1.2.2. Tažení velkých nepravidelných výtahů	15
1.2.3. Výpočet síly a práce [5], [7].....	16
1.2.4. Určování rozměrů přístřihu u rotačních nádob, počet tahů [7].....	17
1.2.5. Mazání při tažení.....	19
1.2.6. Konstrukce tažníků, tažnic a tažidel	19
1.3. Stříhání [6], [8], [9], [10], [13]	20
1.3.1. Proces stříhání [8]	21
1.3.2. Výpočet střížné síly a práce [13]	23
1.3.3. Výpočet stírací a vysouvací síly [13].....	24
1.3.4. Vůle mezi střížnicí a střížníkem [13].....	24
1.3.5. Tvar a délky střížníku.....	25
1.3.6. Pevnostní výpočet střížníků [10]	26
1.3.7. Těžiště střížných sil [10]	26
1.3.8. Stanovení rozměrů střížníku a střížnice [5]	27
1.3.9. Konstrukce jednoduchých stříhadel.....	28
1.4. Ohýbání [8], [11]	28
1.4.1. Ohýbání se zpevněním	28
1.5. Postupové nástroje	29
2. ZHODNOCENÍ SOUČASNÉHO STAVU VÝROBY.....	30
2.1. Materiál součásti.....	32
3. NÁVRH TECHNOLOGIE VÝROBY	33
3.1. Nástřihový plán	33
3.2. Návrh postupu výroby (příloha 4)	34
3.2.1. Popis jednotlivých operací:	34
3.2.2. Jak zefektivnit technologii.....	34

3.3.	Výpočty potřebných sil v jednotlivých operacích.....	35
3.3.1.	Zpevnění dopravních pásků	36
3.3.2.	Operace 1-3 – stříh.....	36
3.3.3.	Operace 4 – tah, ohyb.....	37
3.3.4.	Operace 5 – děrování, obstříh.....	38
3.3.5.	Operace 6 - ohyb	38
3.3.6.	Operace 7 - kalibr	39
3.3.7.	Operace 8 – obstříh lemu.....	39
3.3.8.	Operace 9 – obstříh lemu, děrování pod úhlem klínovou jednotkou	39
3.3.9.	Operace 10 – natočení, děrování, separace.....	40
3.4.	Celkové síly potřebné pro tváření dílu	40
3.5.	Těžiště střížných a tažných sil	41
3.6.	Výpočet práce	43
3.7.	Výpočet střížné vůle	43
4.	KONSTRUKCE POSTUPOVÉHO NÁSTROJE	44
4.1.	Základní konstrukční rozvržení nástroje	44
4.2.	Stanovení zákl. technických a technologických podmínek pro konstrukci	45
4.3.	Stanovení základních parametrů	47
4.4.	Popis konstrukce	49
4.4.1.	Spodní díl.....	49
4.4.2.	Vodicí desky.....	50
4.4.3.	Horní díl.....	50
4.4.4.	Řez operacemi 1 - 3.....	51
4.4.5.	Řez operací 4	52
4.4.6.	Řez operacemi 6, 7	53
4.4.7.	Řez operacemi 9, 10.....	54
4.5.	Stanovení rozměrů střížníků a střížnic	55
4.6.	Stanovení náhradních dílů	55
4.7.	Kontrolní pevnostní výpočty střížníků.....	55
4.8.	Postup při lisování	55
5.	KOREKCE NÁSTROJE	56
6.	TECHNICKÉ A EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ.....	57
7.	ZÁVĚRY	58
	SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ	59
	SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ.....	60
	SEZNAM PŘÍLOH.....	61

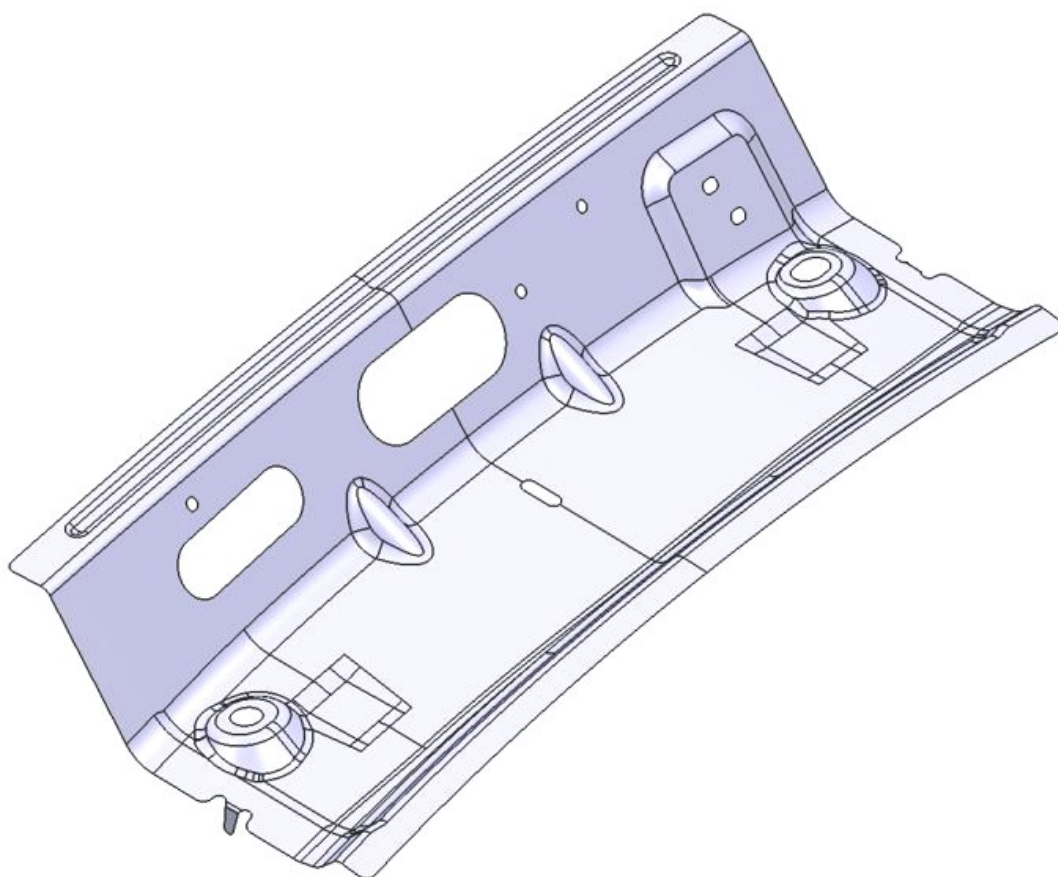
ÚVOD

Střední a východní Evropa se stává důležitým regionem světového automobilového průmyslu, který je vysoce konsolidovaným a globalizovaným oborem. Již v současné době export dílů pro automobilový průmysl tvoří významnou část celkového exportu z České republiky.

Abychom byli schopni udržet krok s jeho rozvojem, musíme se přizpůsobit požadavkům trhu, a tedy nezbytně zavádět do praxe nové progresivnější metody řešení jednotlivých výrobních etap. Především jde o zkracování časů potřebných pro zavedení nové výroby, tj. zkracování cyklů nutných pro výzkum, vývoj a výrobu. Jedním ze způsobů zkracování těchto časů je vhodná investice do výkonné výpočetní techniky s příslušným softwarem, který postupně nahrazuje rutinní práci výpočtářů, konstruktérů, technologů a programátorů číslicově řízených strojů.

Diplomová práce je zaměřena na průběh výroby výlisku dílčí části rámu střechy automobilu z ocelového plechu. Hlavní část je soustředěna na tvorbu technologického postupu tváření a na konstrukci výrobního postupového nástroje.

Ocelové plechy stále patří mezi progresivní materiály, ze kterých je možné vyrábět tvarově složité a dostatečně tuhé součástky. Proces tváření probíhá ve střížném, tažném nebo sduženém nástroji. V jednom nástroji lze vyrobít pouze součástku konkrétního tvaru a rozměrů. Proto je důležité navrhnout postup tváření a vlastní konstrukci nástroje tak, aby nedocházelo k jeho zdoluhavému doladování. To by vedlo k vyšším nákladům a časovým ztrátám.



1. TECHNOLOGIE PLOŠNÉHO TVÁŘENÍ ZA STUDENA

Rozsah této studie nemůže pokrýt všechny způsoby a principy technologie objemového tváření za studena. Seznámíme se pouze s technologiemi, které budou využívány při vypracovávání této diplomové práce.

1.1. Modelování a simulace technologických procesů [1], [2], [3], [4]

Proces tažení je velmi produktivní technologický postup, který je realizován v tažném nástroji. Abychom předešli ve výrobě zdoluhavým dolaďovacím úpravám nástrojů a procesů, a tím snížili časové a finanční ztráty, využíváme modelování a simulaci procesů tažení. Ty nám umožní bez existujícího reálného objektu navrhnout proces výroby výtažku, velikost a tvar polovýrobku, jakost materiálu a základní geometrii tažného nástroje.

Jednotlivé faktory technologického procesu mají zpravidla vliv na jeho výsledek. Pro kvantifikaci různých vlivů je vhodné popsat technologický proces matematickým modelem. V případě, že vlivem náhodných veličin není možné sestavit stabilní matematický model, jehož struktura by byla shodná se strukturou technologického procesu a který by zachycoval všechny rozhodující vlivy, využijeme simulační přístup a simulační modely.[1] [2]

Při zkoumání technologických postupů jde především o získávání nových poznatků o jeho struktuře, vlivů jednotlivých faktorů na výsledek a chování při změnových podmínkách. Všeobecně můžeme informace o určitém reálném objektu získat třemi způsoby: [2]

1. Využitím prvního, experimentálně vyrobeného dílu. Je to nákladné a neefektivní.
2. Vytvořením matematického modelu a jeho řešení analytickými a numerickými metodami.
3. Vytvořením fyzikálního modelu.

Experimenty na fyzikálním modelu se zkoumají procesy v rozličných mírách formou analýzy vlivu fyzikálních charakteristik a lineárních rozměrů. Tímto způsobem se sleduje bezprostředně zkoumaný proces. Experimentální údaje se zpracují na základě závislosti mezi bezrozměrnými celky sestavených kombinací rozličných fyzikálních veličin a lineárních rozměrů.[2]

Fyzikální modelování se zakládá na zabezpečení stejné hodnoty určujících kritérií podobnosti pro model a objekt. Prakticky to znamená, že proces je třeba zkoumat v několika etapách, tj. přecházet od jednoho uskutečnění v menších mírách k realizaci ve větších mírách, měnících při tom určující lineární rozměry předepsaným způsobem (geometrická podobnost). Při využívání zákona podobnosti je potřebné zabezpečit také podobnost mechanickou a fyzikální. Tento druh modelování je možný při relativně jednoduchých postupech. Naproti tomu zkoumáním složitých procesů, popsaných komplikovaným systémem rovnic, dostaneme velký počet kritérií podobnosti, které jsou současně nesplnitelné a neuskutečnitelné.[3] [2]

1.1.1. Simulační modely

Simulační model (simulátor) pracuje na principu napodobování aktuální představy o systému a jeho pohybu a probíhá na umělém objektu, vytvořeném nebo přizpůsobeném k tomuto účelu.[4] [2]

Návrh simulačního modelu může, ale nemusí vycházet z matematického popisu (modelu) aktuální představy o předpokládaném systému a jeho pohybu. Za simulační považujeme jen takový model, který při napodobování pohybu simulovaného systému zachová stejné uspořádání forem v čase. Do této třídy zahrnujeme také jiné modely než schémata na počítačích, s výjimkou variant založených na geometrické podobnosti.[2]

Podstata této metody spočívá v tom, že zkoumaný dynamický systém nahradíme jeho simulátorem a s ním realizujeme experimenty s cílem získat informace o původním systému.[2]

Simulátor – simulační model, je pojem širší než matematický model. Simulační model se může vytvářet volněji, často bez ohledu na všechny vztahy, které se musí brát v úvahu při analytickém řešení. Může se sestavit i ve formě vhodného vývojového diagramu bez toho, aby předešlý existoval v matematickém tvaru.[2]

Mezi analytickým a experimentálním řešením je principiální rozdíl. Analytické řešení dává výsledky pro použitý model – všeobecně. Funkce jsou platné pro různé hodnoty vstupních údajů. Bez problému je možné studovat vnitřní souvislosti a závislosti výsledků na hodnotách vstupních údajů. V mnohých případech je možné přímo nalézt také podmínky pro dosažení optima.[2]

Naproti tomu experimentální řešení (tzv. simulace) dává jen numerické výsledky – čísla, platná pro konkrétní zadané hodnoty parametrů. Studium chování se systému, to znamená hledání vnitřních závislostí v modelu, je pracné. Vyžaduje realizaci mnohých pokusů pro různé kombinace hodnot vstupních veličin, a to může být velmi nákladné. Hledání podmínek pro dosažení optima je možné jen zkoušením – realizací simulací pro vhodně zvolené hodnoty vstupních veličin a porovnáváním dosažených výsledků pomocí určitých kritérií.[2]

Vždy by mělo být upřednostňované analytické řešení, i když je velmi složité. Při dnešní úrovni výpočtové techniky a programového vybavení není problémem převést složitou a pracnou operaci na počítač. Dá se předpokládat, že i velmi složité analytické řešení bude na počítači vždy podstatně rychlejší než prostřednictvím simulace. Na simulaci je potřebné se dívat jako na prostředek poslední instance, který přes svou obtížnost, poměrně značné náklady a nároky na čas kvalifikovaných pracovníků dá žádanou informaci o chování systému. Proto by se mělo **k simulaci přistupovat jen v ekonomicky odůvodněných případech, pokud nalezení analytického řešení není reálné a efektivní.**[2]

Simulační proces použijeme tehdy, když: [2]

- ❖ Zkoumaný objekt je možné popsat velkým počtem proměnných, mezi kterými jsou interakce neumožňující zápis do jednoznačných vztahů.
- ❖ Proměnné podléhají různým typům rušivých vlivů náhodného charakteru.
- ❖ Systém je tvořený z více podsystémů s těžko popsitelnými vazbami a vztahy.
- ❖ Není možné analytické řešení.

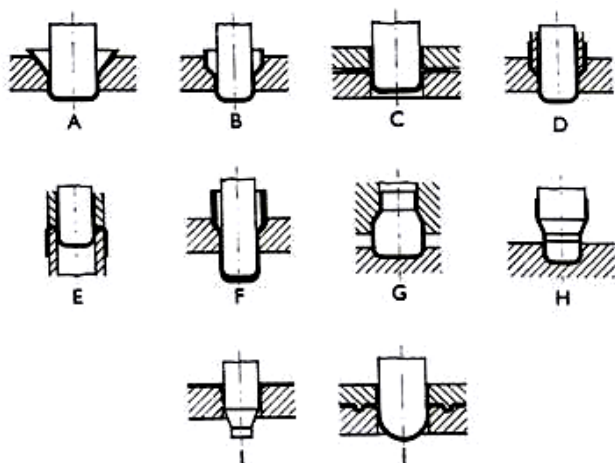
1.2. Tažení [5], [6], [7], [8]

Tažení plechu je technologický proces tváření, při kterém se z rovinného přístřihu plechu zhotovují v jedné nebo více operacích výtažky jednoduchého rotačního tvaru, hranaté výtažky a složité nesymetrické tvary součástí. Je to proces, při kterém se dosahuje požadovaného tvaru výlisku bez podstatné změny tloušťky materiálu. V průmyslové praxi se

tímto způsobem vyrábí široký sortiment mělkých i hlubokých nádob, krytů, vík, součástí karosérií atd.

Pro technologii tažení se z tvářecích strojů používají nejčastěji mechanické lisy dvojčinné i vícečinné, lisy postupové a v některých případech i lisy hydraulické a speciální zařízení.[6]

V zásadě lze rozdělit proces tažení na „tažení bez zeslabení stěny“ a „se zeslabením stěny“ výtažku. Dále na tažení jednooperační a víceoperační v případě výroby složitého výtisku nebo součásti s velkým stupněm přetvoření.[6]



Obr.1.1 Technologické způsoby tažení [7]

A, B - tažení bez přidržovače, 1. a 2. tah

C, D - tažení s přidržovačem, 1. a 2. tah

E – zpětné tažení (obracení)

F – tažení se ztenčením stěny

G – zužování

H – rozšiřování

I – lemování (přetahování)

J - napínání

Nástrojem je tažidlo, které se skládá z tažníku a tažnice a ostatních konstrukčních částí, výrobkem je výtažek.

1.2.1. Proces tažení

Princip tažení je ideální vysvětlit na tažení jednoduchého válcového tvaru se dnem. Potom obdobným způsobem lze získané výsledky aplikovat i na výtažky hranatých nebo nepravidelných tvarů. Zatláčujeme-li tažník do tažnice, posunuje se plech přes tažnou hranu, která se z celého nástroje nejrychleji opotřebuje. Síla potřebná k tažení se kontroluje z podmínky pevnosti válcové části nádoby, která se nesmí při tažení přetrhnout. Je nutné uvažovat vliv tření a zpevnění materiálu.[7]

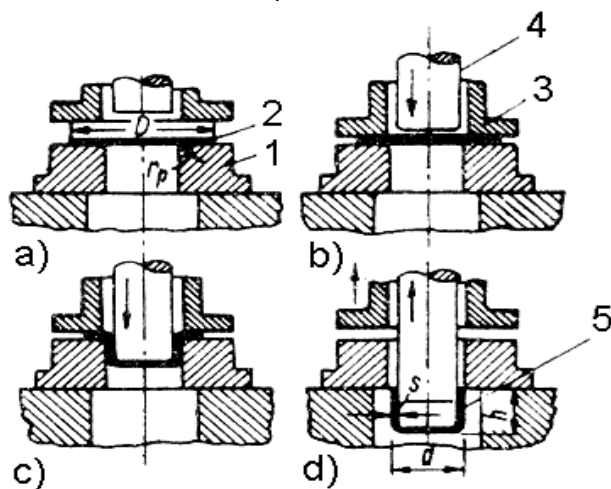


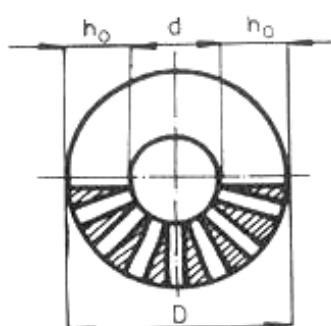
Schéma postupu tažení válcové nádoby, které je rozděleno do čtyř fází (obr.1.2). V první fázi (obr.1.2a) se vkládá výchozí materiál (výstřižek) 1 o průměru D na tažnici 2. Pak je výstřižek sevřen přidržovačem 3 a tažník 4 se pohybuje směrem k výchozímu materiálu (obr.1.2b). V další fázi tažník protahuje výchozí materiál otvorem tažnice (obr.1.2c), který je zaoblen poloměrem r_p . Po vytažení požadované nádoby o průměru d a výšce h se vrátí tažník a přidržovač do výchozí polohy (obr.1.2d).[5]

Obr.1.2 Schéma tažení [5]

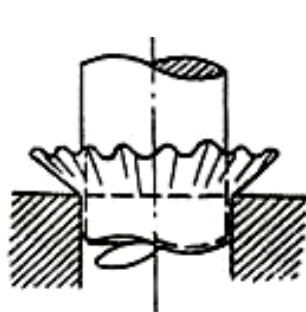
1 – tažnice, 2 – výchozí materiál, 3 – přidržovač, 4 – tažník, 5 - výtažek

1.2.1.1. Vznik vln

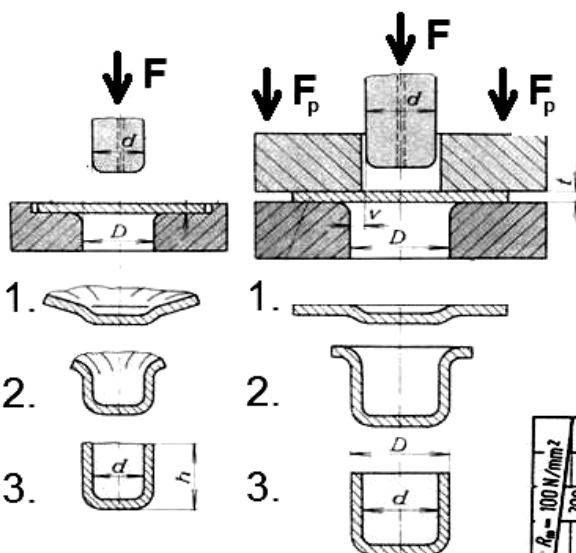
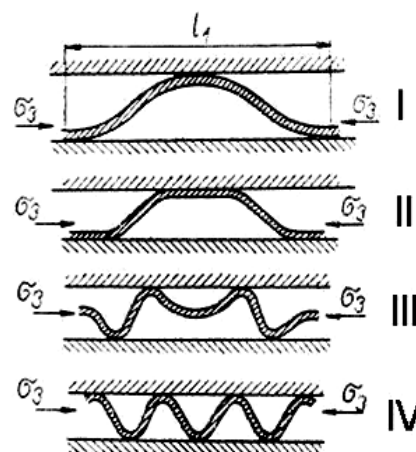
Tažení je technologický proces, při kterém se přesouvá značná část, značný objem materiálu. Tento přesunutý objem je schematicky na obrázku (obr.1.3) znázorněn v podobě vyšrafovaných trojúhelníků. Tento objem materiálu se během tažení vytlačuje, zvětšuje výšku nádoby, mění tloušťku stěny. Je patrné, že vyšrafované plochy (trojúhelníčky) přebývají. Protože při tažení postupuje materiál z příruby do válcové části, má plech v místě příruby snahu se vlnit, a to hlavně při vysokém stupni deformace. Při malém stupni deformace a při velké tloušťce materiálu se vlny netvoří, protože nejsou vysoké a vyhlazují se se otvorem tažnice. Zabránit vzniku vln lze přidržovačem, ovšem za cenu pěchování materiálu pod přidržovačem a růstu tloušťky. Schéma postupu tvoření vln je na obr.1.4. V případě použití přidržovače je nutné znát velikost měrného tlaku p přidržovače. Měrný tlak přidržovače závisí na tloušťce plechu, poměru výchozí tloušťky plechu k průměru nádoby, jakosti plechu a součiniteli tažení. Celková síla přidržovače je součinem měrného tlaku a činné plochy přidržovače. K určení měrného tlaku přidržovače se používá například grafů.[7]



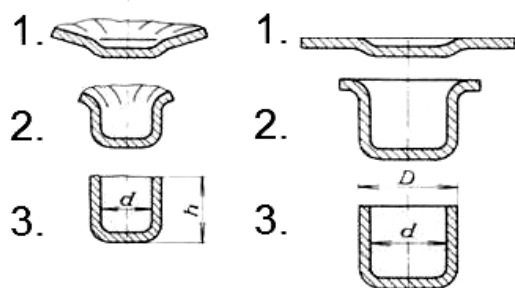
Obr.1.3 Tvorba vln na výtažku a nebezpečí utržení dna [7]



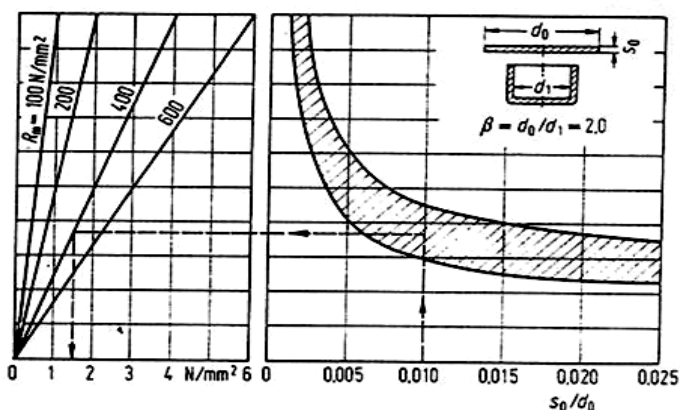
Obr.1.4 Schéma tvoření vln [5]



Obr.1.5 Tvorba vln u tažení bez přidržovače (vlevo) a s přidržovačem (vpravo) [7]

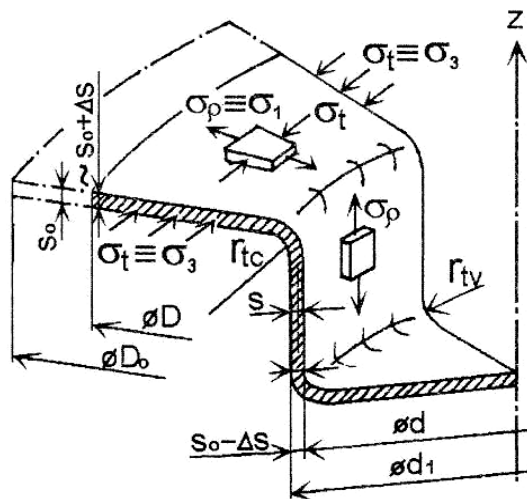


Obr.1.6 Diagram pro zjišťování měrného tlaku přidržovače pro první tah [7]



1.2.1.2. Schémata napjatostí a deformací [8]

Při tažení válcových výtažků bez zeslabení stěn je mezi tažníkem a tažnicí dostatečná vůle ($Z=1,2 \cdot s_0$). V průběhu tažení se materiál v oblasti příruby intenzivně pěchuje ve směru tečného napětí, obr.1.7. Případnému zvlnění zabraňuje přidržovač. Přitom dochází k výraznému prodloužení ve směru tahu. Na konci příruby se zvětšuje tloušťka o 20 až 30% podle stupně tažení. Naopak v místech prostorového ohybu u dna výtažku dochází k zeslabení stěny. Při tažení se tedy přesune značný objem kovu v přírubě a je vytlačován ve směru výšky nádoby. Podle schématu na obr.1.7 a obr.1.8 můžeme definovat poměrnou deformaci na konci příruby vztahem (1.1) a na vnitřním povrchu nádoby vztahem (1.2). Součinitel tažení m_1 vyjadřuje zmenšení výchozího průměru přístřihu. Pro běžné tažení se součinitel tažení pohybuje v rozmezích $m = 0,5$ až $0,9$, u speciálních metod tažení až do hodnot $0,35$. Ve světě se používá také stupeň tažení K . [8]



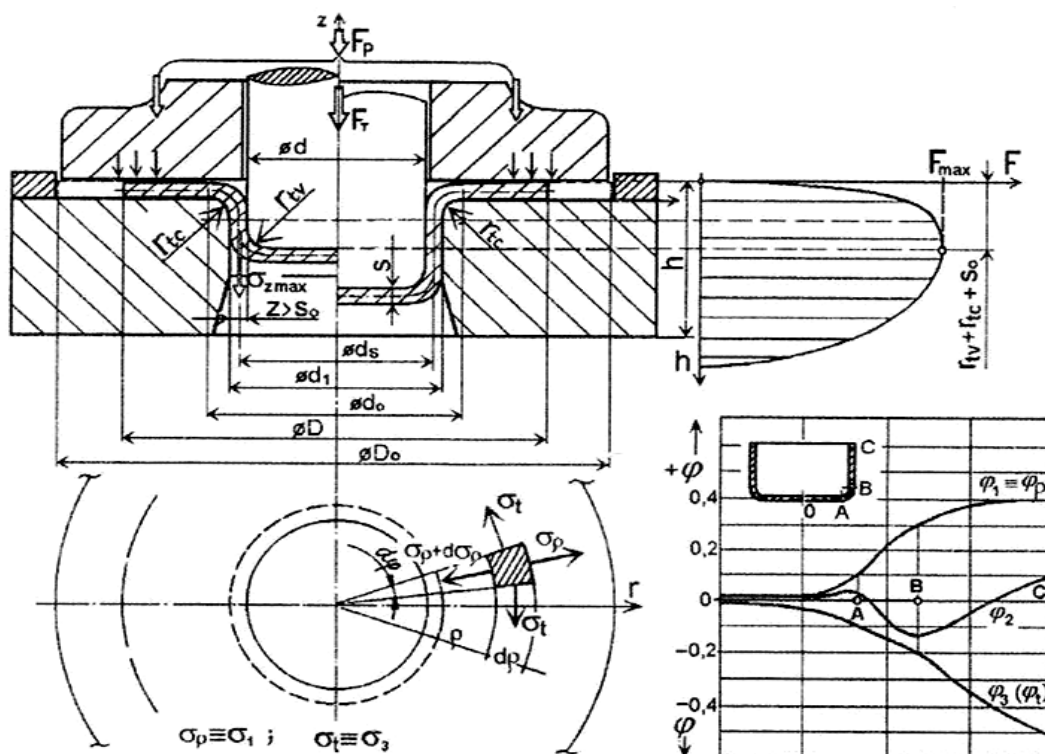
Obr.1.7 Schéma napjatosti při tažení [8]

$$\varepsilon_D = \frac{D_0 - D}{D_0} \quad (1.1)$$

$$\varepsilon_{d_1} = \frac{D_0 - d_1}{D_0} = 1 - m_1 \quad (1.2)$$

$$m_1 = \frac{d_1}{D_0} \quad (1.3)$$

$$K = \frac{1}{m} = \frac{D_0}{d_1} \quad (1.3a)$$



Obr.1.8 Schéma první operace tažení s přírubou [8]

Obr.1.9 Průběh logaritmických přetvoření [8]

V praxi je tloušťka výtažku uvažována jako konstantní a zákon stálosti objemu je zjednodušen na zákon stálosti ploch. Velikosti a průběhy hlavních deformací podél rozvinuté povrchy výtažku jsou na obr.1.9, jsou vázány zákonem konstantního objemu (1.4).[8]

$$\boxed{\varphi_1 = \varphi_\rho = \ln \frac{D}{2\rho} = \ln \frac{R}{\rho};} \quad \boxed{\varphi_3 = \varphi_t = -\ln \frac{D}{2\rho} = -\ln \frac{R}{\rho};} \quad \boxed{\varphi_2 = \ln \frac{s_0}{s} = 0} \quad (1.4)$$

Tažná síla roste a dosahuje přibližně maxima, když tažník dosáhne hloubky $h_m = r_{tv} + r_{tc} + s_0$, tj. když je největší opásání tažné hrany tažnice ($\alpha = \pi/2$). Podíl tření i prostorového ohybu je největší a projevuje se i vliv intenzivního zpevnění materiálu.[8]

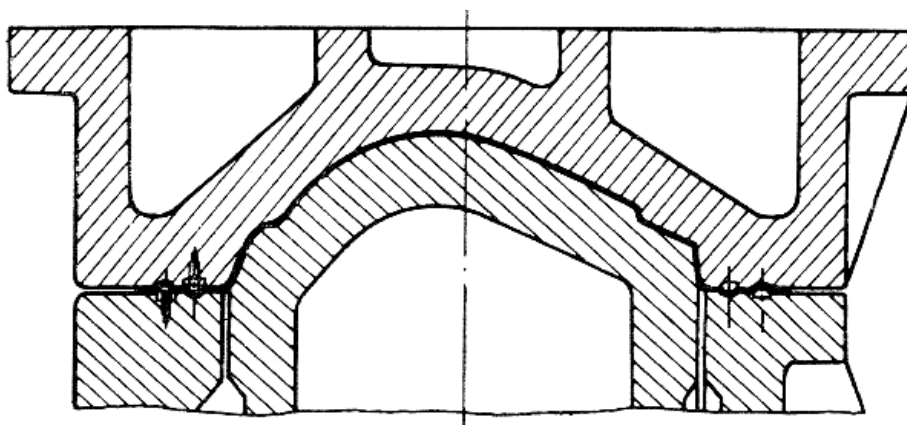
Na velikost tažné síly má vliv radiální tahové (membránové) napětí, které se mění v závislosti na poloměru „ ρ “ na přirozeném přetvárném odporu, dále na složce napětí od tření mezi přidržovačem, na napětí, které vyjadřuje odpor proti ohybu na tažné hraně tažnice a na vlivu tření s opásáním této hrany. Deformační (technologický) odpor při tažení v 1. operaci podle obr.1.8 je pak vyjádřen základním vztahem (1.5). Někteří autoři vliv dvojnásobného ohybu vyjímají samostatně bez vlivu účinku tření s opásáním, (1.5).[8]

$$\boxed{\sigma_d \equiv \sigma_z \frac{F_{taž}}{S} = (\sigma_\rho + \sigma_f + 2\sigma_0)e^{f\alpha}} \quad \sigma_d = (\sigma_\rho + \sigma_f)e^{f\alpha} + 2\sigma_0 \quad (1.5)$$

1.2.2. Tažení velkých nepravidelných výtažků

Při tažení válcového výtažku (obr.1.2, 1.3, 1.5, 1.8) dochází v přírubě k napjatosti, při které vzniká ve směru radiálním hlavní napětí tahové a ve směru tečném hlavní napětí tlakové. Třetí hlavní normálové napětí, působící ve svislém směru, je v porovnání s dvěma dříve uvedenými malé. Při uvedeném způsobu tažení probíhá plastická deformace převážně v přírubě polotovaru.[5]

Při tažení velkých nepravidelných výtažků, jaké se vyskytují v automobilovém průmyslu, jsou podmínky tváření mnohem složitější (obr.1.10). Plocha polotovaru pod přidržovačem tažidla je v porovnání s celkovou plochou výtažku malá. Přitom plastická deformace probíhá v celé ploše tvářeného polotovaru. Pracovní části tažníku, tažnice a



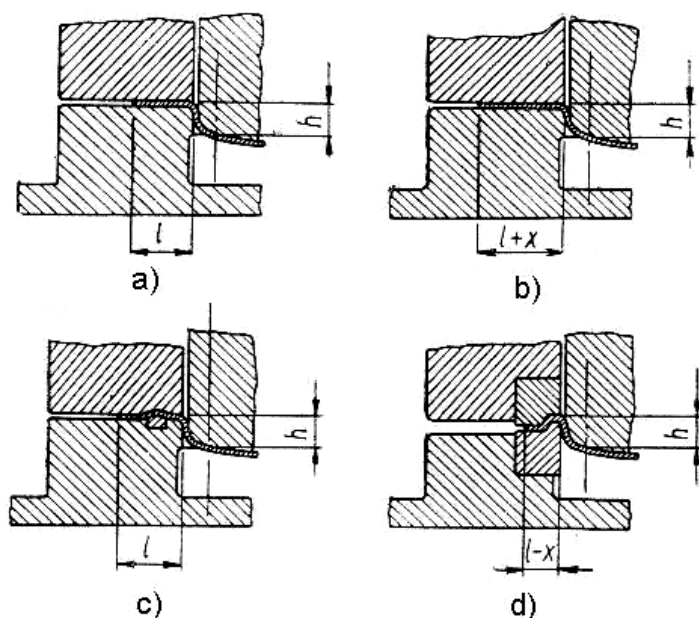
Obr.1.10 Schéma tažení velkého nepravidelného výtažku [5]

přidržovače jsou často složité, zakřivené plochy. Teoretický rozbor operace tažení nepravidelných výtažků je mnohem obtížnější než u výtažků pravidelných. Jak ukazují dosavadní zkušenosti a zkoušky, při tažení nepravidelných výtažků dochází k jevům, které se u pravidelných výtažků neobjevují, zejména ztráta stability, rovinné napjatosti a současná přítomnost různých nerovnoměrných a nestejnorodých napjatostí v tvářeném materiálu.

Je třeba také poznamenat, že při tažení pravidelných výtažků se ke zlepšení podmínek tvářecího pochodu zmenšuje odpor tvářeného materiálu v přírubě. Při tažení složitých výtažků se naopak tento odpor zvětšuje pomocí brzdících žebër. Při výrobě nepravidelných výtažků se používá několik způsobů úprav tažidel, abychom zabránili tvoření vln, založených na přibrzdění nebo urychlení toku materiálu při tažení.[5]

Pro úpravu podmínek tažení se nejčastěji používá těchto úprav tažidla, které způsobují změnu toku materiálu: [5]

1. Celkové nebo místní zvětšení tlaku přidržovače (obr.1.11a).
2. Zvětšení plochy tvářeného materiálu pod přidržovačem, tj. zvětšení šířky výchozího polotovaru (obr.1.11b)
3. Upravení tažnice vestavěním jednoho nebo několika zaoblených brzdících žebër (obr.1.11c)
4. Použitím pravoúhlých brzdících žebër na tažnici, která umožňují zhotovení nepravidelných výtažků s minimálním technologickým přídávkem (obr.1.11d)



Obr.1.11 Způsoby přibrzdění přemísťovaného materiálu pod přírubou [5]

U některých tvarově jednoduchých výtažků může být získána výborná jakost jejich povrchu i při tažení bez použití brzdících žebër. K tomu je však třeba zajistit dostatečně rovnoměrné sevření příruby polotovaru po celé délce jeho obvodu přesně stanoveným tlakem přidržovače.[5]

Při tažení v tažidlech bez brzdících žebër se přitlačné plochy (tažnice a přidržovače) rychle opotřebovávají, přičemž se narušuje rovnoměrnost stlačení tvářeného polotovaru a na jeho povrchu se mohou tvořit vlny. K tvoření vln na povrchu může však také dojít z jiných důvodů. Například pro výraznou anizotropii tvářeného materiálu, pro nestejnou tloušťku tvářeného materiálu, nestejnou jakost tvářeného materiálu, přítomnost nečistot na povrchu i uvnitř zpracovávaného materiálu nebo přítomnost nečistot v použitém mazivu apod.[5]

1.2.3. Výpočet síly a práce [5], [7]

Matematické vztahy pro výpočet síly jsou poměrně komplikované, a proto se zjednodušují. Praktické vzorce vycházejí z toho, že dovolené napětí v nebezpečném průřezu musí být menší než napětí na mezi pevnosti. Tedy největší tažná síla musí být o něco menší než síla, která způsobí utržení dna výtažku od bočních stěn.[7]

Pro stanovení sil a práce při tažení se v zásadě používají dva druhy vzorců, a to teoretické, které jsou sestaveny na základě rozboru napjatosti a deformací, a praktické, které vycházejí z přípustného napětí (meze pevnosti) ve výtažku. Tyto praktické vzorce jsou jednodušší než teoretické, ale nedávají nahlédnout do podstaty tvářecího procesu.[5]

Celková síla při tažení F_{tc} se skládá z těchto složek:

$$F_{tc} = F_{t_1} + F_{t_2} + F_{t_3} \quad (1.6)$$

kde: F_{t_1} ... síla tažná
 F_{t_2} ... síla přidržovače
 F_{t_3} ... síla vyhazovače

Tažení výtažků složitějšího tvaru

Zpravidla při výpočtu tažných sil se u těchto výtažků vychází z předpokladu, že v rozích dochází k tažení a v rovných částech k ohybu. Potom závislost pro určení tažné síly bude:

$$F_1 = (F_t + F_0) * k_1 \quad (1.7)$$

kde: F_t ... síla potřebná k vytažení poloměru zaoblení s přihlédnutím k tření
 F_0 ... síla potřebná na ohyb rovných stěn s přihlédnutím k tření
 $k_1 = 1,1$ až $1,2$... opravný koeficient

Síla F_0 se stanoví podle vzorce:

$$F_0 = L * s \sigma_r \quad (1.8)$$

kde: L ... délka rovných částí výtažků
 F_2 ... síla přidržovače na přírubě polotovaru v rovných částech výtažků
 σ_r ... napětí vzniklé odporem ohýbaného materiálu

Práce při tažení

Pro stanovení vhodného lisu je třeba určit nejen velikost největší tažné síly, ale i velikost práce. K stanovení práce je třeba znát změnu síly během pracovního zdvihu lisu – plochu pracovního diagramu. Přibližně můžeme použít vzorec pro tažnou práci A_t :

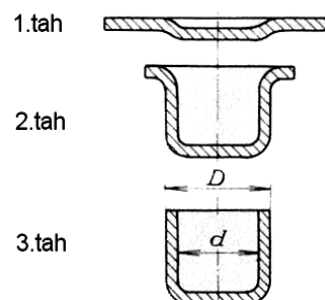
$$A_t = k_2 * F * h \quad (1.9)$$

kde: F ... největší síla potřebná při tažení
 h ... pracovní zdvih lisovníku
 k_2 ... koeficient závislý na koeficientu tažení M

1.2.4. Určování rozměrů přístřihu u rotačních nádob, počet tahů [7]

Celkové přetvoření plechu při tažení je značné, celou nádobku nelze zpravidla vytáhnout v jedné operaci. Proto se první tah provádí mělký a o velkém průměru. Tažení pokračuje dalším tahem a to vždy na menší průměr. Současně roste výška výtažku. Počet tahů je poměr průměru přístřihu k průměru výtažku.[7]

Obr.1.12 Tažení výrobku na tři tahy [7]



Součinitel tažení

Pro určení maximální deformace na jeden tah, počtu tažných operací, se používá součinitel tažení nebo také stupeň tažení, který se vypočte pro první tah ze vztahu: [7]

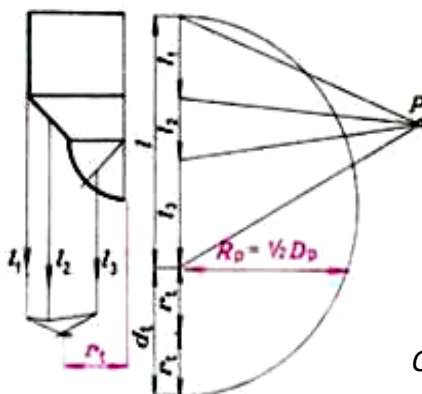
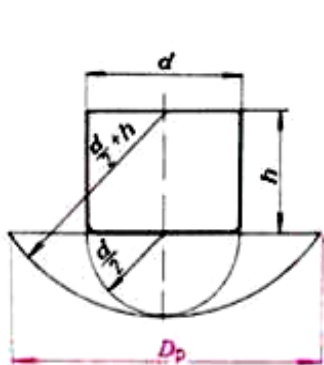
$$m = \frac{d_v}{D} = \frac{1}{K} \quad (1.10)$$

kde: m ... součinitel tažení
 d_v ... průměr výtažku [mm]
 D ... průměr přístřihu [mm]
 K ... stupeň tažení

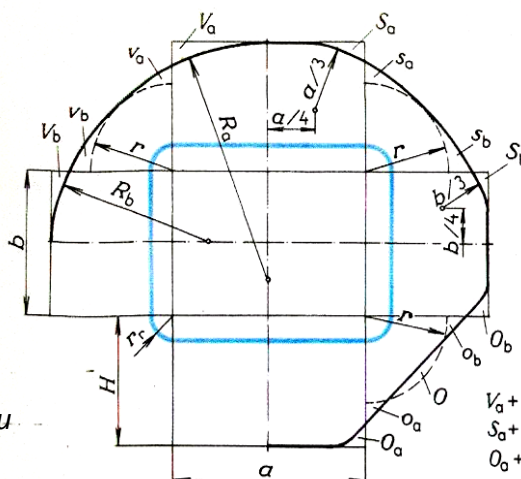
Pro další tahy se součinitel nebo stupeň tažení počítá obdobným způsobem. Celkový součinitel tažení se rovná součinu jednotlivých součinitelů. Hodnoty součinitelů tažení pro válcové nádoby jsou uváděny v tabulkách. Jde-li o tvary jiné, stanovuje se součinitel tažení podle místa, kde zakřivení stěny a poměrná hloubka dosahují maximálních hodnot. Obecně závisí na druhu materiálu, na předchozím zpevnění, poměrné tloušťce, tvaru výtažku, tažné rychlosti, tlaku přidržovače, mazání a hlavně na geometrii tažného nástroje.[7]

Určování velikosti a tvaru přístřihu

Určování velikosti a tvaru přístřihu je velmi důležité, neboť výrazně ovlivňuje kvalitu výtažku. U rotačních těles se používají různé tabulky z odborných knih anebo grafické metody stanovení průměru přístřihu. U hranatých tvarů se používají různé grafické výpočtové metody anebo jejich kombinace. Zásadou bývá, že plocha přístřihu se rovná ploše výtažku s přídavkem na odstřížení (bočnice se však tažením mírně prodlužují).[7]



Obr.1.13 Stanovení přístřihu u rotačních nádob [7]



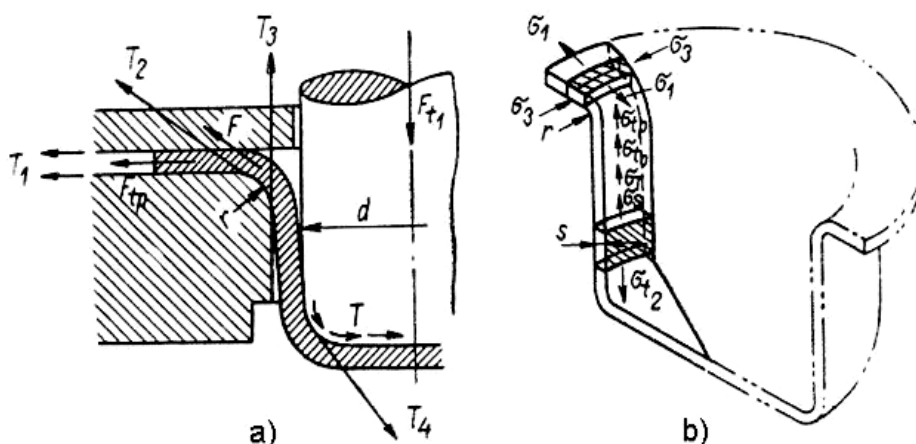
Obr.1.14 Stanovení přístřihu u hranaté nádoby [7]

$$\begin{aligned} V_a + V_b &= v_a + v_b \\ S_a + S_b &= s_a + s_b \\ O_a + O_b &= o_a + o_b \end{aligned}$$

1.2.5. Mazání při tažení

Vnější tření a mazání při tažení kovů mají velký vliv na průběh ekonomie technologického procesu.[5]

Vliv vnějšího tření i mazání má tím větší význam při tažení, čím větší je poměr plochy povrchu styku tvářeného polotovaru s nástrojem k ploše tvářeného polotovaru. Síly vnějšího tření mohou mít jak kladný, tak i záporný vliv na průběh tažení, podle toho, v jakém směru se uskutečňuje plastická deformace a změna tvaru výchozího polotovaru. V případě, že síly tření zabraňují změně polotovaru a stupni deformace, snažíme se je odstranit, nebo alespoň snížit mazáním. Naopak, umožňují-li třecí síly deformaci a získání předepsaného tvaru polotovaru, jsou žádoucí a jejich velikost se podle potřeby upravuje. Z uvedeného důvodu je třeba při tažení význam mazání posuzovat komplexně z jeho kladné i záporné stránky.[5]



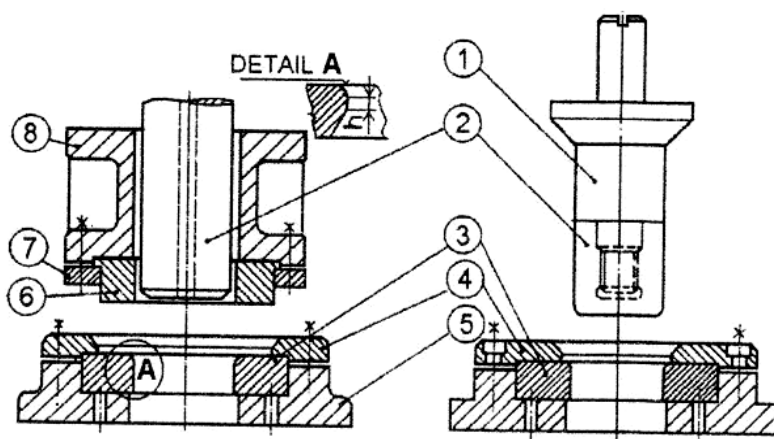
Obr.1.15 Schéma působení třecích sil při tažení [5]

a – schéma sil, b – schéma napjatosti

Při tažení (obr.1.15) musí síla působící na tažník F_{t1} překonat sílu proti plastickému přetvoření příruby F_{tp} , sílu F_{t0} působící proti plastickému ohybu přes poloměr tažnice, a síly tření v ploše tažnice a přidržovače T_1 , síly tření na hraně tažnice T_2 a síly třecí T_3 mezi otvorem tažnice a tažníkem, a také setrvačné síly F_s . [5]

1.2.6. Konstrukce tažníků, tažnic a tažidel

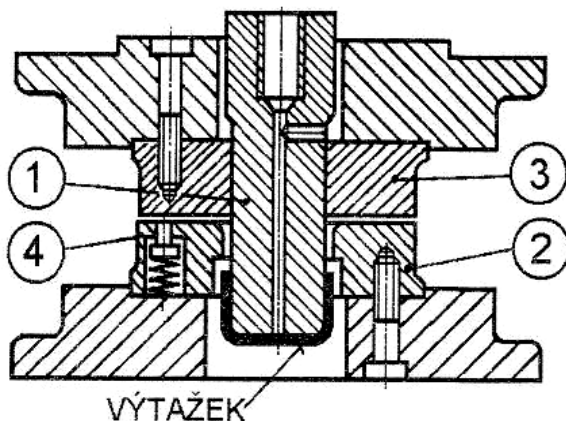
Tažníky jsou aktivními nástroji a jejich vnější průměr je současně vnitřním průměrem výtazku. Malé tažníky je možno zhotovit z jednoho kusu, velké se dělají dělené. Tažníky se



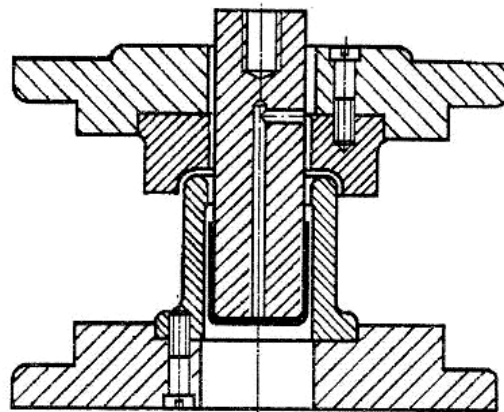
upínají za stopku podobně jako střižníky. Držák se stopkou bývá z oceli 11 500, vlastní tažník ze šedé litiny (pro tažení ocelí), nebo z nástrojových ocelí (19 191.4 a 19 436.4 kaleny a popuštěny na HRC 60 až 62).[8]

Obr.1.16 Tažidlo pro 1.tah s přidržovačem pro hluboké tahy (vlevo), tažidlo bez přidržovače pro mělké tahy na výstředníkových lisech (vpravo) [8]

Tažnice pro kruhové výlisky mají prstencový tvar s funkčním otvorem a potřebným tvarem tažné hrany. Tažnice pro 1. operaci, např. pozice **3** na obr.1.16, jsou uloženy a středěny v základové litinové desce **5** a přitaženy přes zakládací kroužek **4**. Dolní vnitřní hrana tažnice, pokud je ostrá, stírá hotový výtažek v tažníku. Tažnice pro mezitahy (další tahy) jsou ze spodní části odlehčeny, jak ukazují příklady detailů **A** na obr.1.16.[8]



Obr.1.17 Tažidlo pro dvojčinný lis [8]



Obr.1.18 Tažidlo s tvarovým přidržovačem [8]

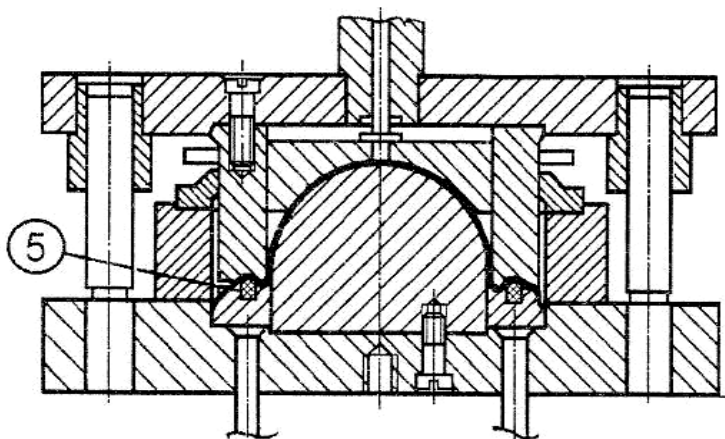
Konstrukce tažidel je především odvozena od pořadí tažné operace a velikosti výšky a vnějšího průměru výtažku.[8]

Jednoduché tažidlo na obr.1.17 se využívá pro tažení menšího počtu výtažků z předem vystřiženého polotovaru. Přístřih se zakládá mezi odpružené dorazové kolíky **4**. Při tažení je přidržován přidržovačem **3** ovládaný vnějším beranem lisu, tažník **1** je ovládán vnitřním beranem lisu. Výtažek je stírán ostrou hranou tažnice **2** a propadá dolů.[8]

Další příklad s tvarovým přidržovačem pro dvojčinný lis je na obr.1.18. Výtažek z předchozí operace se nasune dnem vzhůru na tažnici. Při sestupu vnější beran přidržuje okraj výtažku a vnitřní beran provede tažnou operaci. Výtažek rovněž propadá dolů.[8]

Při tažení výtažků s kulovitým dnem tažná síla nebývá příliš velká, ale protože dochází ke zvlnění okraje, musí být větší přidržovací tlak. Použitím brzdících lišt na přidržovači lze

zabránit zvlnění bez nutnosti nadměrného zvyšování tlaku přidržovače. Na obr.1.19 je praktické použití brzdících lišt **5** při tažení polokulovitého výtažku ve sruženém tažidle. V první fázi se vystřihuje přístřih a nakonec se ostřihuje přidavek.[8]



Obr.1.19 Sružené tažidlo s brzdící lištou [8]

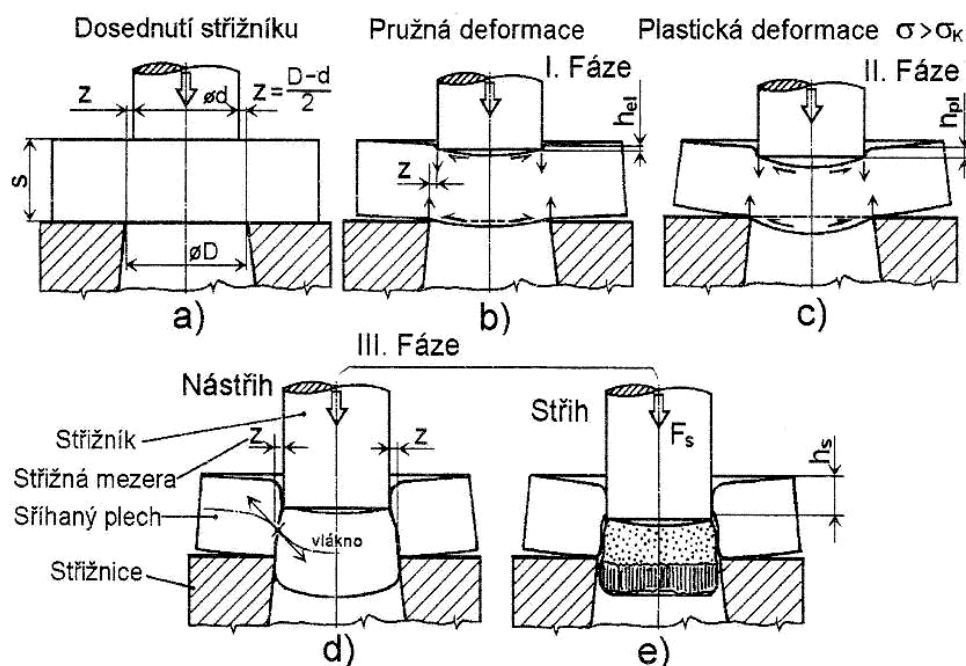
1.3. Stříhání [6], [8], [9], [10], [13]

Podstata stříhání spočívá v oddělování materiálu protilehlými břity nožů. Přesnost a kvalita střížné plochy je ovlivněna mnoha faktory, z nichž k nejdůležitějším patří velikost střížné mezery, vlastnosti stříhaného materiálu, způsob stříhání, kvalita střížného nástroje

resp. lisu a podobně. Různými konstrukčními úpravami střížného nástroje a zvláště volby způsobu stříhání je možné ovlivnit průběh operace tak, aby se zabránilo nekvalitní střížné ploše a se širokým pásmem utržení a deformace výstřižku. Uvedené nedostatky v kvalitě střížné plochy získané klasickým stříháním odstraňuje technologie “přesného stříhání”. [6]

1.3.1. Proces stříhání [8]

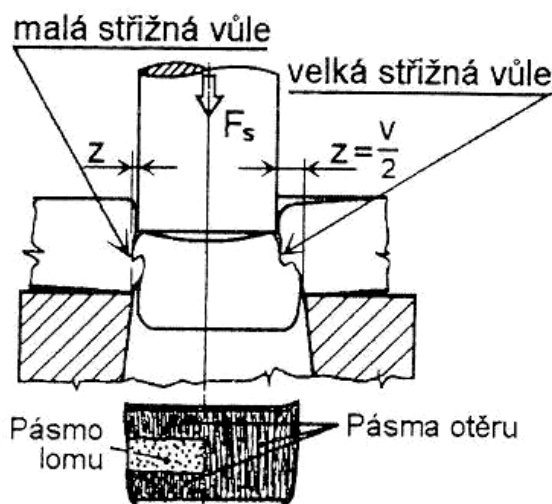
Proces stříhání má tři základní fáze. V první fázi po dosednutí střížníku dochází k pružnému vnikání do povrchu střížného materiálu. Hloubka vniku závisí na mechanických vlastnostech materiálu a bývá $h_{el} = (5 \text{ až } 8\%)s$. [8] [9]



Obr.1.20 Průběh stříhání s normální střížnou vůlí [8] [9]

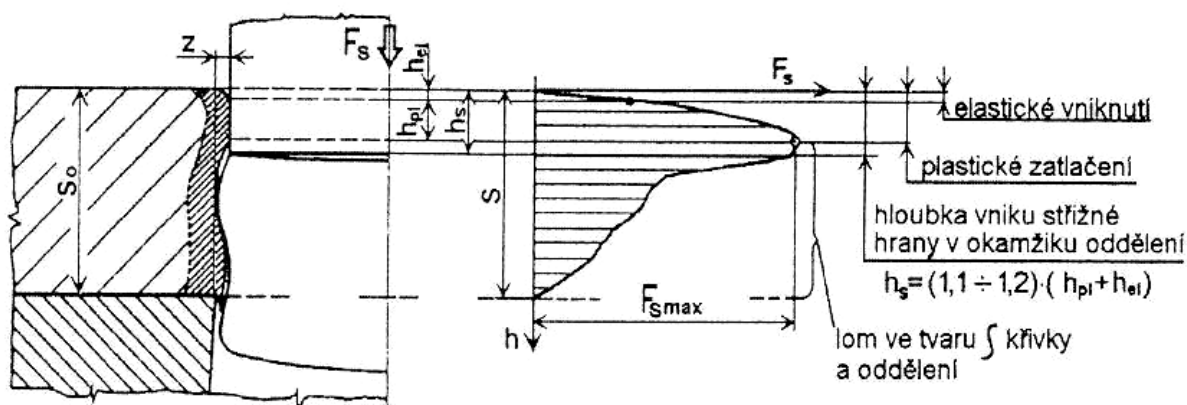
Dvojice sil mezi hranami střížníku a střížnice způsobuje nežádoucí ohyb. Ve druhé fázi je napětí ve směru vnikání větší než je mez kluzu kovu a dochází k trvalé plastické deformaci. Podle druhu kovu a jeho mechanických vlastností je hloubka plastického vniknutí $h_{pl} = (10 \text{ až } 25\%)s$. Ve třetí fázi dosáhne napětí meze pevnosti ve stříhu τ_s . Nejdříve vznikne tzv. nástřih, tj. vytvoření trhlinek, které je podporováno tahovým normálovým napětím ve směru vláken.

Trhlinky se rychle šíří, až dojde k oddělení výstřižku. Rychlost vzniku a postupu trhlin je závislá na mechanických vlastnostech střížného materiálu a na velikosti střížné vůle $v = 2z$. Na obr.1.21 je schematicky znázorněn nástřih při malé i příliš velké střížné vůli, jejichž důsledkem je rozšíření pásu otěru na větší část střížné plochy. [8]



Obr.1.21 Schéma stříhání při malé a velké střížné vůli [8] [9]

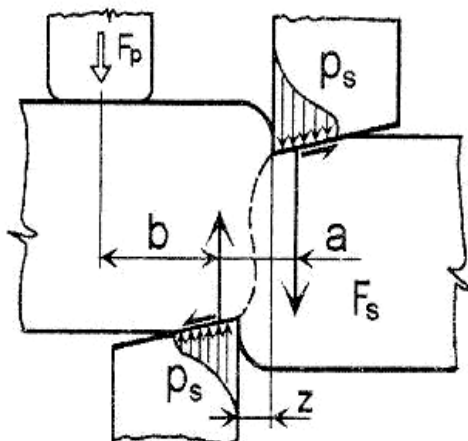
Charakteristický průběh střížné síly v závislosti na hloubce vniknutí střížníku je na obr.1.22. [8] [9]



Obr.1.22 Charakteristický průběh střížného procesu a střížné síly [8] [9]

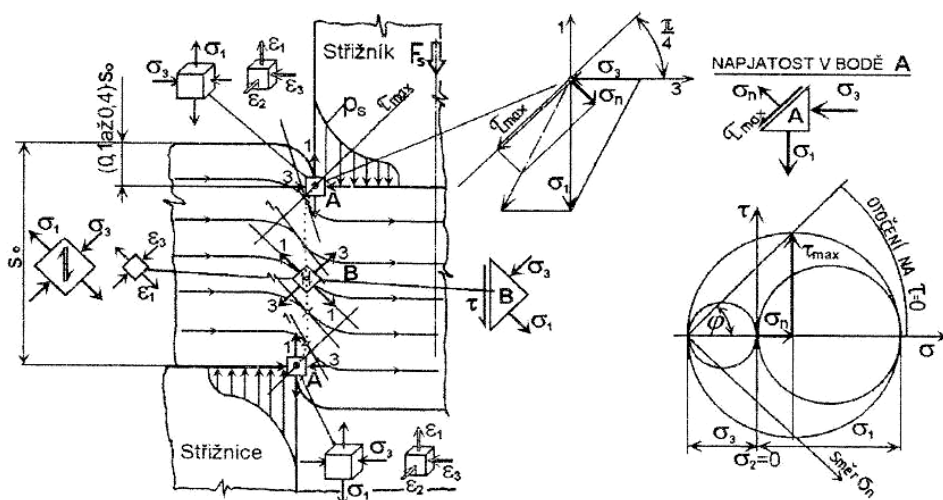
Rozbor stavu napjatosti při volném a uzavřeném stříhání

Při volném stříhání podle schématu na obr.1.23 vytváří střížná mezera "z" mezi noži a poloha svislých složek střížné síly dvojic sil na rameni **a**, kterou uvádí do momentové rovnováhy přidržovací síla **Fp** na rameni **b**. Bez přidržovací síly může dojít k přetočení a vklínění plechu mezi střížné nože, zvláště při velkých mezerách.[8] [9]



Při uzavřeném vystřihování a děrování (obrys nože tvoří uzavřenou čáru) je ohybový moment navenek vyvážen, ale může způsobit nežádoucí trvalé deformace malých výstřížků ze silnějších plechů. Střížná síla je větší o vliv tření v pružně stírané střížné ploše při protlačení výstřížku. Materiál mezi střížnými hranami je natahován a současně vytlačován do stran a uvolňuje místo vnikajícím břitům. Podélné vrstvy, znázorněné například vrstevnicemi na obr.1.20, se prodlužují, výrazně mění křivost a mezi břity se zmenšuje tloušťka plechu.[8] [9]

Obr.1.23 Schéma volného otevřeného stříhání [8] [9]



Obr.1.23 Schéma napjatosti a deformace při běžném uzavřeném stříhání [8] [9]

Napětí ve stříhu τ_{ps} je zároveň deformačním odporem ve stříhu a je stanoven:

$$\tau_{ps} = 0,77 * Rm \quad (1.11)$$

$$\tau_{ps} = 110 + 0,56Rm \quad (1.12)$$

1.3.2. Výpočet střížné síly a práce [13]

Střížný odpor

Střížný odpor je ovlivněn řadou činitelů:

- Vlastnostmi stříhaného materiálu
- Tloušťkou materiálu
- Tvarem a rozměry křivky stříhu
- Vlastní střížné vůle
- Konstrukcí stříhadla
- Podmínkami při stříhání

Obecně lze střížný odpor stanovit podle vzorce:

$$k_s = \frac{F_s}{S_s} \quad (1.13)$$

kde: k_s ... střížný odpor [N.mm⁻²]
 F_s ... střížná síla [N]
 S_s ... plocha stříhu [mm²]

Střížná síla

$$F_s = (1 - 1,3)S \cdot k_s \doteq (1 - 1,3)S \cdot \sigma_{ps} \doteq (1 - 1,3)S \cdot 0,8\sigma_{pt}$$

$$F_s = (1 - 1,3)l \cdot t \cdot 0,8\sigma_{pt} \quad (1.14)$$

kde: F_s ... střížná síla [N]
 S ... plocha stříhu [mm²]
 l ... délka stříhu [mm]
 t ... tloušťka střížného materiálu [mm]
 k_s ... střížný odpor [N.mm⁻²]
 σ_{ps} ... napětí na mezi pevnosti ve stříhu [N.mm⁻²]
 σ_{pt} ... napětí na mezi pevnosti v tahu [N.mm⁻²]
 $(1 - 1,3)$... opravný koeficient, který se stanoví podle vnějších vlivů při stříhání, např. nerovnoměrnosti tloušťky materiálu, stavu střížných hran nástroje apod.

Střížná práce při stříhání rovnými střížnými hranami

$$A = \frac{k_3 \cdot F_s \cdot t}{1000} \quad (1.15)$$

kde: A ... střížná práce [J]
 F_s ... střížná síla [N]
 t ... tloušťka střížného materiálu [mm]
 k_3 ... koeficient závislý na druhu a tloušťce materiálu

1.3.3. Výpočet stírací a vysouvací síly [13]

Síly potřebné pro setření vystřihovaného materiálu a ze střížníku a k vysunutí výstřížku ze střížnice. [13]

Po vystřížení ulpí děrovaný materiál vlivem pružné deformace na střížníku a k jeho setření je třeba určit sílu F_u . Také pro vytlačení výstřížku ze střížnice je třeba vynaložit sílu F_v . Velikost obou sil je závislá na druhu materiálu, na tvaru a rozměrech křivky stříhu, na tloušťce plechu, na střížné vůli a druhu mazání při stříhu. [13]

Síly potřebné k setření materiálu ze střížníku (F_u) a k vysunutí výstřížku ze střížnice (F_v) lze odvodit podle empirických vzorců z hodnoty střížné síly (F_s):

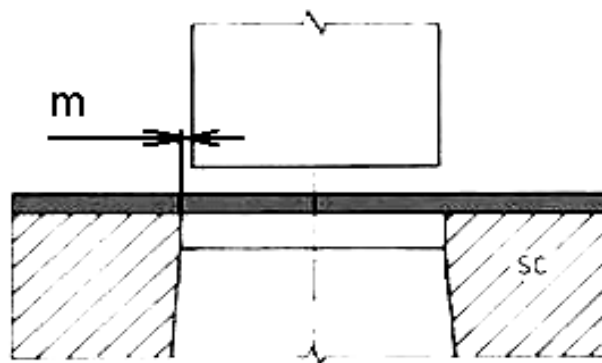
$$F_u = k_{eu} \cdot F_s \quad (1.16)$$

$$F_v = k_{ev} \cdot F_s \cdot n \quad (1.17)$$

kde: k_{eu} ... koeficient podle druhu materiálu, stříhadla a tloušťky plechu
 n ... počet výstřížků v neodlehčené části stříhadla

1.3.4. Vůle mezi střížnicí a střížníkem [13]

Střížná vůle je rozdíl mezi skutečným rozměrem střížnice a střížníku. Měří se ve směru normály k obrysu střížného tvaru. Při správném ustavení střížníku a střížnice dělí se střížná vůle v na dvě stejné mezery m , které mají být rovnoměrné po celém obvodu stříhu, viz obr.1.24.[13]



Obr.1.24 Střížná mezera ($v=2m$)

Výpočet pro plechy o tloušťce do 3mm:

$$m = \frac{v}{2} = c. t. 0,32\sqrt{k_s} \quad (1.18)$$

Výpočet pro plechy o tloušťce větší než 3mm:

$$m = \frac{v}{2} - (1,5c. t - 0,015). 0,32\sqrt{k_s} \quad (1.19)$$

kde: m ... střížná mezera
 s ... tloušťka střížného materiálu [mm]
 k_s ... střížný odpor [$N.mm^{-2}$]
 c ... (0,005 až 0,025) – koeficient závislý na stupni stříhu. Pro dosažení jakostního povrchu se volí nižší hodnoty koeficientu.

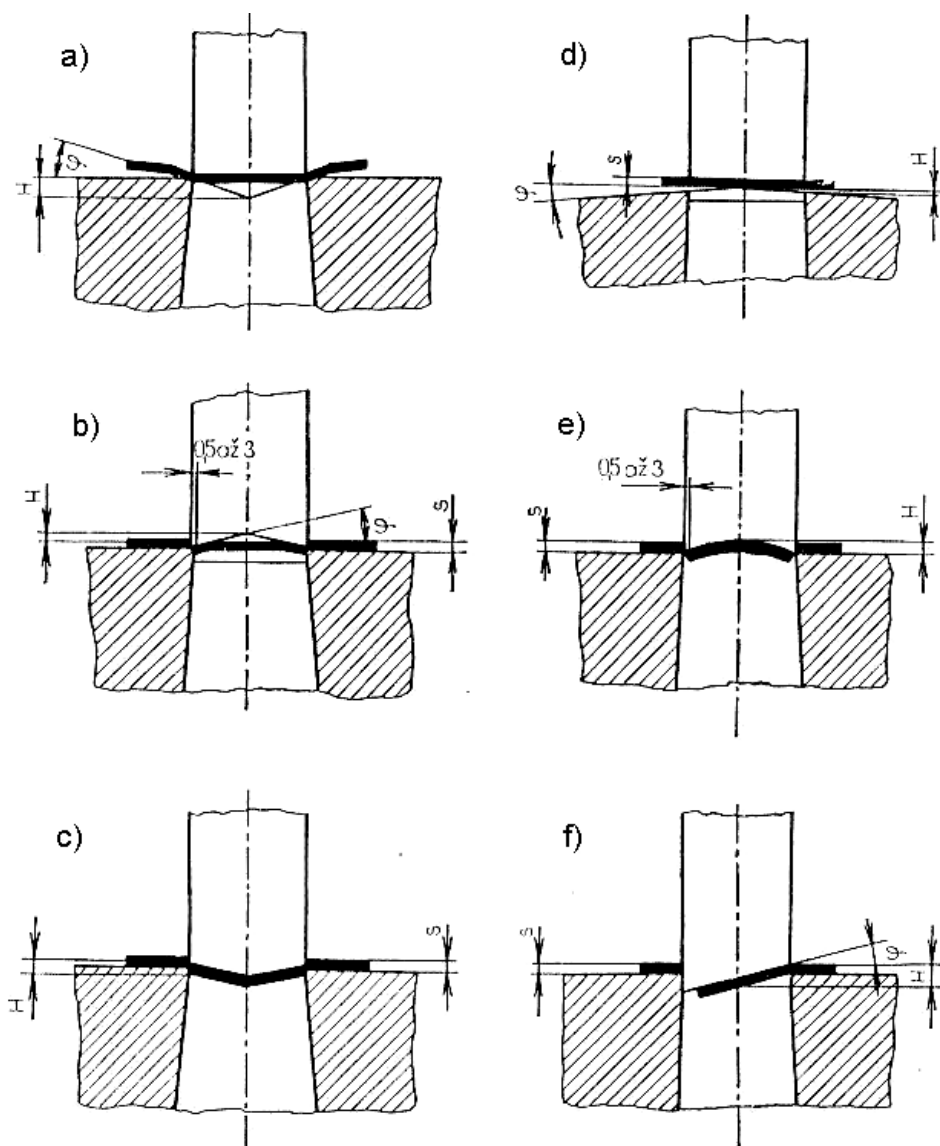
Střížná vůle se vytvoří úpravou jedné části střížné dvojice lisovacího nástroje: [13]

- Při vystřihování (výstřížek je výrobkem) rozměr součásti je rozměrem střížnice a střížná vůle se vytvoří na úkor tažníku, jeho zmenšení.
- Při děrování (otvor je ve výrobku) rozměr otvoru je i rozměrem střížníku. Střížná vůle se vytvoří úpravou střížnice, jejím zvětšením.

1.3.5. Tvar a délky střížníku

Pro snížení střížné síly se používají zkosené střížníky nebo střížnice. Zkosení bude obvykle při děrování na střížníku, při vystřihování na střížnici, aby výrobek nezdeformoval a aby se deformace (ohyb) způsobená zkosením nástroje projevila na odpadu.[10]

Tak například pro děrování se používají střížníky znázorněné na obr.1.25c. Výhodou je jednak snížení velikosti střížné síly, jednak lepší středění nástroje – tj. střížník se zatlačí břitem do materiálu a nemůže po něm klouzat. Možná provedení střížných nástrojů jsou znázorněny na obr.1.25.[10]



Obr.1.25 Úprava střížníku [10]

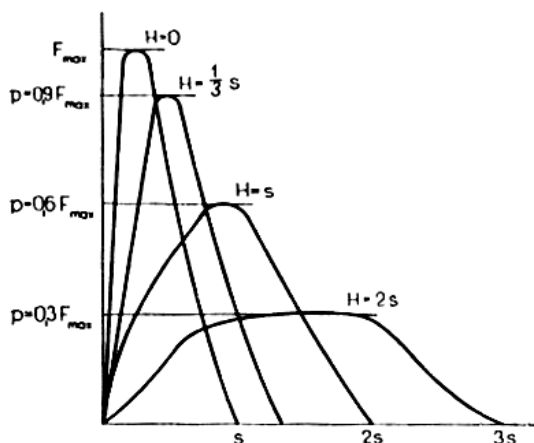
A, b – při vystřihování; c, d, e – při děrování; f) při nastřížení

Snížení střížné síly v závislosti na H_s je uvedeno na obr.1.26. Jsou doporučovány úhly zkosení

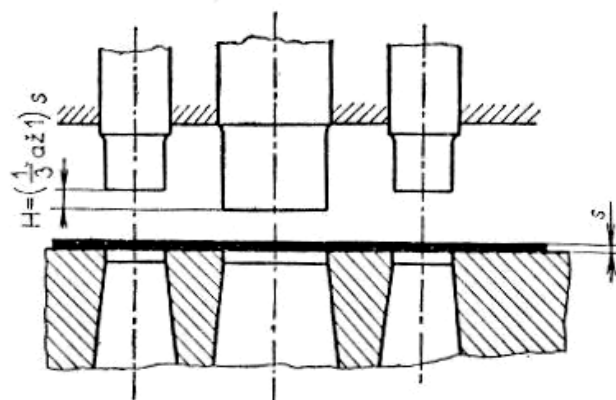
- pro plech $s < 3$ mm $\phi = 5^\circ$,
- pro plech $s > 3$ mm $\phi = 5$ až 8° ,

což přinese zmenšení střížné síly téměř na polovinu střížné síly nutné u nástrojů paralelních.[10]

Jedná-li se o děrování či vystřihování více otvorů nebo součástí na jeden zdvih lisu, mohou se nástroje odstupňovat (obr.1.27).[10]



Obr.1.26 Závislost střížné síly na úpravě [10]



Obr.1.27 Odstupňování střížníků [10]

1.3.6. Pevnostní výpočet střížníků [10]

Střížníky běžného provedení mají délku poměrně malou, a proto lze počítat jejich dovolené namáhání v tlaku ze vztahu:

$$\sigma_{dov} = \frac{F_s}{S} \quad (1.20)$$

kde: F_s ... maximální hodnota střížné síly [N]
 S ... plocha průřezu střížníku [mm²]

Jsou-li z různých důvodů délky střížníku větší, provádí se pevnostní výpočet na tzv. kritickou délku pro dané uspořádání nástroje. Je-li volná délka nástroje větší než kritická, musí se konstrukce nástroje upravit tak, aby byl střížník veden a jeho volná délka byla pod kritickou hodnotou.

Předpokládáme-li, že se jedná o tyč namáhanou na vzpěr, na jednom konci uloženou v kloubu, na druhém vetknutou, potom kritická délka bude:

$$l_k = \sqrt{\frac{2\pi^2 EI}{\mu F_s}} \quad (1.21)$$

kde: E ... modul pružnosti (u oceli $2,15 \cdot 10^5$ MPa)

$$I = \frac{\pi d^4}{64} = 0,05 d^4$$

μ ... součinitel bezpečnosti ($\mu = 1,5$ až 2)

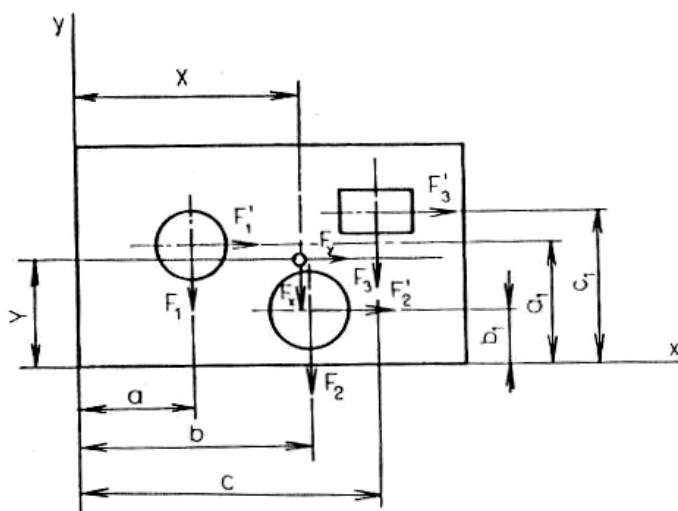
Po dosazení:

$$l_k = \sqrt{\frac{2\pi^2 E \cdot 0,05 d^4}{\mu F_s}} \quad (1.22)$$

1.3.7. Těžiště střížných sil [10]

Střihá-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 beranu lisu.



U výpočtu působíště výslednice vycházíme z podmínky, která platí pro rovnovážný stav, tj. že součet momentů sil ke zvolené přímce je roven nule (např. ke zvolené ose x či y).

Obr.1.28 Výpočet těžiště střížných sil [10]

Matematicky vyjádřeno:

$$F_x X = F_1 a + F_2 b + F_3 c \quad (1.23)$$

kde: $F_x = F_1 + F_2 + F_3$
 X ... vzdálenost výslednice sil od osy y
 a, b, c ... vzdálenosti sil F_1, F_2, F_3 od osy y

Z toho plyne:

$$X = \frac{F_1 a + F_2 b + F_3 c}{F_1 + F_2 + F_3} \quad (1.24)$$

$$Y = \frac{F_1' a_1 + F_2' b_1 + F_3' c_1}{F_1' + F_2' + F_3'} \quad (1.25)$$

kde: a_1, b_1, c_1 ... vzdálenosti sil F_1', F_2', F_3' od osy x
 Y ... vzdálenost výslednice sil od osy x

1.3.8. Stanovení rozměrů střížníku a střížnice [5]

Rozměry pracovních částí stříhadel musí odpovídat rozměrům uvedeným na jejich výkrese s příslušnými výrobními tolerancemi, přičemž se absolutní velikosti těchto tolerancí nepřenášejí mechanicky na součásti stříhadel. Podle okolností jsou menší nebo větší, což má vliv na konečné podmínky a výsledky stříhání.

K tomu, aby žádané množství výstřížků mělo požadované tolerance, je třeba navrhnout rozměry stříhadla s přihlédnutím na jeho opotřebením během jeho pracovní činnosti. Ve většině případů způsobuje opotřebením činných částí nástroje zvětšení nebo zmenšení rozměrů výstřížků či stříhaných otvorů.

Při všech tolerancích má rozměr střížnice odpovídat největšímu meznímu rozměru součásti $D_{\max}$ zmenšenému o velikost přídatku odpovídajícímu opotřebením nástroje P_0 .

Podle přesnosti lze součásti vyráběné stříháním zhruba rozdělit do tří základních skupin: [5]

1. S nižší přesností (IT14, IT15, IT16)
2. Se střední přesností (IT11, IT12)
3. Se zvýšenou přesností (IT6, IT7, IT8 a IT9)

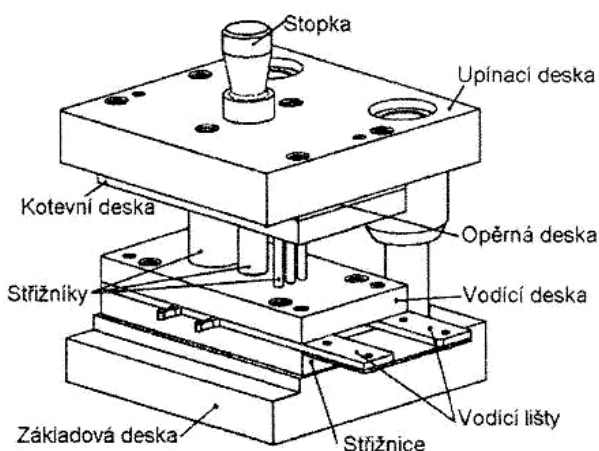
Při stříhání v prvních dvou skupinách se doporučuje volit optimální přídavek na opotřebení nástroje $P_0 = 0,8P_u$ a pro třetí skupinu $P_0 = P_u$. Rovnice dostane tvar:

$$1. \text{ pro } P_0 = 0,8P_u \Rightarrow d_k = (D_{min} + 0,8P_u) \quad (1.26)$$

$$2. \text{ pro } P_0 = P_u \Rightarrow d_k = (d_{min} + P_u) \quad (1.27)$$

kde: P_0 ... přídavek na opotřebení nástroje
 P_u ... úchytky vystřihovaného tvaru
 $d_{min} = d + U_h$
 d ... jmenovitý rozměr otvorů
 U_h ... spodní úchytky výstřížku
 d_k ... rozměr střížníku

1.3.9. Konstrukce jednoduchých stříhadel



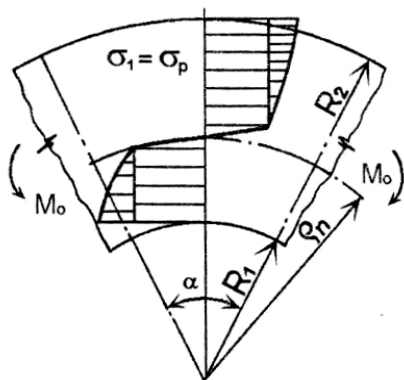
Na obr.1.29 je příklad základní sestavy prostřihovadla s vodící deskou a pevným dorazem.[8]

Obr.1.29 Prostřihovadlo s vodící deskou v universálním stojánu. [8]

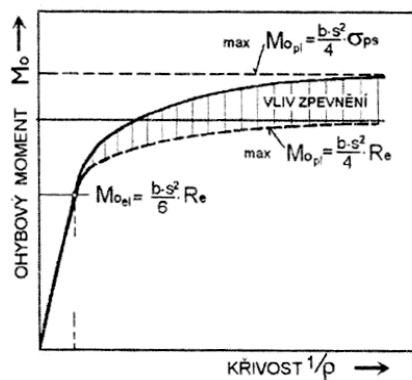
1.4. Ohýbání [8], [11]

Ohýbání je trvalé přetváření materiálu, při němž se pod vlivem lokálních sil nebo ohybových momentů trvale mění křivost součásti z plechu, tyčí a drátů. Ohybem se zpravidla zmenšuje poloměr zakřivení až do jeho minimální hodnoty na hranici mezní hodnoty deformace za studena, nebo se zvětšujícím poloměrem zakřivení a dochází k rovnání. Materiály tvrdé, křehké a pružné o velkém modulu odporu proti ohybu se ohýbají za tepla.[8]

1.4.1. Ohýbání se zpevněním



Obr.1.30 Vliv zpevnění na rozložení tečného napětí [8]



Obr.1.31 Vliv zpevnění na ohybový moment [8]

Při ohýbání pásů za studena dochází v důsledku plastické deformace ke zpevňování kovu, a proto i tečné napětí vzrůstá obr.1.30. Největší deformace, a tedy i zpevnění nastává v krajních vláknech na povrchu. Protože křivky zpevnění jsou především funkcí logaritmických deformací, lze je velice obtížně aplikovat na ohyb. Tento problém lze odstranit tak, že stanovíme základní závislost přímo mezi potřebným ohybovým momentem a zakřivením nebo úhlem ohybu, obr.1.31.[8]

Stanovení elastických a plastických ohybových momentů dle obr.1.31:

$$M_{O_{pl}} = \frac{b \cdot s^2}{4} \sigma_{ps} \quad (1.26)$$

$$M_{O_{pl}} = \frac{b \cdot s^2}{4} R_e \quad (1.27)$$

$$M_{O_{el}} = \frac{b \cdot s^2}{6} R_e \quad (1.28)$$

Ohýbací síla podle Hrazdila:

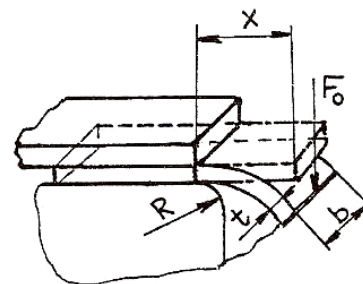
$$F_0 = \frac{b \cdot t^2}{6 \cdot x} R_m \cdot (1,5 + \varepsilon_p) \quad (1.29)$$

kde: R_m ... mez pevnosti v tahu [MPa]

R, b, t, x ... délkové parametry dle obr.1.32

ε_p ... trvalá poměrná deformace krajních vláken

$$\varepsilon_p = \frac{1}{2 \frac{R}{t} + 1}$$



Obr.1.32 Ohyb jednostranně upnutého pásu [11]

1.5. Postupové nástroje

Postupové nástroje se používají převážně pro hromadnou výrobu (pro prakticky nekonečné série), takže jejich konstrukce je značně odlišná od nástrojů určených pro výrobu kusovou. Hromadný charakter výroby umožňuje investovat do nástroje mnohem víc, než by bylo možné u nástrojů pro menší série, u kterých by to bylo nerentabilní.[5]

V nástrojích je použito řady prvků (např. stavitelnost lišt, snadné vyjímání pružin ve spodku nástroje, vlastní upínání nástroje apod.), které snižují ztrátové časy (při poruše nástroje) na minimum a zrychlují tak operativnost obsluhy.[5]

Základ nástrojů tvoří skříň, speciálně upravená pro tento druh výroby (úzká a dlouhá). V současné době normalizovaných vodicích stojánků nelze použít pro nevhodné rozměry a hmotnost.[5]

Konstrukce - spodní části jsou nejčastěji lité, normalizovaného tvaru, takže je dodržena jednotná dopravní výška. Jednotlivé nástroje, pokud nejsou vedeny svým tvarem, mají vodicí kalibry. Velká pozornost musí být věnována vysunutí výlisku z nástroje a jeho přidržení v rovině podávání. Nástroje jsou proto vybaveny kromě vyhazovačů a vyrážeců ještě dalšími odpruženými částmi. Tím se zabraňuje ulpívání výlisků na vyhazovačích a zajišťuje se správné umístění součástí pro správné podání k další operaci.[5]

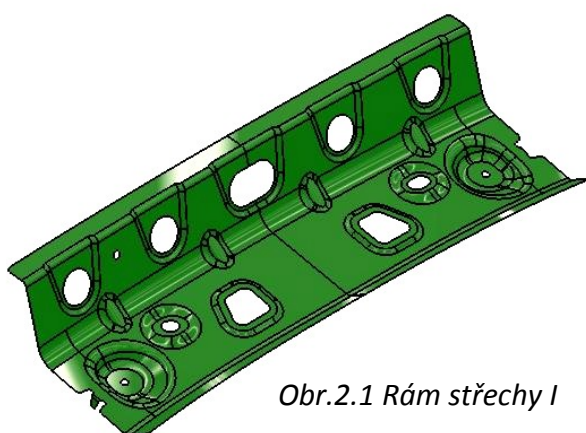
Nástroje pro postupové automaty musí být přesnější než obvykle, neboť jsou určeny pro velký výkon. Opatřené díly nástrojů se musí dít snadno vyměnit. Velký význam zde má správný výběr materiálu pro nástroje a jeho tepelné zpracování.[5]

2. ZHODNOCENÍ SOUČASNÉHO STAVU VÝROBY

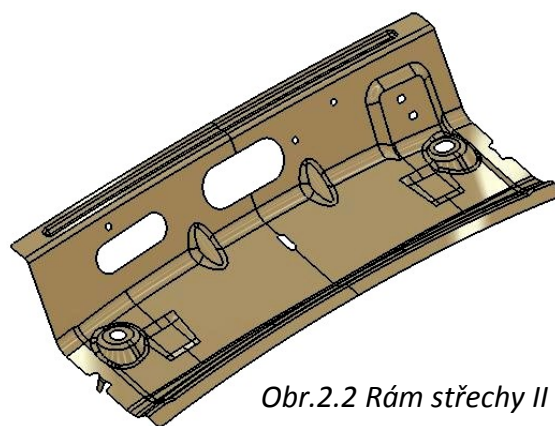
Úkolem této práce je výroba dílčí části rámu střechy automobilu - **rám střechy II** obr.2.2 (výkres dílu – příloha 3). Při návrhu technologie výroby a konstrukce nástroje budeme vycházet z dílu, který se používá u staršího modelu auta - **rám střechy I** na obr.2.1.

- Nedostatky na nástroji „RÁM STŘECHY I“:

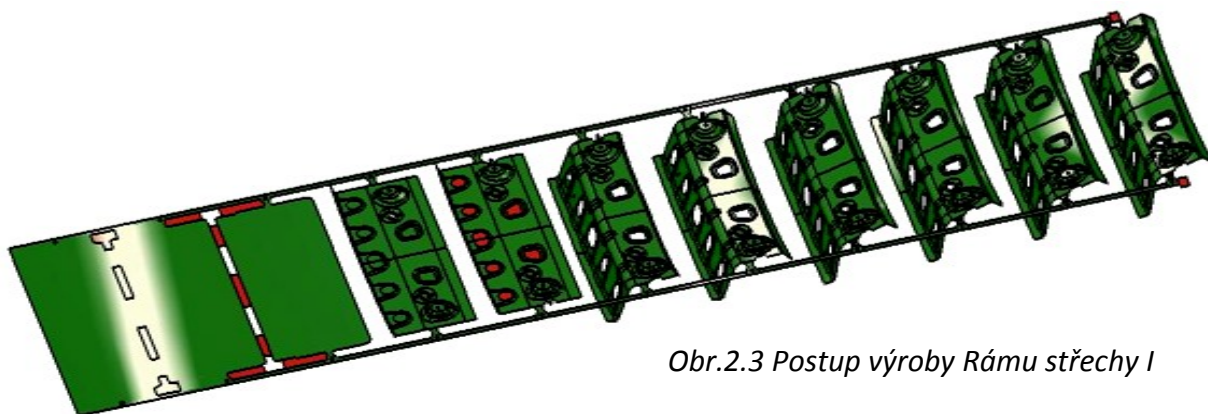
Technologický postup tváření (obr.2.3) byl navržen s úzkými dopravními pásy, které nejsou nijak zpevněny. Při průchodu nástrojem, který je dlouhý cca 2 500mm, větší zaškobrtnutí pásu znamenalo kolizi plechu v nástroji. Tento problém se vyřešil úpravami vodicích lišt – lepší opracování a ideální mezera pro průchod plechu. Pro stabilnější průchod nástrojem je výhodnější dopravní pásy zpevnit.



Obr.2.1 Rám střechy I



Obr.2.2 Rám střechy II

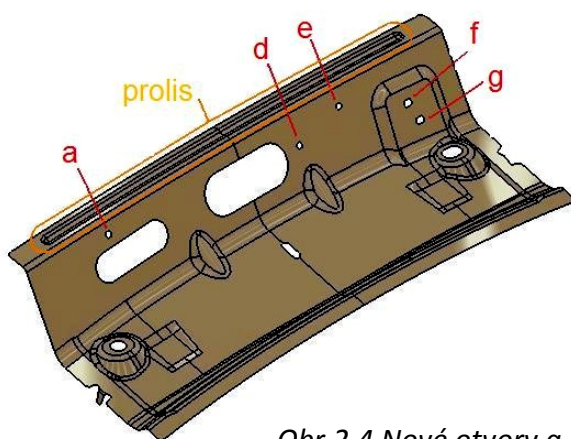


Obr.2.3 Postup výroby Rámu střechy I

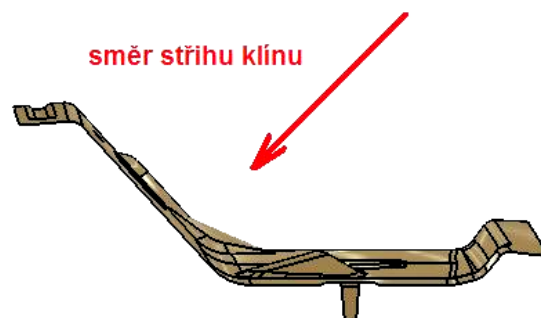
- Technologický postup výroby dílu „RÁM STŘECHY I“:

○ Op1-3	střih
○ Op4	tah + ohyb
○ Op5	děrování + obstřih
○ Op6	ohyb
○ Op7	kalibr
○ Op8	volná stanice
○ Op9	natočení o 12°
○ Op10	děrování RPS + a, b
○ Op11	separace

- Proč se technologie výroby z „RÁMU STŘECHY I“ nedá použít na „RÁM STŘECHY II“:



Obr.2.4 Nové otvory a prolis



Obr.2.5 Směr stříhu klínu

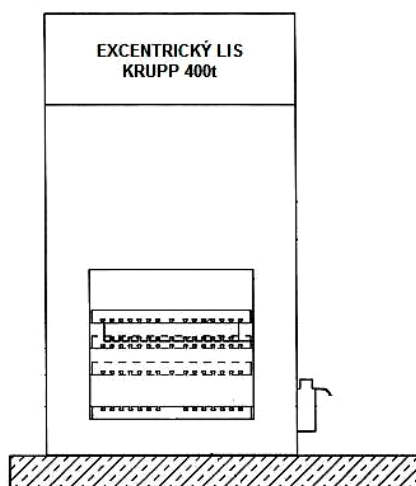
- Přibýly nové otvory obr.2.4, které jsou tolerovány ve $+0,2$ (a, f, g) a v $+0,1$ (d, e). To znamená, že se tyto otvory musí stříhat až po tvarových operacích a pod úhlem - klínovou jednotkou (směr stříhu klínu obr.2.5).
- Přibyl prolis obr.2.4., který má za následek, že obstřih části kolem tohoto prolisu se bude muset stříhat až po jeho vylisování.

Z výše uvedených bodů vyplývá, že pro díl „RÁM STŘECHY II“ se bude muset navrhnout jiný technologický postup výroby.

- Základní parametry postupového nástroje „RÁM STŘECHY I“:

▪ Délka nástroje	2 650 mm
▪ Šířka nástroje	1 100 mm
▪ Sevřená výška nástroje	770 mm
▪ Výška podávání pásu	445 mm
▪ Pracovní výška nástroje	395 mm
▪ Dopravní výška nástroje	500 mm
▪ Zdvih vodicích lišt	110 mm
▪ Zdvih vodicích desek vůči hornímu dílu	80 mm
▪ Posuv pásu (krok)	220 mm

- Lis pro postupový nástroj „RÁM STŘECHY I“:



Technická dokumentace k lisu s patřičnými rozměry a parametry jsou v příloze 1.

Tento lis bude použit také pro nástroj „RÁM STŘECHY II“.

Obr.2.6 Excentrický lis KRUPP 400t

2.1. Materiál součásti

Součást je vyrobena z oceli **H 240 LA - 1.0480** ČSN EN 10268. Oceli uvedené v normě jsou mikrolegované, s vyšší mezí kluzu, u nichž základní zpevňovací mechanismus spočívá v přísadě dispersujících mikrolegujících prvků jako **Nb**, **Ti** nebo **V**.

- Chemické složení:

tab.2.1

Označení oceli značka číslo		C % max.	Si % max.	Mn % max.	P % max.	S % max.	Al % max.	Nb % max.	Ti % max.
H 240 LA	1.0480	0,10	0,50	0,60	0,025	0,025	0,015	0,090	0,015

- Pokud to bylo dohodnuto při objednávání, musí být obsah síry v rozboru hotového výrobku max. 0,012 %.
- Tyto doplňkové prvky mohou být přidávány jednotlivě nebo v kombinaci, pokud jsou v souladu s definicí, v oceli obsaženy a jejich obsah je v rozmezí stanovených mezních hodnot. Přidáván může být také vanad. Součet obsahů těchto tří dispersujících prvků nesmí překročit 0,22 %.

- Mechanické vlastnosti

tab.2.2

Označení oceli		R_{eH} N/mm ² ¹⁾			R_m N/mm ²	A % min.		Minimální průměr trnu pro úhel ohybu 180° při zkoušce lámavosti
značka	číslo	min.	max.		min.	$L_0 = 80$	$L_0 = 50$ ³⁾	napříč
		podél	podél	napříč ²⁾	podél	podél	podél	
H 240 LA	1.0480	240	310	330	340	27	29	0 e ⁴⁾

¹⁾ při nevýrazné mezi kluzu se stanoví smluvní mez kluzu $R_{p0,2}$

²⁾ orientační hodnota

³⁾ EN 10268 nejednoznačně uvádí $L_0 80 + 2 \%$

⁴⁾ e – tloušťka zkušebního tělesa

- Technologické vlastnosti:

Podle objednávky mohou být ploché výrobky ve stavu normalizačně žíhaném do tloušťky 16 mm a výrobky termomechanicky válcované do tloušťky 12 mm dodávány jako vhodné k ohýbání, ohraňování, obrubování a lemování za studena bez vzniku trhlin při následující minimální hodnotě poloměru ohybu:

- 2krát jmenovitá tloušťka při ose ohybu v příčném směru a 2,5krát jmenovitá tloušťka při ose ohybu v podélném směru
- 4krát jmenovitá tloušťka při ose ohybu v příčném směru a 5krát jmenovitá tloušťka při ose ohybu v podélném směru

3. NÁVRH TECHNOLOGIE VÝROBY

3.1. Nástřihový plán

Teoretický rozbor tažení takto nepravidelných výtažků je daleko složitější než u výtažků pravidelných. Při tažení nepravidelných výtažků dochází k jevům, které se u klasických pravidelných výtažků neobjevují, jde především o ztrátu stability, rovinné napjatosti a současná přítomnost různých nerovnoměrných a nestejnorodých napjatostí v tvářeném materiálu.

Pro stanovení potřebných tvářecích sil a rozbor tažných a střižných operací použijeme simulační program.

Simulace tažení v programu Autoform

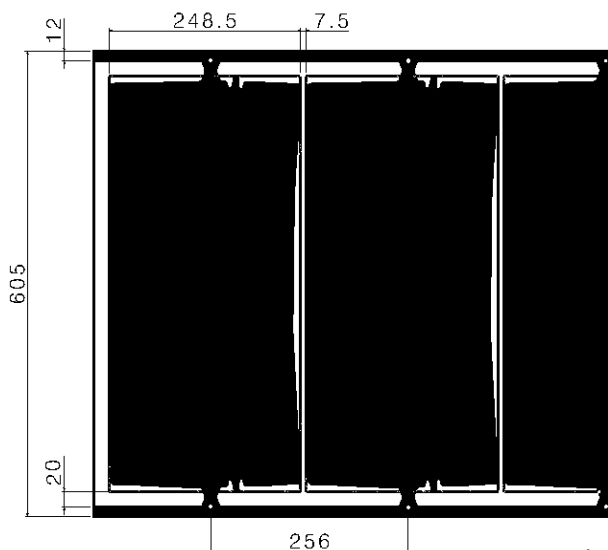
Moduly AutoForm Incremental a Autoform Trim poskytují vysoce přesné a rychlé řešení problematiky hlubokého tažení plechu a umožňují provést kompletní simulaci všech jevů vznikajících při hlubokém tažení plechů - gravitace, přidržení, tažení (i víceukrokové), odstřižení, kalibrace, odpružení nebo optimalizace střižné kontury apod. Autoform k řešení využívá jak membránového prvku, tak shell elementu, a tím umožňuje uživateli volbu rychlosti nebo přesnosti podle potřeby nebo stavu projektu, a tím přispívá k rychlému průběhu vývoje dílu a procesu lisování.[12]

Simulaci tažení výlisku prováděla firma PWO UNITOOLS ve Valašském Meziříčí. Protokol simulace tažení (příloha 2) obsahuje - geometrii výtažku (rozvin), porušení výlisku (přetvoření), ztenčení výlisku, lisovatelnost, zvlnění výlisku, vyhodnocené přidržovací síly pro operace 4 a 6, vyhodnocené síly na tažníku pro operace 4 a 6.

Nemůžeme říct, že výsledky simulací jsou vždy 100%. I když se snažíme dostat co nejvíce informací o materiálu do simulačního softwaru, vždy mohou vzniknout menší odchylky.

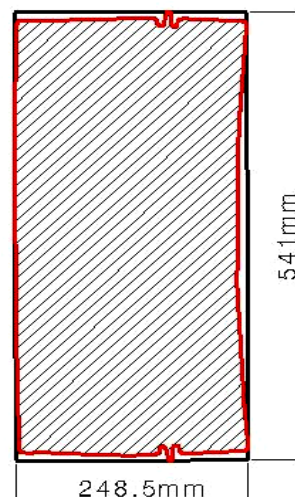
Umístění přístřihu na pás plechu

Šířka pásu se stanoví z velikosti přístřihu obr. 3.2, šířky dopravních pásků a velikosti můstků mezi dopravními pásky a výliskem obr.3.1.



Obr.3.2 Rozměr přístřihu

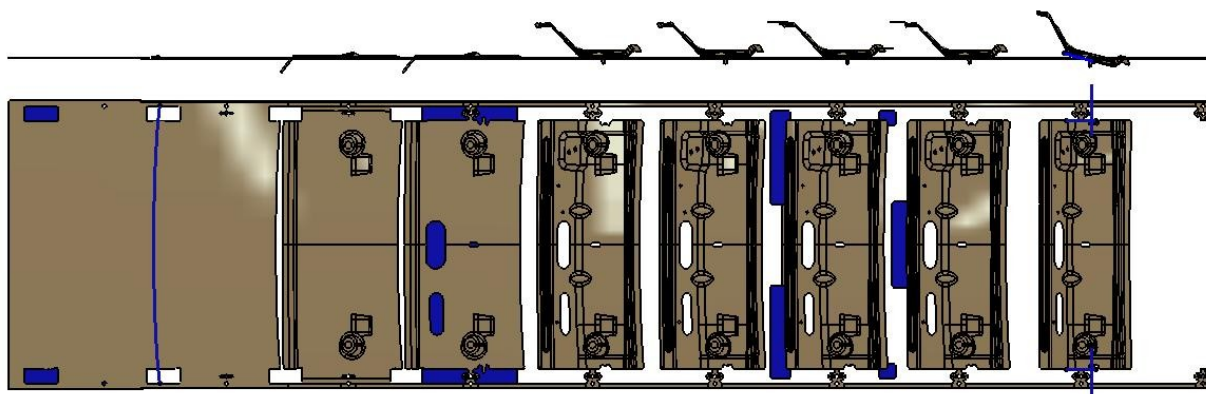
Obr.3.1 Umístění přístřihu na pás plechu



Délku kroku volíme tak, aby mezera mezi přístřihy byla co nejmenší (obr.3.1), z důvodu co nejvyšší výtěžnosti. Musíme ale také počítat s nějakou rezervou, kdyby se plech při tahových operacích nezachoval tak, jak předpokládáme ze simulace.

- Délka kroku $248,5 + 7,5 = 256\text{mm}$
- Šířka pásu $2 \times 12 + 2 \times 20 + 541 = 605\text{mm}$
- Počet operací $2500 / 256 = 9,76 \Rightarrow 10$ operací

3.2. Návrh postupu výroby (příloha 4)



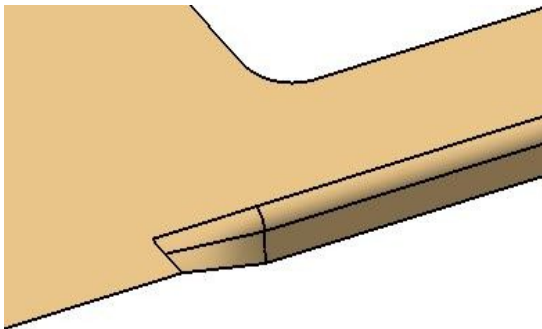
Obr.3.3 Návrh postupu výroby Rám střechy II

3.2.1. Popis jednotlivých operací:

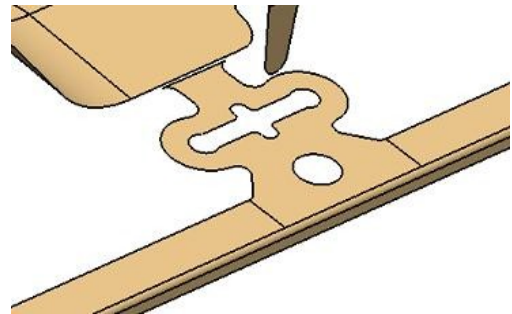
- Op1-3 stříh
- Op4 tah + ohyb
- Op5 děrování + obstřih
- Op6 ohyb
- Op7 kalibr
- Op8 obstřih lemu
- Op9 obstřih lemu + děrování klínem
- Op10 natočení + stříh RPS + separace

3.2.2. Jak zefektivnit technologii

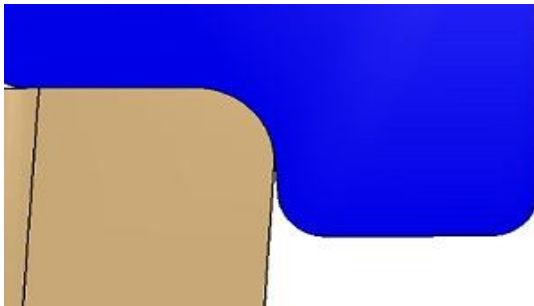
- Zpevnění pásu obr.3.4 – Plech je do nástroje tlačěn podávacími válci. To znamená, že válce tlačí plechové pásy o tloušťce 0,6mm, na kterých visí výlisky v drážkách o výšce 1,6mm v délce cca 3m. Jakékoliv zašknutí tedy znamená kolizi v nástroji, pracné odstraňování plechu a nové zavedení pásu do nástroje. Abychom zvýšili tuhost těchto pásů a získali tvarovou stabilitu, ohneme je ve druhé operaci o 80° v šířce 3,5mm.
- Deformační můstky obr.3.5 – Při tažení se zamezí vtahování bočních pásů a jejich následné deformaci, která může vést k zasekávání při průchodu nástrojem. Toto řešení můstku se ale použilo především kvůli natáčení v 10. operaci.
- Napojení stříhů obr.3.6 a obr.3.7 – V tomto nástroji jsou použity dva způsoby napojování stříhů. První z nich se používá při napojení v rádiusu a ten druhý při napojování na rovný stříh.



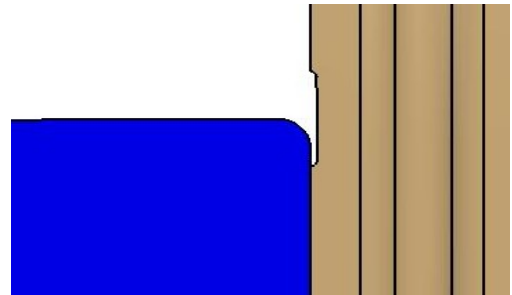
Obr.3.4 Zpevnění pásu



Obr.3.5 Deformační můstek



Obr.3.6 Napojení stříhu v rádiu



Obr.3.7 Napojení rovného stříhu

3.3. Výpočty potřebných sil v jednotlivých operacích

- Výpočet střížné síly:

$$F_S = s * l * \tau_{ps} * k \quad [\text{N}] \quad (1.14)$$

F_S	střížná síla		[N]	
s	tloušťka plechu	$s = 0,6$	[mm]	
l	šířka stříhaného plechu		[mm]	
τ_{ps}	pevnost materiálu ve stříhu	$\tau_{ps} = 110 + 0,56 R_m$	[MPa]	(1.12)
R_m	mez pevnosti v tahu	$R_m = 340$	[MPa]	(tab.2.2)
k	opravný koeficient 1 až 1,3		$k = 1,3$	

- Výpočet stírací a vysouvací síly:

$$F_u = k_{eu} * F_S \quad [\text{N}] \quad (1.16)$$

$$F_v = k_{ev} * F_S * n \quad [\text{N}] \quad (1.17)$$

F_S	střížná síla	[N]
F_u	síla potřebná k setření materiálu ze střížníku	[N]
F_v	síla potřebná k vysunutí střížníku ze střížnice	[N]
k_{eu}	koeficient závislý na druhu stříhu a tloušťce materiálu (dle ČSN 226015)	= 0,1
k_{ev}	koeficient závislý na druhu stříhu a tloušťce materiálu (dle ČSN 226015 pro ocel)	= 0,05
n	počet výstřížků v neodlehčené části stříhadla	= 1

- Celková střížná síla pro vystřihování a děrování:

$$F_C = F_S + F_u + F_v \quad [\text{N}] \quad (3.1)$$

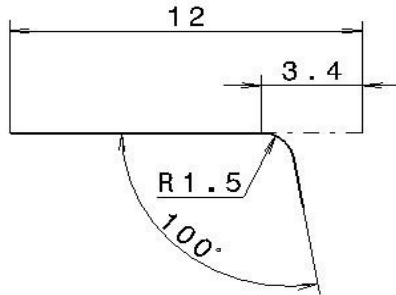
- Ohýbací síla podle Hrazdila:

$$F_o = \frac{b \cdot t^2}{6 \cdot x} \cdot R_m \cdot (1,5 + \varepsilon_p) \quad [\text{N}] \quad (1.29)$$

R, b, t, x délkové parametry dle obr.1.32 [mm]

ε_p trvalá poměrná deformace krajních vláken $\varepsilon_p = \frac{1}{2 \cdot \frac{R}{t} + 1}$ [-]

3.3.1. Zpevnění dopravních pásků



- Pásek se zpevňuje ve třetí operaci ohýbáním.
- Délka ohýbací části musí být delší, než je délka kroku. Délka ohybníku b = 280mm (2 pásy).
- Poměrná deformace:

$$\varepsilon_p = \frac{1}{2 \cdot \frac{1,5}{0,6} + 1} = \underline{\underline{0,16}}$$

Obr.3.8 Zpevnění dopravního pásku

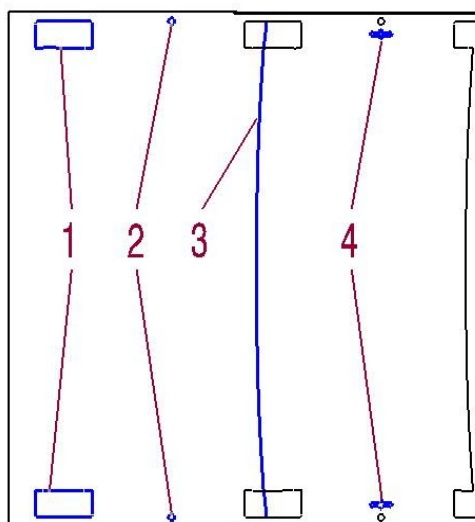
- Ohýbací síla podle Hrazdila (1.29):

$$F_o = \frac{280 \cdot 0,6^2}{6 \cdot 3,4} \cdot 340 \cdot (1,5 + 0,1667) \cdot 2 = \underline{\underline{5\,601,2\text{N}}} = \underline{\underline{5,6\text{kN}}}$$

- Kontrolní výpočet z momentu (1.27):

$$M_{opl} = \frac{280 \cdot 0,6^2}{4} \cdot 330 = \underline{\underline{8\,316\text{Nm}}} \quad F_o = \frac{M_{opl}}{x} = \frac{8\,316}{3,14} \cdot 2 = \underline{\underline{5\,296,8\text{N}}}$$

3.3.2. Operace 1-3 – stříh



1. Vystřížení otvorů pro nástřih č. 3, kontura kolem dílu je stříhaná na hotovo. (Délka střížné kontury 200,241mm)
2. Vystřížení otvorů pro hledáčky. (Délka střížné kontury 25,133mm)
3. Nástřih plechu – jedna strana dílu je stříhaná na hotovo. (Délka střížné kontury 519,826mm)
4. Vystřížení otvoru očka deformačního můstku. (Délka střížné kontury 67,849mm)

Obr.3.9 Střížná operace 1-3

- Střížná síla dle (1.14, 1.12):

$$F_{S\,1-3} = [2 \cdot (200,241 + 25,133 + 67,849) + 519,826] \cdot 0,6 \cdot (110 + 0,56 \cdot 340 \cdot 1,3) = \underline{\underline{259\,000,4\text{N}}} = \underline{\underline{259\text{kN}}}$$

- Výpočet stírací a vysouvací síly dle (1.16, 1.17):

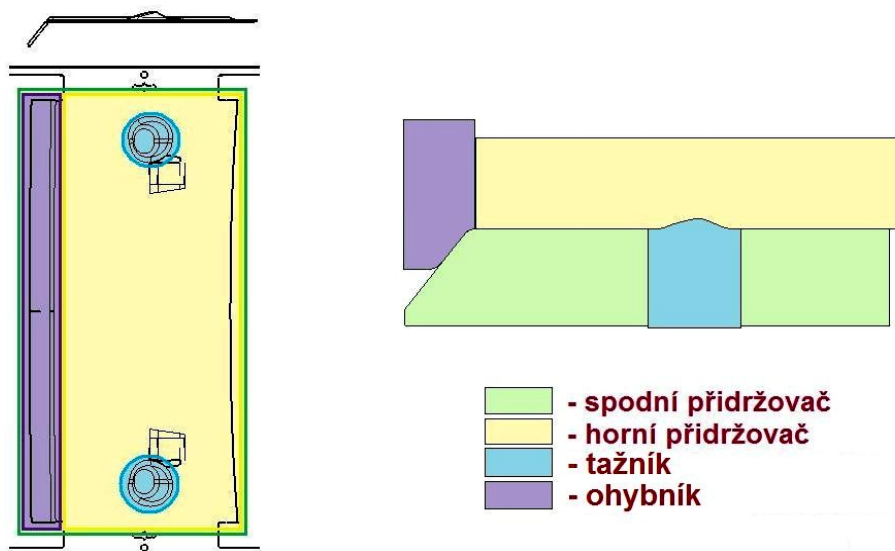
$$F_{u\ 1-3} = 0,1 * 259\ 000,4 = \mathbf{25\ 900N} \quad = \mathbf{25,9kN}$$

$$F_{v\ 1-3} = 0,05 * 259\ 000,4 * 1 = \mathbf{12\ 950N} \quad = \mathbf{12,95kN}$$

- Celková síla pro operaci 1-3 dle (3.1):

$$F_{C\ 1-3} = 259\ 000,4 + 25\ 900 + 12\ 950 \doteq \mathbf{297\ 850,4N} \quad = \mathbf{297,85kN}$$

3.3.3. Operace 4 – tah, ohyb



Obr.3.10 Tažná operace 4

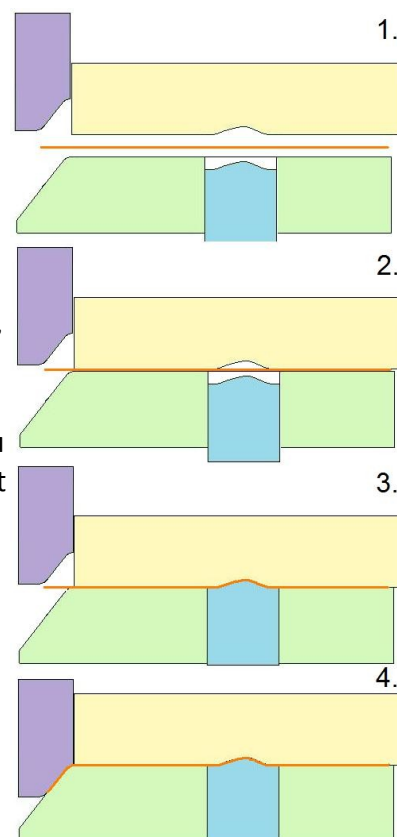
- Princip operace:

1. Plech v rozevřeném nástroji.
2. Vytvarování tvaru mezi přidržovači (plech je v podélném směru vytvarován do oblouku).
3. Vytažení prolisů.
4. Lemování (protože je plech v podélném směru vytvarován do oblouku a tedy zpevněn, nedochází k čistému ohybu).

- Výpočty takových nepravidelných výtažků jsou velmi složité a zdoluhavé, proto budeme vycházet z výsledků simulace.

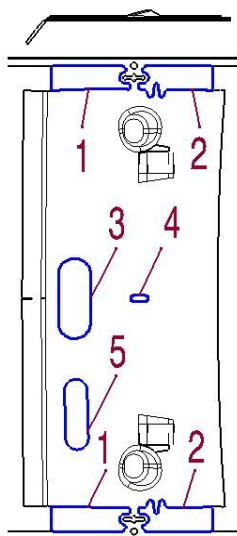
- Síly vypočtené simulačním softwarem Autoform: (příloha 2)

- Přidržovací síla: $F_{p\ 4} = \mathbf{80\ 000N} \quad = \mathbf{80kN}$
- Síla na tažníku: $F_{t\ 4} = \mathbf{65\ 000N} \quad = \mathbf{65kN}$



Obr.3.11 Princip operace 4

3.3.4. Operace 5 – děrování, obstřih



1. Kontura kolem dílu je stříhaná na hotovo. (Délka střížné kontury 222mm)
2. Kontura kolem dílu je stříhaná na hotovo. (Délka střížné kontury 247,29 mm)
3. Vystřížení otvoru. (Délka střížné kontury 245,66mm)
4. Vystřížení otvoru. Tento otvor bude sloužit v následujících operacích jako pomocné středění. (Délka střížné kontury 51,15mm)
5. Vystřížení otvoru. (Délka střížné kontury 207,77mm)

Obr.3.12 Střížná operace 5

- Střížná síla dle (1.14, 1.12):

$$F_{S5} = [2 * (222 + 247,29) + 245,66 + 51,15 + 207,77] * 0,6 * (110 + 0,56 * 340 * 1,3) = \mathbf{338\,149,7N} = \mathbf{338,15kN}$$

- Výpočet stírací a vysouvací síly dle (1.16, 1.17):

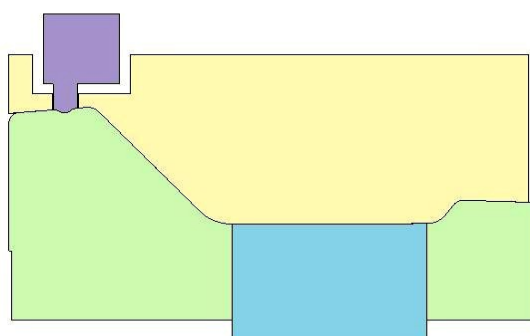
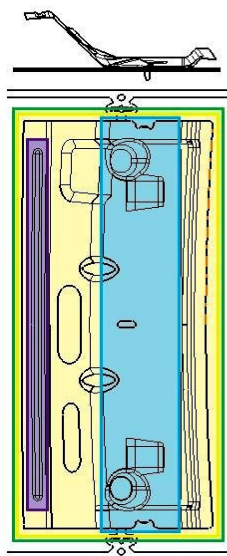
$$F_{u5} = 0,1 * 338\,149,7 = \mathbf{33\,815N} = \mathbf{33,82kN}$$

$$F_{v5} = 0,05 * 338\,149,7 * 1 = \mathbf{16\,907,5N} = \mathbf{16,91kN}$$

- Celková síla pro operaci 5 dle (3.1):

$$F_{c5} = 338\,149,7 + 33\,815 + 16\,907,5 = \mathbf{388\,872N} = \mathbf{388,9kN}$$

3.3.5. Operace 6 - ohyb



- spodní tažník
- horní tažník
- spodní přidržovač
- horní tažník

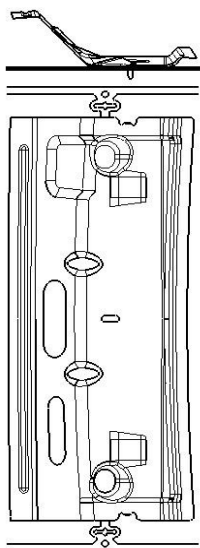
Obr.3.13 Tažná operace 6

- Princip této operace je obdobný jako u operace 4.

- Síly vypočtené simulačním softwarem Autoform: (příloha 2)

▪ Přidržovací síla:	$F_{p6} = 80\,000N$	$= \underline{80kN}$
▪ Síla na tažníku:	$F_{t6} = 120\,000N$	$= \underline{120kN}$

3.3.6. Operace 7 - kalibr



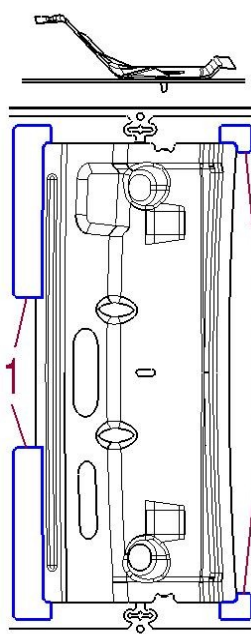
- Kalibr má tvar technických dat a slouží k potvrzení tvaru, respektive k jeho dolisování.
- Sílu využitelnou pro kalibr jsme volili dle zkušeností s předchozím „Rámem střechy I“.

$$F_{k7} = 300\,000N \quad = \underline{300kN}$$

- V předchozích tažných operacích dojde určitě k odpružení tvaru. S jistým odpružením se počítá, ale také se počítá s tím, že kalibr tuto odchylku dorovná.

Obr.3.14 Kalibrační operace 7

3.3.7. Operace 8 – obstřih lemu



1. Kontura kolem dílu je stříhaná na hotovo. (Délka střížné kontury 185mm)
2. Kontura kolem dílu je stříhaná na hotovo. (Délka střížné kontury 20,9mm)

- Střížná síla dle (1.14, 1.12):

$$F_{S8} = [2 * (185 + 20,9)] * 0,6 * (110 + 0,56 * 340) * 1,3 \div \underline{96\,489,7N} \quad = \underline{96,5kN}$$

- Výpočet stírací a vysouvací síly dle (1.16, 1.17):

$$F_{u8} = 0,1 * 96\,489,7 = \underline{9\,648,97N} \quad = \underline{9,65kN}$$

$$F_{v8} = 0,05 * 96\,489 * 1 = \underline{4\,824,5N} \quad = \underline{4,83kN}$$

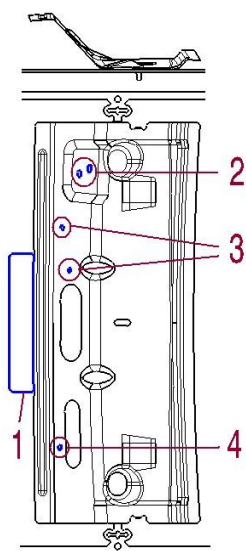
- Celková síla pro operaci 8 dle (3.1):

$$F_{c8} = 96\,489,7 + 9\,648,97 + 4\,824,5 \div \underline{110\,963N} \quad = \underline{110,96kN}$$

Obr.3.15 Střížná operace 8

3.3.8. Operace 9 – obstřih lemu, děrování pod úhlem klínovou jednotkou

1. Kontura kolem dílu je stříhaná na hotovo. (Délka střížné kontury 170mm)
2. Vystřižení otvoru $\phi 6,5 \times 9,5$. (Délka střížné kontury 26,42mm)
3. Vystřižení otvoru $\phi 6$. (Délka střížné kontury 18,92mm)



4. Vystřižení otvoru $\phi 6,5$. (Délka střižné kontury 20,37mm)

• Střižná síla dle (1.14, 1.12):

$$F_{S9} = [2 * (26,42 + 18,92) + 170 + 20,37] * 0,6 * (110 + 0,56 * 340) * 1,3 = \underline{\underline{65\,853,4N}}$$

• Výpočet stírací a vysouvací síly dle (1.16, 1.17):

$$F_{u9} = 0,1 * 65\,853,4 = \underline{\underline{6\,585,34N}}$$

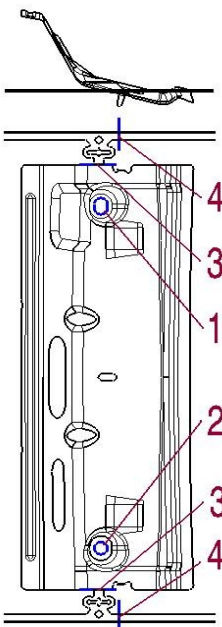
$$F_{v9} = 0,05 * 65\,853,4 * 1 = \underline{\underline{3\,292,7N}}$$

• Celková síla pro operaci 9 dle (3.1):

$$F_{c9} = 65\,853,4 + 6\,585,34 + 3\,292,7 = \underline{\underline{75\,731,44N}}$$

Obr.3.16 Střižná operace 9

3.3.9. Operace 10 – natočení, děrování, separace



• Natočení plechu o úhel potřebný ke srovnání RPS ploch.

• RPS plochy a RPS otvory slouží pro upnutí a ustavení výlisku na kontrolní přípravek, na kterém se kontrolují plošné a tvarové úchytky. RPS otvory se musejí vždy stříhat vůči plechu v kolmém směru.

1. Vystřižení RPS otvoru $\phi 15 \times 20$. (Délka střižné kontury 57,2mm)

2. Vystřižení RPS otvoru $\phi 15$. (Délka střižné kontury 47,2mm)

3. Separace hotového dílu od pásku. (Délka střižné kontury 13,5mm)

4. Rozstřižení pásku. (Délka střižné kontury 12mm)

• Střižná síla dle (1.14, 1.12):

$$F_{S10} = [2 * (12 + 13,5) + 57,2 + 47,2] * 0,6 * (110 + 0,56 * 340) * 1,3 = \underline{\underline{36\,412N}}$$

Obr.3.17 Střižná operace 10

• Výpočet stírací a vysouvací síly dle (1.16, 1.17):

$$F_{u10} = 0,1 * 36\,412 = \underline{\underline{3\,641,2N}}$$

$$F_{v10} = 0,05 * 36\,412 * 1 = \underline{\underline{1\,820,6N}}$$

• Celková síla pro operaci 10 dle (3.1):

$$F_{c10} = 36\,412 + 3\,641,2 + 1\,820,6 = \underline{\underline{41\,873,8N}}$$

3.4. Celkové síly potřebné pro tváření dílu

• Celková střižná síla:

$$F_{SC} = 259\,000,4 + 338\,149,7 + 96\,489,7 + 65\,853,4 + 36\,412 = \underline{\underline{795\,905,2N}}$$

- Celková stírací a vysouvací síla:

$$F_{UVc} = 25\,900 + 12\,950 + 33\,815 + 16\,907,5 + 9\,648,97 + 4\,824,5 + 6\,585,34 + 3\,292,7 + 3\,641,2 + 1\,820,6 = \mathbf{119\,385,8N} = \mathbf{119,4kN}$$

- Celková tažná síla:

$$F_{TC} = 65\,000 + 120\,000 + 300\,000 \text{ (kalibr)} = \mathbf{485\,000N} = \mathbf{485kN}$$

- Celková přidržovací síla:

$$F_{PC} = 80\,000 + 80\,000 = \mathbf{160\,000N} = \mathbf{160kN}$$

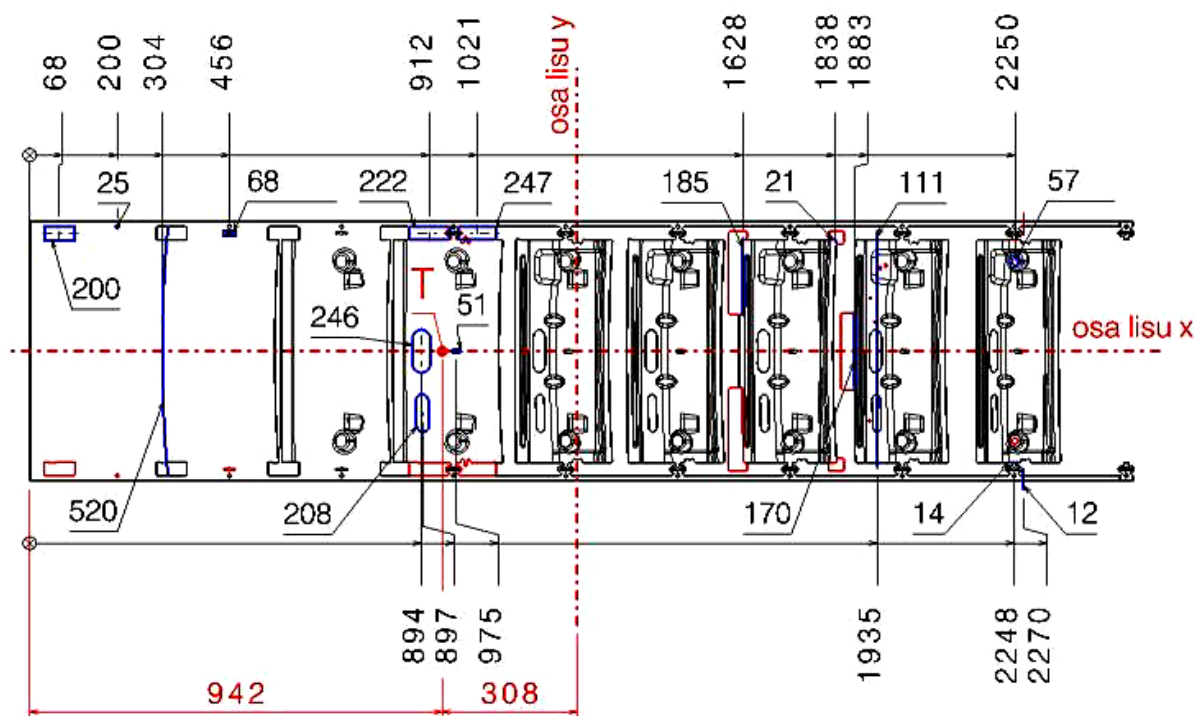
- Celková maximální lisovací síla:

$$F_{lisovací} = 796 + 119,4 + 485 + 160 = \mathbf{1\,560,4kN}$$

Maximální lisovací síla by nastala, kdyby všechny střížné a tvářecí procesy proběhly současně. K tomu ale nikdy nedojde, jelikož tvářecí procesy budou probíhat rovnoměrně v daném zdvihu jednotlivých tažných operací a střížné procesy, respektive střížné operace budou s nůžkovým nebo odstupňovaným stříhem.

3.5. Těžiště střížných a tažných sil

- Výlisek je až na menší rozdíly vůči podélné ose x symetrický. Těžiště se tedy bude nacházet někde na této ose.
- Kvůli složitosti technologického postupu jsou následující výpočty pouze orientační. Počítá se v nich, že všechny střížné a tvářecí procesy proběhnou současně.
- Výpočet těžiště střížných sil v podélné ose x dle (1.24):



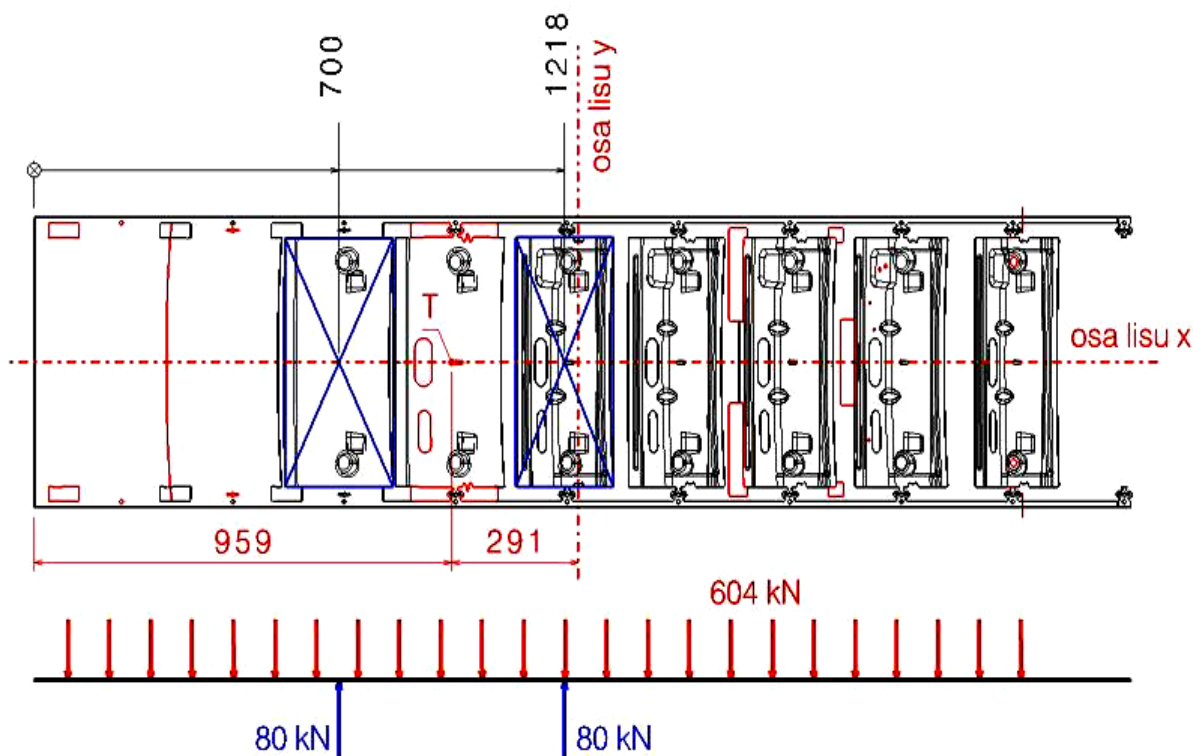
Obr.3.18 Uspořádání a rozměry střížných kontur, těžiště střížných sil

$X =$

$$\begin{aligned}
 &= \frac{68 \cdot 2 \cdot 200 + 200 \cdot 2 \cdot 25 + 304 \cdot 520 + 456 \cdot 2 \cdot 68 + 912 \cdot 2 \cdot 222 + 1021 \cdot 2 \cdot 247 + 894 \cdot 246}{400 + 50 + 520 + 136 + 444 + 494 + 246 + 208 + 51 + 370 + 42 + 170 + 111 + 114 + 27 + 24} \\
 &+ \frac{897 \cdot 208 + 975 \cdot 51 + 1628 \cdot 2 \cdot 185 + 1838 \cdot 2 \cdot 21 + 1883 \cdot 170 + 1935 \cdot 111 + 2250 \cdot 2 \cdot 57}{400 + 50 + 520 + 136 + 444 + 494 + 246 + 208 + 51 + 370 + 42 + 170 + 111 + 114 + 27 + 24} \\
 &+ \frac{2248 \cdot 2 \cdot 13,5 + 2270 \cdot 2 \cdot 12}{400 + 50 + 520 + 136 + 444 + 494 + 246 + 208 + 51 + 370 + 42 + 170 + 111 + 114 + 27 + 24} \\
 &= \frac{3\,208\,950}{3\,407} = \underline{\underline{942\text{mm}}}
 \end{aligned}$$

Na obr.3.18 je naznačené výsledné těžiště střížných sil a je od osy lisu vzdálené 308mm.

- Výpočet těžiště tažných sil v podélné ose x:



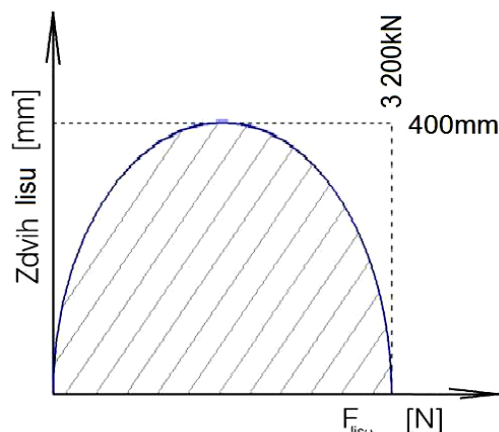
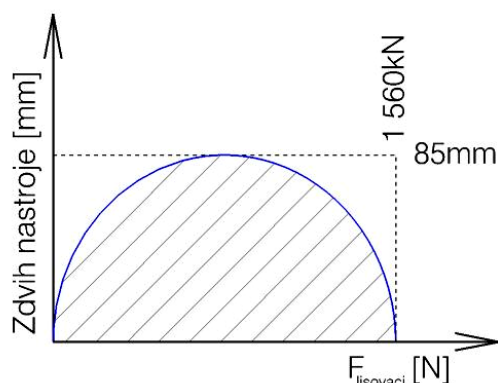
Obr.3.19 Uspořádání tvářecích sil, těžiště tvářecích sil

$$X = 700 + ((1218 - 700)/2) = \underline{\underline{959\text{mm}}}$$

Na obr.3.19 jsou naznačené působící tvářecí síly. Od horní části působí síly stírací, vysouvací a tažné tj. 604kN. Ze spodní části působí síly od přidržovačů, a to 2x 80kN. Síly působící od horní části jsou rovnoměrně rozloženy, proto jsou ve výpočtu zahrnuty pouze síly od spodních přidržovačů. Vzdálenost od osy lisu je 291mm.

Z předešlých výpočtů a obr.3.18, 3.19 by se dalo usoudit, že těžiště střížných sil a těžiště tvářecích sil leží zhruba ve stejné vzdálenosti od osy lisu a síly, které v nich působí, působí proti sobě, a tedy by se mohly vyrovnat. Je třeba brát ohled na to, že takto vypočtené těžiště je pro případ, že všechny střížné a tvářecí procesy probíhají současně.

3.6. Výpočet práce



Obr.3.20 Grafické znázornění potřebné práce Obr.3.21 Grafické znázornění práce lisu

Při výpočtu potřebné práce lisu se vychází z maximální lisovací síly a z pracovního zdvihu obr.3.20, ve kterém se vylisek tváří. Výpočet práce lisu vychází z jeho konstantního zdvihu 400mm (příloha 2) a z povolené 80% síly, kterou lis disponuje, tj. 3 200kN obr.3.21.

- Výpočet potřebné práce pro lisování dle obr.3.20 dle (1.9):

$$k_z = \frac{S_{elipsy}}{S_{obdelniku}} = \frac{(\pi * 85 * 1560000 / 2) / 2}{85 * 1560000} = \underline{0,7854}$$

$$A_{potřebná} = k * F_{lisovací} * h_{85} = 0,7854 * 1560000 * 85 = 104\,144\,040J = \underline{\underline{104,144MJ}}$$

- Výpočet práce lisu obr.3.21 dle (1.9):

$$k_z = \frac{S_{elipsy}}{S_{obdelniku}} = \frac{(\pi * 400 * 3200000 / 2) / 2}{400 * 3200000} = \underline{0,7853}$$

$$A_{lisu} = k_z * F_{lisu} * h_{400} = 0,7853 * 3200000 * 400 = 1\,005\,184\,000J = \underline{\underline{1\,005,183MJ}}$$

Z výpočtů je zřejmé, že lis disponuje dostatečně velkou silou pro lisování daného vylisku. V konstrukčním řešení přibudou ale ještě potřebné plynové pružiny, které lisovací sílu také ovlivní. Zhodnocení těchto sil bude v závěru této práce.

3.7. Výpočet střížné vůle

- Dle nástroje pro „Rám střechy I“ - střížná vůle 5% na stěnu:

$$m = 0,6 * 0,03 = \underline{\underline{0,03mm}}$$

$$v = 2 * m = 2 * 0,03 = \underline{\underline{0,06mm}}$$

- Výpočet střížné vůle dle ČSN 22 6015 (1.18):

- střížná vůle pro $\phi 6mm$:

$$m = 0,01 * 0,6 * 0,32 * \sqrt{156,8} = \underline{\underline{0,024mm}}$$

$$v = 2 * m = 2 * 0,024 = \underline{\underline{0,048mm}}$$

- střížný odpor pro $\phi 6mm$ (1.13):

$$k_s = \frac{F_{s(\phi 6)}}{S_{s(\phi 6)}} = \frac{4\,433,18}{28,27} = \underline{\underline{156,8}}$$

- Při konstrukci nástroje se bude vycházet ze střížné vůle dle „Rámu střechy I“.

4. KONSTRUKCE POSTUPOVÉHO NÁSTROJE

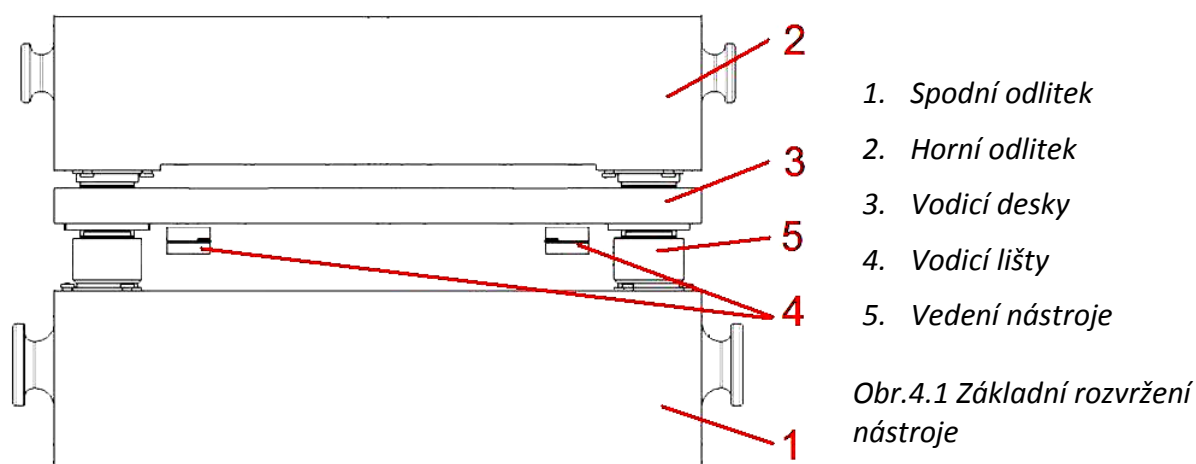
Na začátku konstrukce vycházíme z typů lisů, pro které je nástroj určen. Většinou se určí i náhradní typ lisu, kdyby došlo k výluce lisu hlavního. Tedy nástroj musí být konstruován pro oba typy lisů. Lis hlavní i náhradní bude stejný jako na „Rámu střechy I“ a to excentrický lis KRUPP PDqV 2-400-S. Z technických podkladů určíme směr postupu lisování, maximální půdorysný rozměr nástroje, sevřenou výšku, výšku podávání plechu do nástroje a umístění centrovacích čepů pro ustavení nástroje na lis.

Při konstrukci nástroje musíme zohlednit parametry lisu. Při dimenzování maximální lisovací a přidržovací síly se může využít pouze 80% síly lisu, tedy 3 200kN.

Lisovaný díl musí projít simulací tažení, která se obvykle požaduje. Tato simulace určí potřebné síly pro tvarové přetvoření dílu (síly na přidržovačích a na tažnících). K těmto silám se připočtou střížné, stírací a vysouvací síly a výslednou sílu porovnáme se silou, kterou disponuje lis. Pokud by se zjistilo, že daný lis nevyhovuje, musel by se najít lis disponující dostatečně velkou silou.

Při konstrukci nástroje se musí dodržet zvyklosti výrobních jednotek a zadaných požadavků. Ty obsahují například typy používaných materiálů a jejich tepelné zpracování, používané normativy, tloušťky žeber odlitků, maximální délky střížných nožů, atd.

4.1. Základní konstrukční rozvržení nástroje



- Nástroj bude koncipován dle obrázku 6.1 a bude rozdělen na tři části:
 - **Spodní díl nástroje** - se bude skládat ze spodního odlitku, jehož součástí budou vodicí lišty (ty budou složeny z více segmentů a slouží k dopravování pásu plechu celým nástrojem), dorazy (zajišťují polohu mezi vodicími deskami a spodním dílem), pracovní části operací (střížné matrice, tažníky, spodní kalibr...), skluzy (zajišťují odvod odpadu), kontrolní čidlo (při automatickém chodu nástroje hlídá, zdali byl plech posunut o nastavený krok), vodicí pouzdra s kuličkovým vedením atd.
 - **Vodicí desky** – se budou z důvodu velikosti nástroje (délka 2 600mm) skládat ze dvou částí. Jejich součástí budou pracovní části operací (přidržovače, stěrače...), hledáčky (zajišťují správnou polohu výlisku), vodicí sloupky (na každé desce čtyři sloupky – jeden z nich vždy vyosený cca o 10mm, aby nemohlo dojít při sestavování nástroje k záměně nebo otočení), atd.

- **Horní díl nástroje** - se bude skládat z horního odlitku, jehož součástí budou pracovní části operací (střížníky, tažníky...), dorazy (zajišťují polohu mezi vodícími deskami a horním dílem), vodící pouzdra s kuličkovým vedením. Součástí horního dílu budou také vodící desky, které budou plnit funkci přidržovačů a stěračů. Sílu, která bude potřebná pro přidržovače a stěrače, zajistí plynové pružiny rozmístěné na horním odlitku. Zdvih mezi horním dílem a vodícími deskami nám zabezpečí omezovací šrouby.

4.2. Stanovení zákl. technických a technologických podmínek pro konstrukci

- Střížné a děrovací operace:
 - Dlouhé střížné nože musí být rozdělené do segmentů. Přitom se nesmí překročit maximální délka 300mm na segment. U složitých tvarů je třeba počítat s více segmenty.
 - Materiál pro střížné nože je 1.2379 (ocel 19 573) a musí být zakalen (horní nože 61+2HRc a spodní nože 63-2HRc). Střížné vložky z válcované oceli budou celé zakalené. Pokud bude tvar složitý a bude výhodnější tyto nože odlít, použije se materiál 1.2363, který se vytvrzuje induktivně, případně laserem.
 - Pro malé a tvarové otvory je potřebné konstruovat střížná pouzdra, která budou zajištěna proti vytáhnutí a pootočení.
 - Přednostně používat normované střížníky a střížná pouzdra. Od průměru 6mm musí mít každý střížník odlepovák. Je nutné také vytipovat náhradní díly.
 - Při konstrukci střížných operací důkladně prověřit odvádění odpadů. Výstřižky jsou různých tvarů a velikostí a nikdy nesmí docházet k jejich zachycování uvnitř nástroje. Odpadové žlaby budou z výstupkového plechu 1.4301. Odvádění odpadu plechu musí být konstruované a zhotovené až po hranu stolu lisu. V případě přesahu musí být konstruované jako sklápěcí.
- Tažné operace:
 - Tažné nástroje zhotovit podle možnosti z jedné tažnice.
 - Pro lepší naladění tvaru počítat s podložkami.
 - Materiál pro tažné vložky je 1.2343 (ocel 19 552), který je kalen na 56+2HRc.
 - Tažné vložky budou povlakovány TICN. Povlak bude nanesen až po výrobě určitého počtu dílů.
- Přidržovací a stírací vložky:
 - Přidržování materiálu u tahového nástroje musí být zajištěno přes distanční podložky.
 - Materiál pro přidržovače je 1.2312 (ocel 19 520). Tento materiál je zušlechťený na tvrdost cca 35HRc.
 - Přidržovač, stěrač a podobné vyrobí zásadně v provedení s vodícími sloupky.
- Klínové nástroje:
 - Klínové nástroje jsou přípustné jen tehdy, když není jiné možné konstrukční řešení.
 - Při používání klínů se musí konstruovat dostatečně velké kluzné plochy.
 - Vedení klínu nesmí být zásadně v přidržovači.

- Pro hnací plochy používat prismatické vedení.
- Ostatní:
 - Zajištění šroubů v horní části nástroje – samopojišťovací závity Self-Lock.
 - Zajištění kolíků v horní části nástroje – zajišťovací cvočky Spring-Plug.
 - Plynové pružiny přidržovačů vybavit společnou armaturou pro kontrolu tlaku.
 - Přenášecí prvky nástroje – vložky těžší než 10kg vybavit přenášecími závity pro přenášecí oka. U odlitků použít nálitkové přenášecí čepy.
 - Při konstrukci vložek dbát na to, aby nemohlo dojít k záměně vložek nebo jejich otočení.
- Materiály pro konstrukci:

tab.4.1

Díly použité v nástroji	Ocel dle ČSN	DIN	EN	DIN W.-Nr.	Kalení	Povlakování
Spodní a horní odlitek	(42 2425)	GG 25	GJL - 350	0.6025	-	-
Kotevní desky, držáky razníků	12 050	C 45		1.0503	-	-
Vodicí desky, vodicí lišty, ostatní armatury	11 523	St 52 - 3		1.0570	-	-
Stěrače, přidržovače	19 520	40CrMnMo7		1.2312	Materiál již zušlechtěn na 35HRc	TICN
Tvarové aktivní díly	19 552	X38CrMoV5-1	X37CrMoV5-1	1.2343	56+2HRc	TICN
Střižné aktivní díly	19 573	X155CrVMo12 1		1.2379	Střižné nože 61+2HRc Střižné matrice 61-2HRc	TICN
Podložky, dorazy, pera, hledáčky	19 313	90MnCrV8		1.2842	58+2HRc	-
Skluzy	17 240	X5CrNi18 9		1.4301	-	-

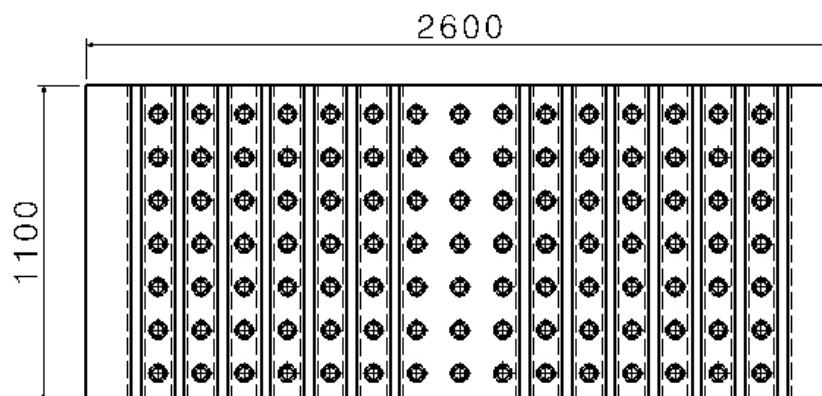
- Nakupované díly, které výrobce obvykle nakupuje:

tab.4.2

Vodicí pouzdra, vodicí sloupky, příchytka	SANKYO, STEINEL, FIBRO
Plynové pružiny, armatura k plynovým pružinám	SPECIAL SPRING, FIBRO
Distanční šrouby	SANKYO, FIBRO
Střižníky, kotevní desky, podložky kotevních desek, střižné matrice	DAYTON, FIBRO
Kluzné desky	SANKYO, FIBRO
Dorazy	SANKYO
Šrouby	ISO 4762
Kolíky	ISO 8735
Spring plug	SANKYO

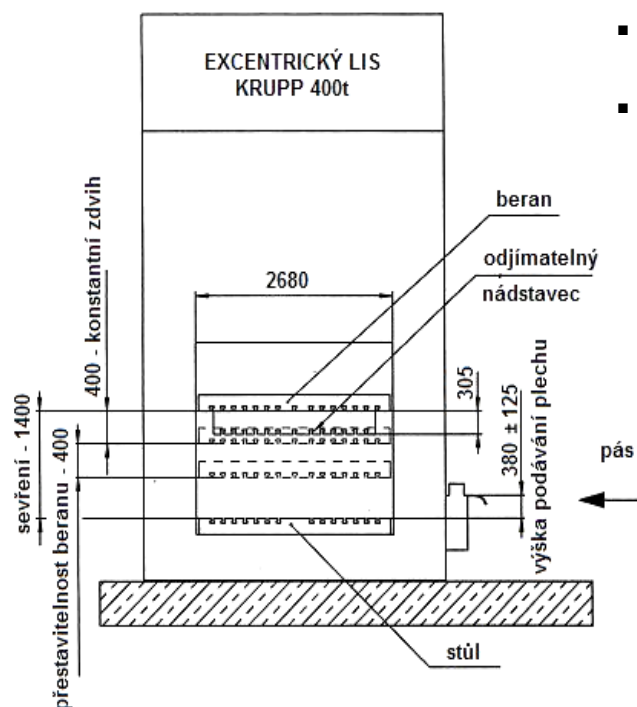
4.3. Stanovení základních parametrů

- Maximální půdorysný rozměr nástroje = rozměr stolu lisu 2600x1100mm



Obr.4.2 Půdorysný pohled na spodní odlitek umístěný na stole lisu

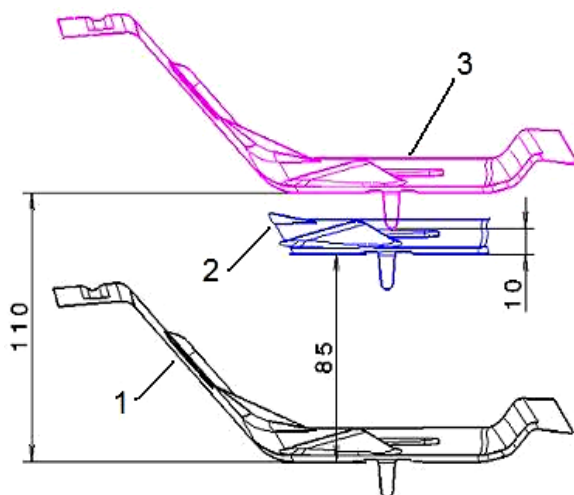
- Výška podávání plechu do nástroje:



- Výškové rozmezí podávání plechu je 255 až 505mm (obr.4.3).
- Lis nedisponuje propadovými šachtami pro odvod odpadu a není ho možné svést do boku nástroje, proto se v nástroji použijí tři šuplíky, do kterých odpad bude sveden pomocí skluzů. Skluzy by neměly mít úhel menší než 27°, aby nedocházelo k zasekávání odpadu v nástroji. Aby byl dostatek místa pro šuplíky a skluzy, měla by být výška podávání (na ní závislá výška pracovní a podávací) co nejvyšší.

Obr.4.3 Lis KRUPP 400t – výška podávání plechu, přestavitelnost beranu, konstantní zdvih beranu

- Při stanovení této výšky vyjdeme z ověřené výšky podávání plechu, který je použit na nástroji „Rám střechy I“. Výška podávání pásu je tedy stanovena na **445mm**.
- Zdvih vodicích lišt - pracovní výška a dopravní výška:
 - Vodicí lišty slouží pro posuv pásu v nástroji. Dopravní výška lišt musí být taková, aby nedošlo při posouvání plechu, respektive výlisků, ke kolizi s tvarovými nebo jinými díly umístěnými na spodní části nástroje.
 - Nejvyšší předpokládané místo je v šesté operaci, kde vychází nejméně místa mezi dopravovaným plechem a spodním přidržovačem.

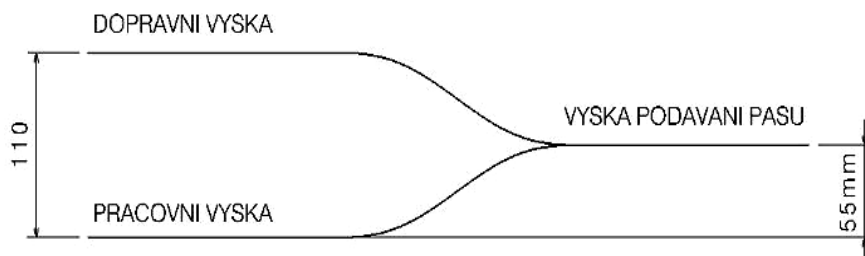


- Zdvih vodicích lišt nám tedy určí zdvih spodního přidržovače 85mm + 10mm bezpečnostní mezera. Tj. **110mm** obr.4.4.

1. Plech v pracovní výšce
2. Výška spodního přidržovače
3. Plech v dopravní výšce

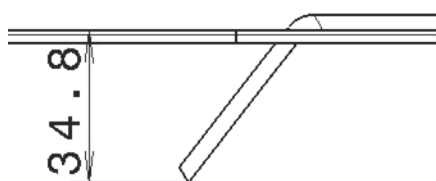
Obr.4.4 Šestá operace

- Ze zdvihu vodicích lišt a výšky podávání pásu se určí výška pracovní a výška dopravní obr.4.5.



Obr.4.5 Symetrické rozdělení zdvihu vodicích lišt vůči výšce podávání pásu plechu

- Výška pracovní je **390mm**.
- Výška dopravní je **500mm**.
- Sevřená výška nástroje:
 - Horní poloha beranu je 1 400mm, konstantní zdvih beranu je 400mm a přestavitelnost beranu je 400mm obr.4.3. Rozmezí sevřené výšky je 600 - 1000mm.
 - Sevření nástroje zůstane stejné jako u nástroje „Rám střechy I“ a tedy 770mm. A to i z důvodu, aby se při výměně nástrojů nemusela přestavovat sevřená výška lisu.
 - Sevřená výška je **770mm**.
- Výška zdvihu vodicích desek vůči hornímu dílu:
 - Zdvih vodicích desek vůči hornímu dílu musí být takový, aby střižné nože umístěné na horním díle byly zajeté ve stěračích umístěných na vodicích deskách, nebo aby tažné vložky umístěné na horním díle byly zajeté vůči přidržovačům umístěných na vodicích deskách.



Obr.4.6 Operace 4 - lemování

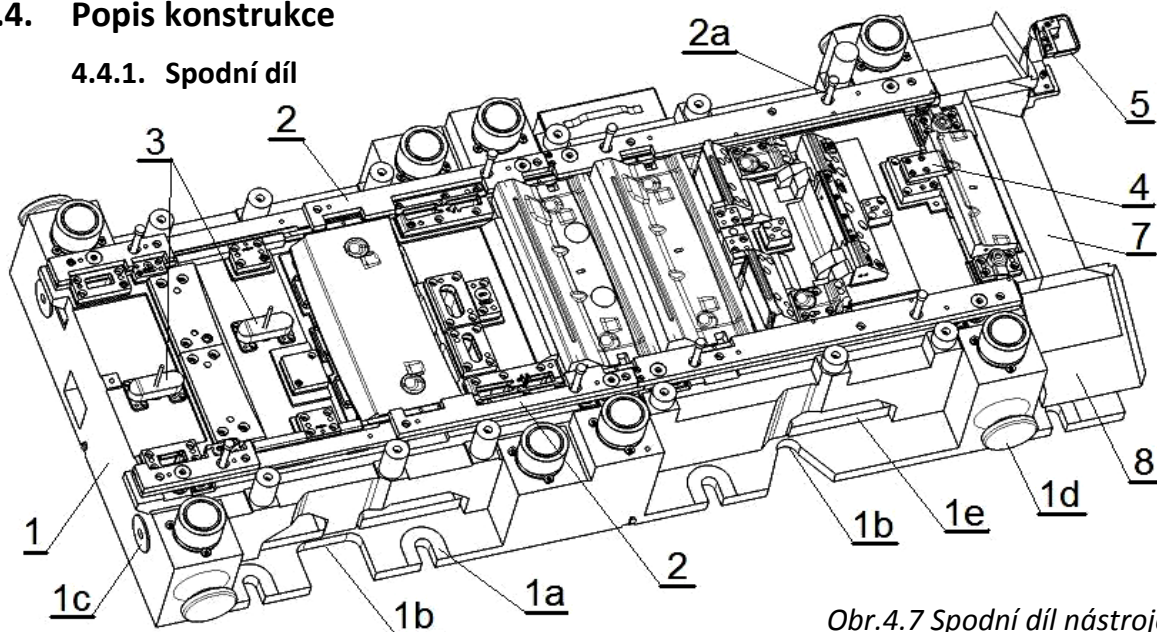
- Nejvyšší výškový rozdíl je ve čtvrté operaci, kde se plech lemuje (obr.6.6). Zdvih tažníku vůči přidržovači bude 35mm + 5mm bezpečnostní mezera.
- Výška zdvihu vodicích desek vůči hornímu dílu je **40mm**.

- Celkový zdvih nástroje:
 - Zdvih nástroje se skládá ze zdvihu vodicích lišt (110mm), zdvihu vodicích desek vůči hornímu dílu (40mm), z výšky výlisku (cca 73mm) a z bezpečnostních mezer, aby nedošlo ke kolizi výlisku s nástrojem.
 - Zdvih lisu KRUPP je konstantní **400mm** a je dostačující.
- Resumé základních parametrů pro konstrukci postupového nástroje:

▪ Délka nástroje	2 600mm
▪ Šířka nástroje	1 100mm
▪ Sevřená výška nástroje	770mm
▪ Výška podávání pásu	445mm
▪ Pracovní výška nástroje	390mm
▪ Dopravní výška nástroje	500mm
▪ Zdvih vodicích lišt	110mm
▪ Zdvih vodicích desek vůči hornímu dílu	40mm
▪ Posuv pásu (krok)	256mm

4.4. Popis konstrukce

4.4.1. Spodní díl



Obr. 4.7 Spodní díl nástroje

Spodní odlitek 1 obr.4.7 - drážky pro upnutí nástroje na lis (1a), centrování nástroje na lis (1b), závity M24 pro přenášečí oka (1c), přenášečí nálitky (1d), otvory pro šuplíky na odpad (1e).

Vodicí lišty 2 obr.4.7 - pro vedení plechu nástrojem. Sloupkové vedení, plynové pružiny, omezovací šrouby (2a), mezi nimi a spodním odlitkem dorazy.

Přívědávací lišty 3 obr.4.7 - v prvních třech operacích není plech zpevněn, proto musí být podepřen. Vedení a omezení zdvihu přesnými šrouby, plynové pružiny.

Pomocné vyhazování 4 obr.4.7 - v poslední operaci z důvodu malého úhlu pro sklouznutí výlisku z nástroje. Zvedání vinutou pružinou.

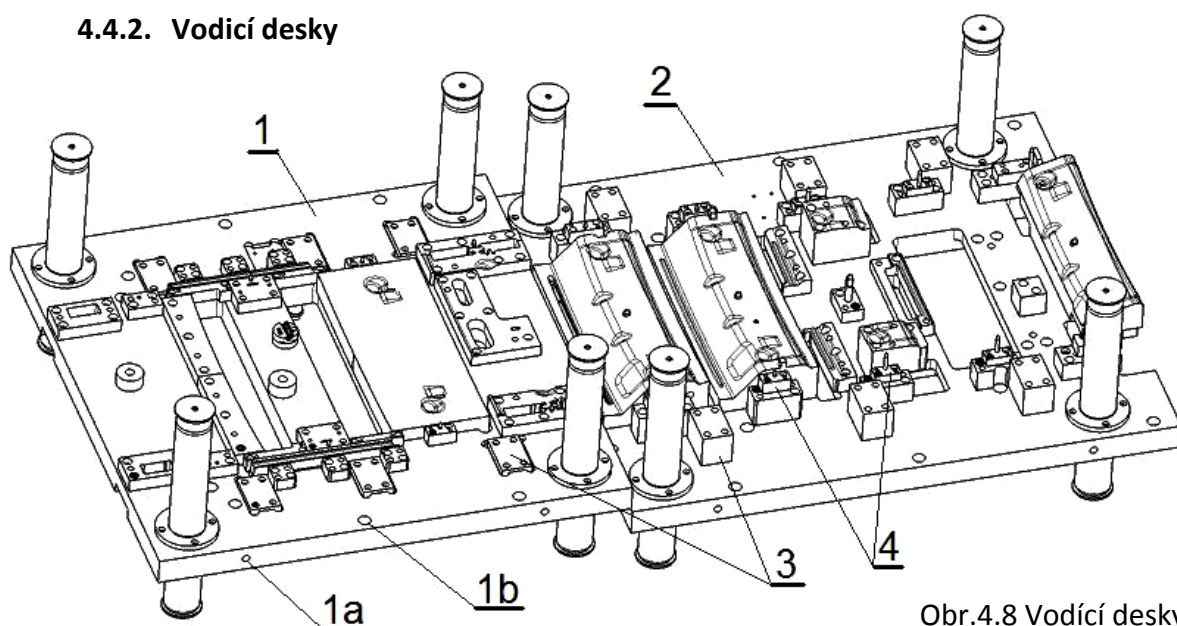
Koncové čidlo 5 obr.4.7 - hlídá posouvání pásu plechu nástrojem (krok).

Dorazy 6 obr.4.7 - zajišťují polohu mezi vodicími deskami a spodním odlitkem.

Skluz 7 obr.4.7 - pro odvod plechu z nástroje.

Skluz 8 obr.4.7 - pro odvod odstřižených dopravních pásků z nástroje

4.4.2. Vodicí desky



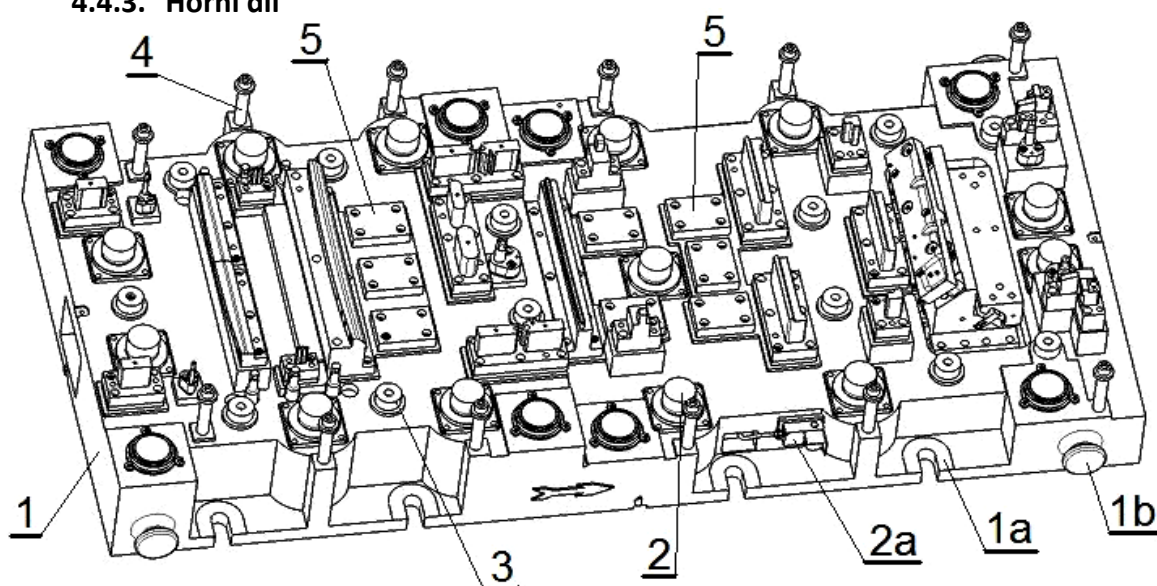
Obr.4.8 Vodicí desky

Vodicí deska 1 a 2 obr.4.8 – z důvodu velikosti nástroje a tvarových výškových rozdílů jsou vodicí desky ze dvou částí a ve dvou výškových rovinách. Závity M24 pro přenášení oka (1a), otvory pro omezovací šrouby, přes které jsou vodicí desky připojeny k hornímu dílu (1b).

Dorazové desky 3 obr.4.8 – přes ně se zatlačují vodicí lišty na spodním díle.

Kotevky s hledáčky 4 obr.4.8 – pro středění plechu v jednotlivých operacích.

4.4.3. Horní díl



Obr.4.9 Horní díl

Horní odlitek 1 obr.4.9 - drážky pro upnutí nástroje na lis (1a), přenášení nálitky (1b).

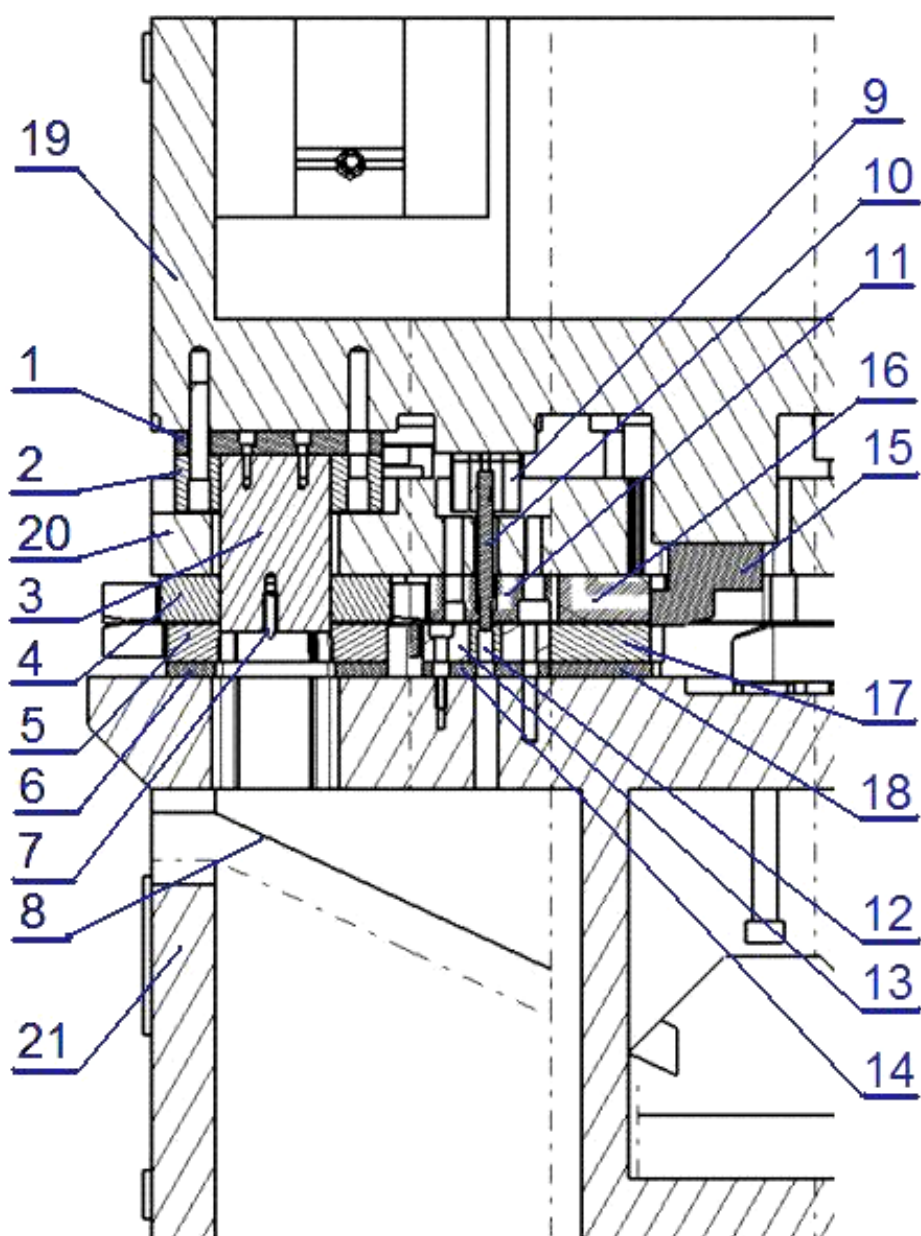
Plynové pružiny 2 obr.4.9 – zajišťují potřebnou sílu mezi horním dílem a vodicími deskami (potřebná přidržovací, stírací a tažná síla). Všechny tyto plynové pružiny jsou propojeny a svedeny do kontrolního budíku (2a).

Dorazy 3 obr.4.9 - zajišťují polohu mezi vodicími deskami a horním dílem.

Omezovací šrouby 4 obr.4.9 – zajišťují zdvih vodicích desek vůči hornímu dílu.

Dorazové desky 5 obr.4.9 – jsou umístěny pod tažnou operací a pod kalibrační operací a zabezpečují dosednutí přes vodicí desky na tvrdo.

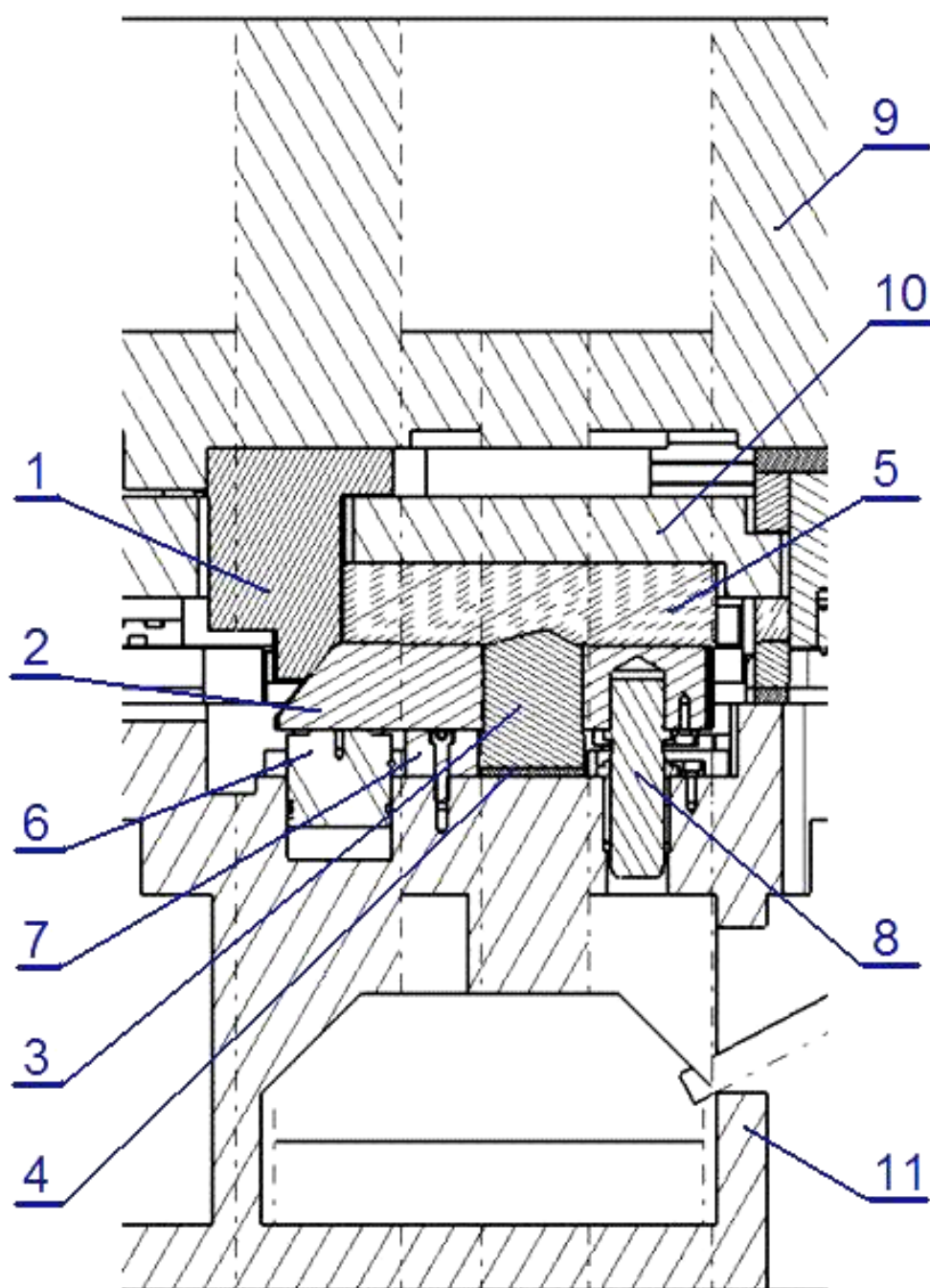
4.4.4. Řez operacemi 1 - 3



Obr.4.10 Řez operacemi 1-3 (Měřítko 1:5)

- | | |
|-----------------------------|---|
| 1. podložka střižníku | 12. střižná matrice |
| 2. kotevka střižníku | 13. kotevka střižné matrice |
| 3. střižník | 14. podložka střižné matrice a kotevky |
| 4. stěrač | 15. nástřihový nůž horní |
| 5. střižná matrice | 16. stěrač |
| 6. podložka střižné matrice | 17. nástřihový nůž spodní |
| 7. odlepovák | 18. podložka spodního nástřihového nože |
| 8. skluz | 19. horní odlitek |
| 9. kotevka střižníku | 20. vodicí deska |
| 10. střižník | 21. spodní odlitek |
| 11. stěrač | |

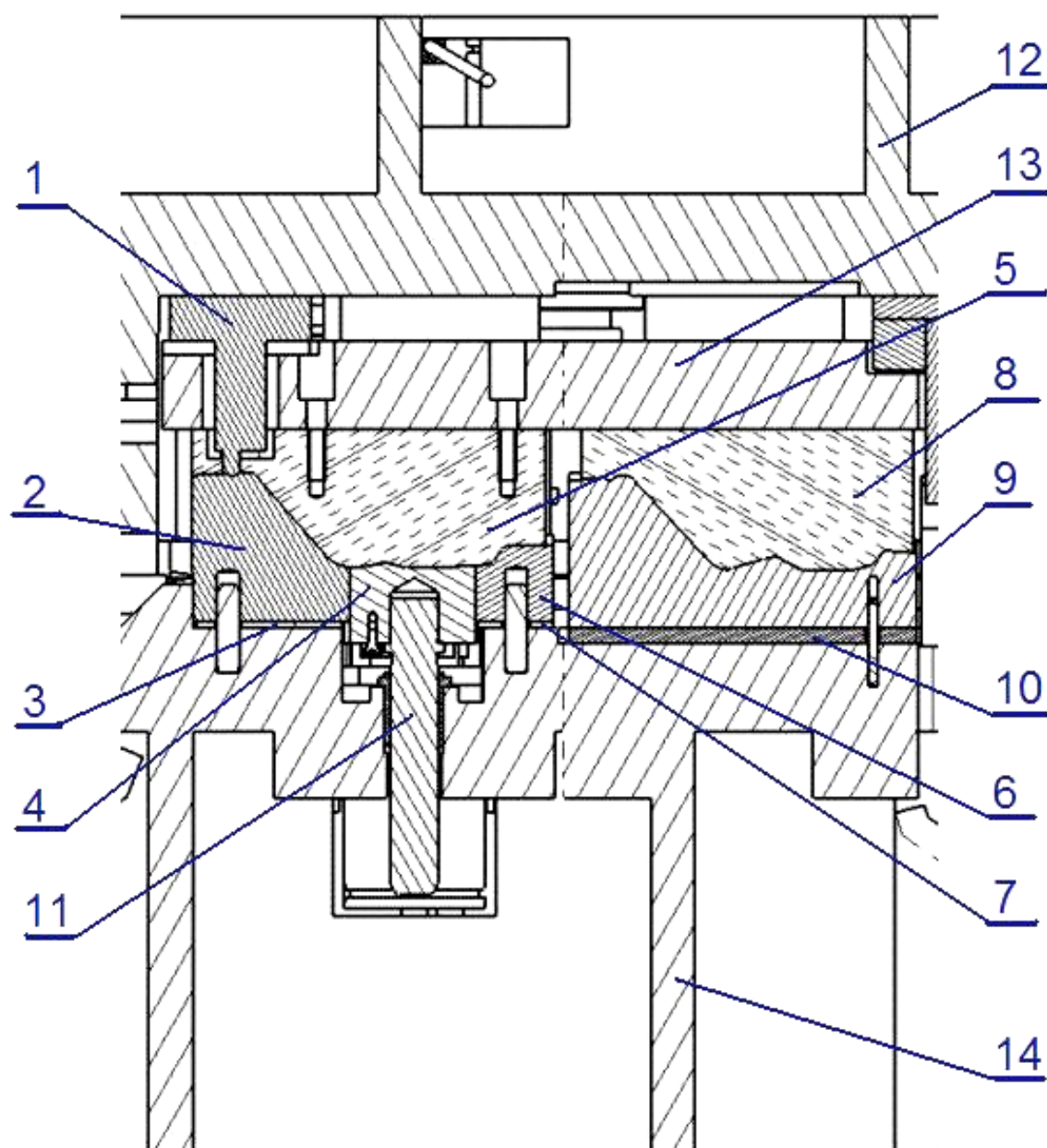
4.4.5. Řez operací 4



Obr.4.11 Řez operací 4 (Měřítko 1:5)

- | | |
|----------------------|---------------------|
| 1. ohýbník | 7. doraz |
| 2. spodní přidržovač | 8. sloupkové vedení |
| 3. tažník | 9. horní odlitek |
| 4. podložka tažníku | 10. vodicí deska |
| 5. horní přidržovač | 11. spodní odlitek |
| 6. plynová pružina | |

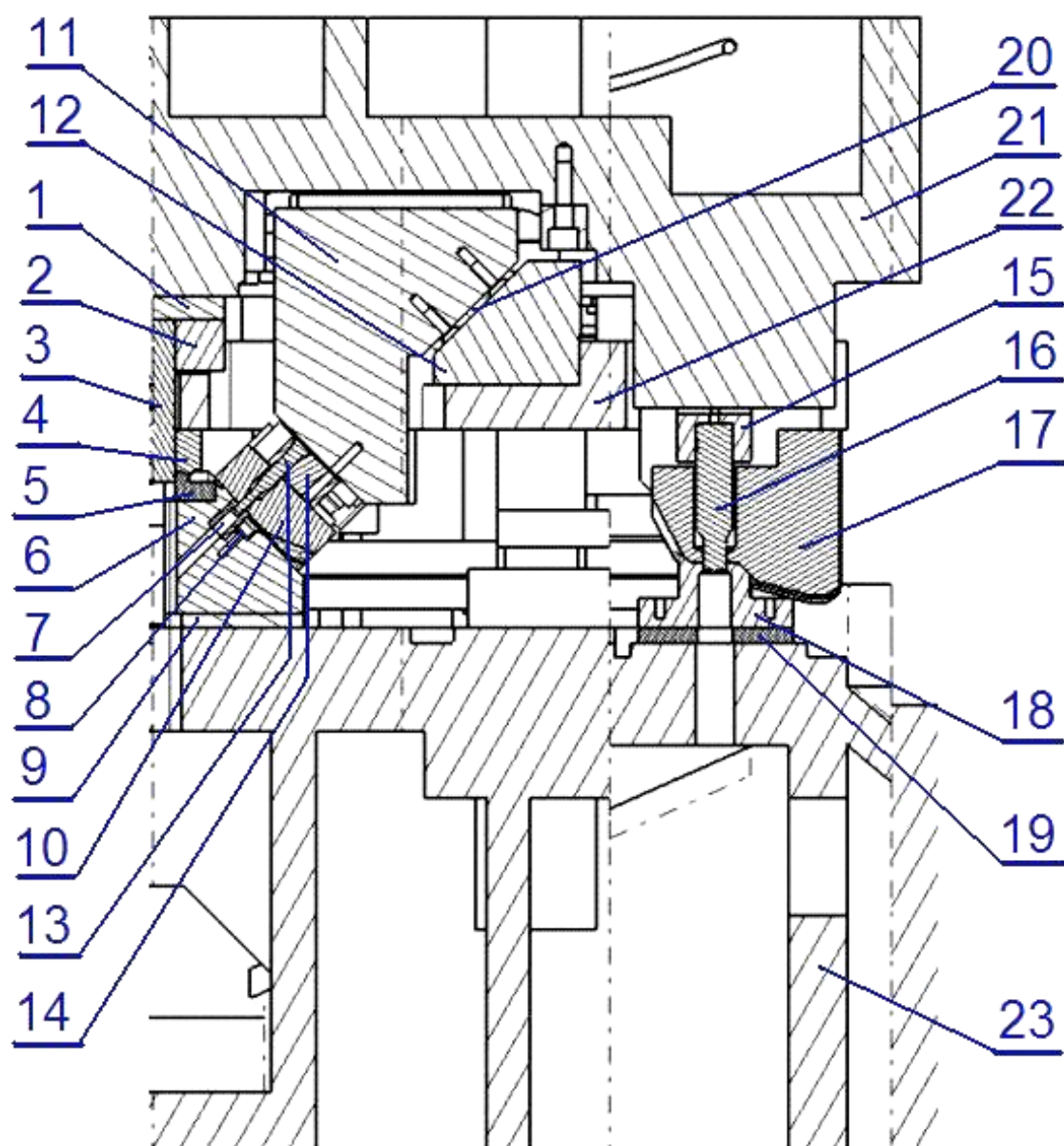
4.4.6. Řez operacemi 6, 7



Obr.4.12 Řez operacemi 6,7 (Měřítko 1:5)

- | | |
|------------------------------|-------------------------------|
| 1. horní tažník | 8. horní kalibr |
| 2. spodní tažník | 9. spodní kalibr |
| 3. podložka spodního tažníku | 10. podložka spodního kalibru |
| 4. spodní přidržovač | 11. sloupkové vedení |
| 5. horní tažník | 12. horní odlitek |
| 6. spodní tažník | 13. vodicí deska |
| 7. podložka spodního tažníku | 14. spodní odlitek |

4.4.7. Řez operacemi 9, 10



Obr.4.13 Řez operacemi 9,10 (Měřítko 1:5)

- | | |
|-----------------------------|------------------------------|
| 1. podložka střižníku | 13. střižník |
| 2. kotevka střižníku | 14. kotevka střižníku |
| 3. střižník | 15. kotevka střižníku |
| 4. stěrač | 16. střižník |
| 5. střižná vložka | 17. přidržovač - stěrač |
| 6. kotevka | 18. střižná matrice |
| 7. střižná matrice | 19. podložka střižné matrice |
| 8. příložka střižné matrice | 20. kluzná deska |
| 9. podložka kotevky | 21. horní odlitek |
| 10. přidržovač | 22. vodicí deska |
| 11. klín | 23. spodní odlitek |
| 12. hnací klín | |

4.5. Stanovení rozměrů střížníků a střížnic

- Rozměry pracovních částí střížníků a střížnic musí odpovídat rozměrům uvedených na výkrese s příslušnými výrobními tolerancemi.

- Stanovení rozměru střížníku pro otvor $\phi 6\text{mm}$ s tolerancí polohy $^{+0,1}$ dle (1.26):

$$d_k = 6 + 0,8 * 0,1 = \underline{\underline{6,08\text{mm}}}$$

- Stanovení rozměru střížnice pro střížník $\phi 6,08\text{mm}$:

$$D_k = d_k + v = 6,08 + 0,06 = \underline{\underline{6,14\text{mm}}}$$

4.6. Stanovení náhradních dílů

- Při chodu nástroje dochází k opotřebovávání aktivních dílů, převážně trpí střížné matrice a střížníky menších průměrů. Stanovení náhradních dílů může vypadat takto:

- Střížníky:

	do $\phi 6\text{mm}$	5ks
od $\phi 6\text{mm}$	do $\phi 10\text{mm}$	3ks
od $\phi 10\text{mm}$	do $\phi 12\text{mm}$	2ks
nad $\phi 12\text{mm}$		1ks
- Střížné matrice:

	do $\phi 6\text{mm}$	5ks
od $\phi 6\text{mm}$	do $\phi 10\text{mm}$	3ks
od $\phi 10\text{mm}$	do $\phi 12\text{mm}$	2ks
nad $\phi 12\text{mm}$		1ks

4.7. Kontrolní pevnostní výpočty střížníků

- Při kontrole střížníků na vzpěr záleží na jejich délkách. Tenké a dlouhé střížníky mohou při stříhu vybočit z osy.

- Výpočet kritické délky nejtenčího střížníku $\phi 6\text{mm}$ dle (1.22):

$$l_k = \sqrt{\frac{2 * \pi^2 * E * 0,05 * d^4}{\mu * F_S}} = \sqrt{\frac{2 * \pi^2 * 2,15 * 10^5 * 0,05 * 6^4}{2 * 4433,18}} = \underline{\underline{176,12\text{mm}}}$$

- Délka střížníku $\phi 6\text{mm}$ je 63mm a vyhovuje.

4.8. Postup při lisování

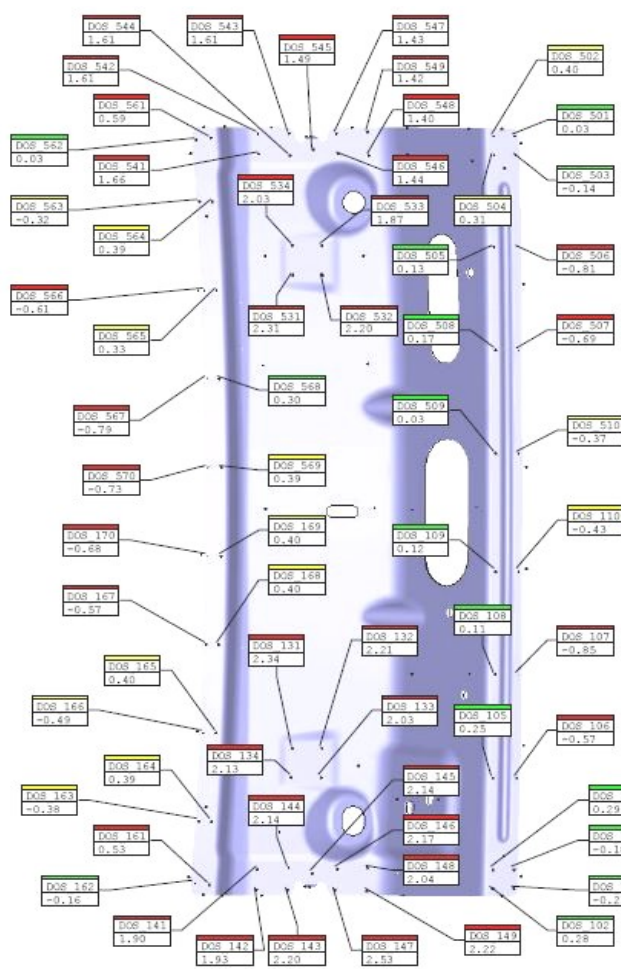
Zavádění plechu do nástroje se provádí ručně. Nejprve se plech zavede do vodicích lišt, a to v celé délce nástroje. Musí se srovnat směr podávání pásu, případně celý nástroj, aby nedocházelo k zasekávání pásu plechu ve vodicích lištách. Vyrovaný plech se zajistí válci, mezi kterými je umístěn a které slouží pro automatický krokový posuv. Po vycentrování a zajištění se s plechem najede na načínací rysky, které jsou vyfrézovány na vodicích lištách. Po prvním zdvihu lisu se vystřihnou otvory pro hledáčky, na které se v následujících operacích střídá. Od šesté operace pomáháme střídit na oválnou díru obr.3.12 – 4. Dokud neprojde celý pás nástrojem, musí se plech po každém kroku zkontrolovat. Až bude celý pás zavedený, začne jeho krokový posuv hlídat dotykové čidlo, umístěné na konci nástroje.

5. KOREKCE NÁSTROJE

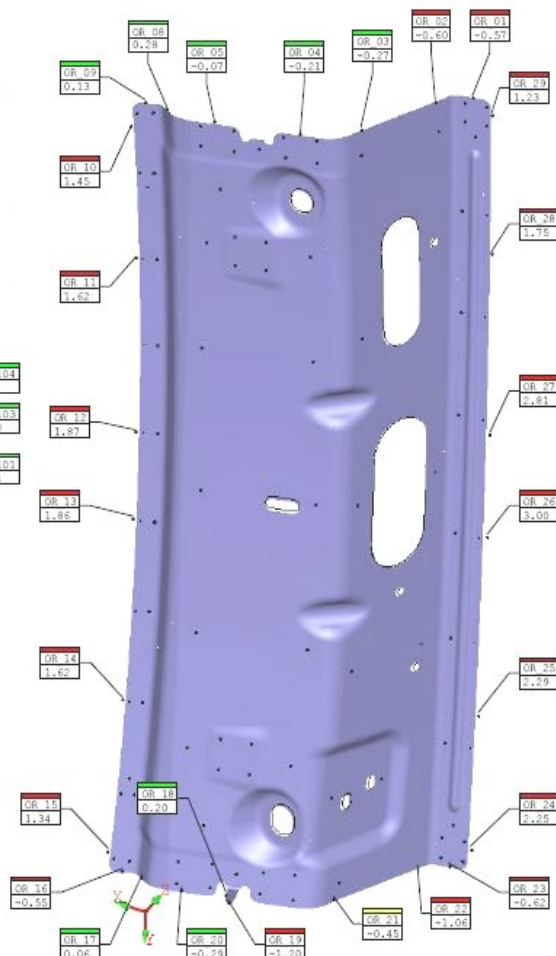
Po výrobě nástroje a jeho funkčním sladěním se odlišuje první řada výlisků. Ty jsou proměřené na kontrolním přípravku, který je speciálně vyroben pro tento výlisek. Měří se tvarové úchyly, poloha otvorů, rozměr otvorů a úchyly kontur. Hodnoty povolených úchylek jsou na výkrese dílu. Výlisek je na přípravek umístěn na RPS plochy a vycentrován na RPS otvory, ty jsou pro výlisek výchozí.

Nejprve se odladí tvarové úchyly a následně polohy otvorů a kontury. Při korekci se vychází vždy z více naměřených protokolů a počítá se s průměrnými hodnotami úchylek.

Obr.5.1 a obr.5.2 ukazuje, jak může měřicí protokol vypadat. Zelené hodnoty ukazují body, které v dané toleranci vyhovují, žluté hodnoty jsou hraniční a červené hodnoty jsou nevyhovující.



Obr.5.1 Měřicí protokol - dosedací plochy



Obr.5.1 Měřicí protokol - ořez

6. TECHNICKÉ A EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ

Pokud se porovná nástroj pro výrobu dílu „Rám střechy II“ s nástrojem pro výrobu typově staršího dílu „Rám střechy I“, vyjde nástroj „Rám střechy II“ jako technicky náročnější a finančně nákladnější. Je třeba ale zdůraznit, že cílem nebylo navrhnout nástroj, který by byl pro výrobu finančně méně nákladný, ale navrhnout nástroj, který bude vyrábět technicky náročnější díl a ve kterém budou zapracovány nedostatky z předchozího nástroje.

Díl „Rám střechy II“ je technicky náročnější kvůli otvorům, respektive jejich tolerancím, které se musejí stříhat až po tvarových operacích, a to pod úhlem klínovou jednotkou. Aby se tato klínová jednotka rozměrově vměstnala mezi pracovní operace, musel se výlisek do nástroje ustavit v jiné poloze, než tomu bylo v nástroji pro díl „Rám střechy I“. Změna polohy znamenala, že první dvě tahové operace se musely řešit se spodním přidržením, zatímco v nástroji „Rám střechy I“ se využívalo přidržení jen přes vodící desky. Dále je díl „Rám střechy II“ složitější o prolis, který se nachází blízko konturu dílu. To má za následek, že obstřih této kontury se musí řešit až po tvarových operacích. Obstřih kontury se tedy provádí ve více operacích, než tomu je u nástroje „Rám střechy I“.

Z konstrukčního návrhu nástroje můžeme ekonomicky zhodnotit, o kolik je použito v nástroji více hutního materiálu a nakupovaných normalizovaných dílů, než tomu bylo u nástroje „Rámu střechy I“. Stanovení skutečných nákladů potřebných pro výrobu nástroje už tak jednoduché není, neboť zahrnují kromě finančních nákladů na materiál i finanční náklady na mzdy a ostatní náklady (práce strojů, administrativní náklady, atd.)

Pro porovnání finančních nákladů vynaložených na výrobu nástroje vyjdeme z operací, které jsou finančně nákladnější. Použití hutního materiálu je téměř podobné, proto se zaměříme pouze na nakupované normalizované díly:

Finančně nákladnější operace:

- Operace 4:

- 4x sloupkové vedení D32	4 500 Kč
- 6x plynová pružina 15kN (s příložkami)	44 350 Kč
- 6x omezovací šrouby M12	2 800 Kč
- Operace 6:

- 2x sloupkové vedení D32	2 700 Kč
- 2x plynová pružina 42kN (s příložkami)	28 000 Kč
- 3x omezovací šroub M12	1 500 Kč
- Operace 9 – klínová jednotka:

- 1x přidržovač	Kč
- 1x klín	Kč
- 1x unášecí klín	Kč
- 3x sloupkové vedení D25	3 500 Kč
- 2x plynová pružina 4kN	10 300 Kč
- 2x plynová pružina 1,5kN	4 000 Kč
- 9x kluzné vedení	6 000 Kč
- Celkem více nákladů na normalizovaných dílech: **107 650 Kč**

7. ZÁVĚRY

Cílem diplomové práce byla výroba součásti rámu střechy automobilu plošným tvářením. Díl byl zadán ve 3D datech a doplněn výkresem (příloha 3) s patřičnými tolerancemi tvaru, kontury a polohy otvorů.

Technologický postup výroby jsem sestavil v několika fázích. První fáze zahrnovala rozvin dílu do roviny a stanovení rozměru přístřihu. V druhé fázi se rozvrhlo umístění přístřihu na pásu plechu a stanovila se jeho šířka. Ve třetí fázi se určila vzdálenost mezi přístřihy neboli krok. Ve čtvrté fázi se stanovil počet operací, který se určil z délky kroku a z délky stolu lisu, na němž se bude daný díl vyrábět. V páté fázi se v daném počtu operací rozvrhly jednotlivé technologické postupy (příloha 4).

Po sestavení technologického postupu jsem provedl potřebné silové výpočty v jednotlivých operacích. U tažných operací byly hodnoty stanoveny simulací. Součtem těchto tvářecích sil se vypočítala potřebná lisovací síla 1 560kN. Z lisovací síly a ze zdvihu 85mm ve kterém je plech tvářen, se vypočítala potřebná práce pro lisování 104MJ. Ta se porovnávala s prací, kterou disponuje lis 1 005MJ a stanovilo se, že lis disponuje dostatečně velkou silou pro lisování tohoto dílu.

Z tažných, přidržovacích, stíracích a vysouvacích sil se v konstrukci nástroje vycházelo při výběru velikosti plynových pružin a jejich rozmístění. Volba sil velikosti plynových pružin je velmi důležitá kvůli zatížení lisu. Při jejich stlačení požadovaná síla může vzrůst až o polovinu. Proto byly plynové pružiny, které jsou umístěny mezi vodícími deskami a horním dílem, propojeny do okruhu a svedeny do kontrolního budíku, kde se může tlak v plynových pružinách regulovat. Při ladění nástroje se tak nastaví síla, která bude dostačující pro lisování a nebude nadměrně zatěžovat lis. Plynové pružiny umístěné pod spodními přidržovači propojeny nejsou, jelikož jejich síly nejsou tak velké.

Při konstrukci postupového nástroje se vycházelo z typu lisu (příloha 1), pro který je nástroj určen. Z jeho technické dokumentace se stanovily půdorysné rozměry nástroje, výška podávání plechu do nástroje, sevřená výška nástroje, ale také poloha centrování nástroje a poloha upínacích drážek. Z výšky podávání pásu a ze zdvihu vodících lišt se stanovila pracovní výška a dopravní výška. Zdvih vodících lišt je výška mezi pracovní a dopravní výškou a určuje průchodnost plechu nástrojem.

Samotný nástroj se skládá ze třech částí (příloha 9, 10, 11), a to ze spodního dílu, horního dílu a vodících desek, na nichž jsou patřičné tvářecí vložky. Pro centrování plechu v nástroji slouží hledáčky, které středí na otvory umístěné na dopravních páscích. Nástroj obsahuje také klínovou jednotku pro stříhání otvorů pod úhlem. Klínová jednotka je umístěna na horním díle nástroje a je poháněna hnacím klínem, který je z důvodu nedostatku místa na spodním díle, nestandardně umístěn na vodících deskách (obr.4.13).

Materiály a nakupované normálie použité při konstrukci nástroje byly zvolené takové, které používají výrobci takovýchto nástrojů (tab.4.1, 4.2).

SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

1. MALINDŽÁK, D. *Simulácia procesov*. Košice : ES TU, 1991.
2. SPIŠÁK, Emil. *Matematické modelovanie a simulácia : Technologických procesov - ťahanie*. Košice : TYPO Press, 2000. 156 s. ISBN 80-7099-530-0.
3. NEUSCHL, Š., et al. *Modelovanie a simulácia*. Bratislava/Praha : Alfa/SNTL, 1988
4. HUŠEK, R., LAUBER, J. *Simulační modely*. Praha : SNTL/ALFA, 1987.
5. BAREŠ, Karel, et al. *Lisování*. Redaktor Jindřich Klůna. 1. vyd. Praha : SNTL, 1971. 544 s. ISBN 04-234-71.
6. DVOŘÁK, Milan, GAJDOŠ, František, NOVOTNÝ, Karel. *Technologie tváření : Plošné a objemové tváření*. Brno : CERM, 2003. 169 s. ISBN 80-214-2340-4.
7. LENFELD, Petr. *Technologie II* [online]. Technická univerzita Liberec, cit. 2008-04-10. Dostupný WWW: <http://www.ksp.vslib.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta_tkp/uvod.htm>.
8. FOREJT, Milan, PÍŠKA, Miroslav. *Teorie obrábění, tváření a nástroje*. 1. vyd. Brno : CERM, 2006. 225 s. ISBN 80-214-2374-9.
9. FOREJT, Milan. *Teorie tváření*. Brno : CERM, 2004. 167 s. ISBN 80-214-2764-7.
10. NOVOTNÝ, Josef, LANGER, Zdeněk. *Stříhání a další způsoby dělení kovových materiálů*. Redaktor Jindřich Klůna a Jiří Košek. 1. vyd. Praha : SNTL, 1980. 216 s. ISBN 04-234-80.
11. DVOŘÁK, Milan, GAJDOŠ, František, ŽÁK, Ladislav. *Technologie tváření : Návody do cvičení*. Brno : CERM, 2005. 103 s. ISBN 80-214-2881-3.
12. PWO UNITOOLS. *Výroba lisovacích nástrojů* [online]. 2006 [cit. 2008-04-10]. Dostupný WWW: <<http://www.unitools.cz/cz/vyvoj-a-vyroba/k-autoform.php>>.
13. ČSN 22 6015. *Stříhadla a střížné vřle: Směrnice pro výpočet a konstrukci*.

SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ

ϵ_p	[-]	trvalá poměrná deformace krajních vláken
μ	[-]	součinitel bezpečnosti
σ_{dov}	[N.mm ⁻²]	napětí v tlaku dovolené
σ_{ps}	[N.mm ⁻²]	napětí na mezi pevnosti ve střihu
σ_r	[N.mm ⁻²]	napětí vzniklé odporem ohýbaného materiálu
τ_{ps}	[Mpa]	napětí materiálu ve střihu
A	[J]	práce
b	[mm]	délka ohybu
c	[-]	koeficient závislý na stupni střihu
d	[mm]	jmenovitý rozměr otvoru
d _v	[mm]	průměr výtažku
D	[mm]	průměr přístřihu
d _k	[mm]	průměr střižníku
D _k	[mm]	průměr střižnice
E	[Mpa]	modul pružnosti
F _C	[N]	celková střižná síla pro vystřihování a děrování
F _{lisovací}	[N]	maximální lisovací síla
F _o	[N]	ohýbací síla
F _p	[N]	přidržovací síla
F _{PC}	[N]	celková přidržovací síla
F _s	[N]	střižná síla
F _{SC}	[N]	celková střižná síla
F _t	[N]	tažná síla
F _{TC}	[N]	celková tažná síla
F _u	[N]	síla potřebná k setření materiálu ze střižníku
F _{UVC}	[N]	celková stírací a vysouvací síla
F _v	[N]	síla potřebná k vysunutí střižníku ze střižnice
h	[mm]	pracovní zdvih
I	[cm ⁴]	moment setrvačnosti
K	[-]	stupeň tažení
k ₁	[-]	opravný koeficient
k ₂	[-]	koeficient závislý na koeficientu tažení M
k ₃	[-]	koeficient závislý na druhu a tloušťce materiálu
k _{eu}	[-]	koeficient závislý na druhu střihu a tloušťce materiálu
k _{ev}	[-]	koeficient závislý na druhu střihu a tloušťce materiálu
k _s	[N.mm ⁻²]	střižný odpor
k _z	[-]	koeficient závislý na pracovním zdvihu
l	[mm]	délka střihu
l _k	[mm]	kritická délka
m	[mm]	střižná mezera
m ₁	[-]	součinitel tažení
M _{oel}	[Nm]	elastický ohybový moment
M _{opl}	[Nm]	plastický ohybový moment
n	[ks]	počet výstřižků z neodlehčené části stříhadla
P _o	[mm]	přídavek na opotřebení nástroje

P_u	[mm]	úchyly vystřihovaného tvaru
R	[mm]	poloměr ohybu
R_e	[Mpa]	mez pevnosti v kluzu
R_m	[Mpa]	mez pevnosti v tahu
S	[mm ²]	obsah plochy
s, t	[mm]	tloušťka plechu
T	[-]	těžiště
U_h	[mm]	spodní úchyly výstřihu
v	[mm]	střížná vůle
X	[mm]	Vzdálenost výslednice sil od osy y
x	[mm]	délka ohýbaného ramene
Y	[mm]	vzdálenost výslednice sil od osy x

SEZNAM PŘÍLOH

Příloha 1	Technická data lisu
Příloha 2	Simulace dílu
Příloha 3	Výkres dílu
Příloha 4	Layout – postup výroby
Příloha 5	Výrobní výkres střížnice
Příloha 6	Výrobní výkres stěrače
Příloha 7	Výrobní výkres upínací desky
Příloha 8	Výrobní výkres střížníku
Příloha 9	Sestava spodního dílu
Příloha 10	Sestava horního dílu
Příloha 11	Sestava vodící desky