

Vývoj technologie stříhání součástí v sériové výrobě

Michal OTTO

Bakalářská práce
2011



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta technologická

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně

Fakulta technologická

Ústav výrobního inženýrství

akademický rok: 2010/2011

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Michal OTTO**

Osobní číslo: **T08214**

Studijní program: **B 3909 Procesní inženýrství**

Studijní obor: **Technologická zařízení**

Téma práce: **Vývoj technologie stříhání součástí v sériové výrobě**

Zásady pro vypracování:

1. Provedte studium literatury z oblasti teorie a technologie tváření s důrazem na stříhání
2. Provedte konstrukci součásti a stříhacího nástroje
3. Uvedte technologii výroby zvoleného výrobku
4. Hodnoťte výhodnost realizace úkolu

Rozsah bakalářské práce:

Rozsah příloh:

Forma zpracování bakalářské práce: **tištěná/elektronická**

Seznam odborné literatury:

1. Blašík, F. aj.: *Technológia tvárnenia*. Alfa Bratislava, SNTL Praha, 1988
2. Forejt, M.: *Teorie obrábění, tváření a nástroje*. CERM. Brno. 2006
3. Novotný, J. aj.: *Technologie I*. N ČVUT Paha. 2006

Vedoucí bakalářské práce:

prof. Ing. Imrich Lukovics, CSc.

Ústav výrobního inženýrství

Datum zadání bakalářské práce:

14. února 2011

Termín odevzdání bakalářské práce:

3. června 2011

Ve Zlíně dne 11. ledna 2011



doc. Ing. Petr Hlaváček, CSc.
děkan



doc. Ing. Miroslav Maňas, CSc.
ředitel ústavu

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že

- beru na vědomí, že odevzdáním diplomové/bakalářské práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb. o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších právních předpisů, bez ohledu na výsledek obhajoby ¹⁾;
- beru na vědomí, že diplomová/bakalářská práce bude uložena v elektronické podobě v univerzitním informačním systému dostupná k nahlédnutí, že jeden výtisk diplomové/bakalářské práce bude uložen na příslušném ústavu Fakulty technologické UTB ve Zlíně a jeden výtisk bude uložen u vedoucího práce;
- byl/a jsem seznámen/a s tím, že na moji diplomovou/bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, zejm. § 35 odst. 3 ²⁾;
- beru na vědomí, že podle § 60 ³⁾ odst. 1 autorského zákona má UTB ve Zlíně právo na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona;
- beru na vědomí, že podle § 60 ³⁾ odst. 2 a 3 mohu užít své dílo – diplomovou/bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití jen s předchozím písemným souhlasem Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše);
- beru na vědomí, že pokud bylo k vypracování diplomové/bakalářské práce využito softwaru poskytnutého Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně nebo jinými subjekty pouze ke studijním a výzkumným účelům (tedy pouze k nekomerčnímu využití), nelze výsledky diplomové/bakalářské práce využít ke komerčním účelům;
- beru na vědomí, že pokud je výstupem diplomové/bakalářské práce jakýkoliv softwarový produkt, považují se za součást práce rovněž i zdrojové kódy, popř. soubory, ze kterých se projekt skládá. Neodevzdání této součásti může být důvodem k neobhájení práce.

Ve Zlíně

.....

¹⁾ zákon č. 111/1998 Sb. o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších právních předpisů, § 47 Zveřejňování závěrečných prací:

(1) Vysoká škola nevýdělečně zveřejňuje disertační, diplomové, bakalářské a rigorózní práce, u kterých proběhla obhajoba, včetně posudků oponentů a výsledku obhajoby prostřednictvím databáze kvalifikačních prací, kterou spravuje. Způsob zveřejnění stanoví vnitřní předpis vysoké školy.

(2) Disertační, diplomové, bakalářské a rigorózní práce odevzdané uchazečem k obhajobě musí být též nejméně pět pracovních dnů před konáním obhajoby zveřejněny k nahlížení veřejnosti v místě určeném vnitřním předpisem vysoké školy nebo není-li tak určeno, v místě pracoviště vysoké školy, kde se má konat obhajoba práce. Každý si může ze zveřejněné práce pořizovat na své náklady výpisy, opisy nebo rozmnoženiny.

(3) Platí, že odevzdáním práce autor souhlasí se zveřejněním své práce podle tohoto zákona, bez ohledu na výsledek obhajoby.

²⁾ zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, § 35 odst. 3:

(3) Do práva autorského také nezasahuje škola nebo školské či vzdělávací zařízení, užije-li nikoli za účelem přímého nebo nepřímého hospodářského nebo obchodního prospěchu k výuce nebo k vlastní potřebě dílo vytvořené žákem nebo studentem ke splnění školních nebo studijních povinností vyplývajících z jeho právního vztahu ke škole nebo školskému či vzdělávacího zařízení (školní dílo).

³⁾ zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, § 60 Školní dílo:

(1) Škola nebo školské či vzdělávací zařízení mají za obvyklých podmínek právo na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla (§ 35 odst. 3). Odpírá-li autor takového díla udělit svolení bez vážného důvodu, mohou se tyto osoby domáhat nahrazení chybějícího projevu jeho vůle u soudu. Ustanovení § 35 odst. 3 zůstává nedotčeno.

(2) Není-li sjednáno jinak, může autor školního díla své dílo užít či poskytnout jinému licenci, není-li to v rozporu s oprávněnými zájmy školy nebo školského či vzdělávacího zařízení.

(3) Škola nebo školské či vzdělávací zařízení jsou oprávněny požadovat, aby jim autor školního díla z výdělku jím dosaženého v souvislosti s užitím díla či poskytnutím licence podle odstavce 2 přiměřeně přispěl na úhradu nákladů, které na vytvoření díla vynaložily, a to podle okolností až do jejich skutečné výše; přitom se přihlédne k výši výdělku dosaženého školou nebo školským či vzdělávacím zařízením z užití školního díla podle odstavce 1.

ABSTRAKT

Cílem této bakalářské práce je navrhnout vhodné stroje a technologický postup výroby držáku vodítka, ve kterém se pohybují výtahové dveře. Práce je rozdělena do dvou částí. Teoretická část se zabývá problematikou stříhání a ohýbání, fyzikální podstatou tváření a výpočtem sil. Praktická část řeší konkrétní výpočet razníků a velikost ohýbacích sil. Vše se realizuje pomocí 3D systému Solid Edge a programu TruTops CAD.

Klíčová slova: technologický postup, stříhání, ohýbání, Solid Edge

ABSTRACT

The aim of this thesis is to propose appropriate technological equipment and technological process for holder of clue for move elevator door. The work is divided into two parts. The theoretical part deals with the cutting and bending, with the physical principle of forming and with calculation of bending force. The practical part deals with specific calculate punches and with calculate the size of the bending force. Everything is done using the 3D system Solid Edge and software TruTops CAD.

Keywords: technological proces, cutting, bending, Solid Edge

Poděkování

Chtěl bych tímto poděkovat Prof. Ing. Imrichovi Lukovicsovi, CSc. jako vedoucímu bakalářské práce za užitečné rady, ochotu, čas a pomoc při zpracování této práce.

Motto:

Cokoliv si lidská mysl dokáže představit a čemu dokáže uvěřit, toho lze dosáhnout.

OBSAH

ÚVOD	10
I TEORETICKÁ ČÁST	11
1 TECHNOLOGIE TVÁŘENÍ	12
1.1 FYZIKÁLNÍ PODSTATA TVÁRNÉ DEFORMACE	13
1.1.1 Pružná a plastická deformace.....	13
1.1.2 Mechanizmy plastické deformace.....	13
1.1.3 Tvařitelnost kovů a slitin.....	14
1.1.4 Charakteristiky a ukazatele plasticity.....	14
1.2 ZÁKONY TVÁŘENÍ	14
1.3 TVÁŘENÍ ZA STUDENA	16
1.3.1 Metody tváření za studena	16
2 STŘÍHÁNÍ	18
2.1 FÁZE STŘÍHÁNÍ.....	18
2.2 DEFORMAČNÍ PÁSMA PŘI STŘÍHÁNÍ	19
2.3 STŘÍŽNÁ VŮLE.....	19
2.3.1 Výpočet střížné vůle.....	20
2.3.2 Výpočet střížné síly.....	21
2.4 CHARAKTERISTIKA STŘÍHACÍCH OPERACÍ	23
2.5 ROZDĚLENÍ STŘÍHÁNÍ DLE KONSTRUKCE NOŽŮ	25
2.5.1 Stříhání rovnoběžnými noži	25
2.5.2 Stříhání skloněnými noži.....	25
2.5.3 Stříhání kotoučovými noži	28
2.5.4 Stříhání noži na profily a tyče	29
2.6 PŘESNÉ STŘÍHÁNÍ	30
2.6.1 Stříhání bez vůle.....	31
2.6.2 Stříhání s přidržovačem.....	32
2.6.3 Stříhání s nátlacnou hranou	32
2.6.4 Reversní stříhání.....	32
2.6.5 Stříhání se zápornou vůlí.....	33
3 OHÝBÁNÍ	34
3.1 ROZLOŽENÍ NAPĚTÍ.....	34
3.2 ODPRUŽENÍ	35
3.3 VÝPOČET SÍLY A PRÁCE PŘI OHÝBÁNÍ.....	37
3.3.1 Ohyb do tvaru „V“	37
3.3.2 Ohyb do tvaru „U“	38
3.3.3 Ohýbací nástroje.....	39
II PRAKTICKÁ ČÁST	41
4 TECHNOLOGICKÁ ČÁST	42

4.1	VÝKRESOVÁ DOKUMENTACE SOUČÁSTI	42
4.2	VOLBA MATERIÁLU SOUČÁSTI.....	44
4.3	VOLBA TECHNOLOGIE VÝROBY	44
4.4	ROZVINUTÝ TVAR DÍLCE	46
4.5	OPTIMÁLNÍ VYSKLÁDÁNÍ DÍLCŮ DO TABULE	48
4.5.1	Osazení dílce nástroji	49
4.5.2	Stanovení střížné vůle	50
4.6	VÝPOČET STŘIŽNÉ SÍLY	51
4.7	VÝPOČET CENY VÝROBKU	52
4.8	EKONOMICKÁ ROZVAHA	53
ZÁVĚR		54
SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY.....		55
SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK.....		56
SEZNAM OBRÁZKŮ		57
SEZNAM TABULEK.....		59

ÚVOD

Strojírenství, jakožto technický obor, patří mezi nejstarší a nejobsáhlejší technickou disciplínu, postavenou na základech fyziky a nauky o materiálu. První zmínky o tomto oboru pocházejí již ze starověkých a středověkých kultur po celém světě, avšak k důležitému průlomů v této oblasti došlo během 17. století, kdy sir Isaac Newton zformuloval Newtonovy pohybové zákony. Moderní strojírenství směřuje k racionálnímu využití materiálu a také ke zlepšení ekonomické stránky výroby, tzn. k hospodárnému využití a zpracování technických materiálů.

Technologie tváření a obrábění se výrazně podílí na veškeré produkci strojních a spojovacích součástí, neboť splňuje velmi přísné požadavky na kvalitu a přesnost. Velký význam spočívá také ve vysoké produktivitě práce, která se projevuje zejména snižováním pracnosti a zkracováním výrobního cyklu. Z těchto a dalších důvodů se využívá zejména v automobilovém, leteckém a vojenském průmyslu, a v neposlední řadě také u spotřební techniky a v energetice.

I. TEORETICKÁ ČÁST

1 TECHNOLOGIE TVÁŘENÍ

Tvářením kovů se rozumí výrobní proces, při kterém dojde k požadované změně tvaru výrobku nebo polotovaru, důsledkem působení vnějších sil a to beztřískovým odběrem. Podstatou tváření je vznik plastických deformací, ke kterým dochází v okamžiku dosažení napětí na mezi kluzu pro daný materiál. Průběh tohoto děje je doprovázen fyzikálními změnami a změnami struktury materiálu, což má za následek ovlivnění mechanických vlastností materiálu. Mezi hlavní výhody tváření patří zejména vysoká produktivita práce, velmi dobré využití materiálu tzn. nízké procento odpadu a značná rozměrová přesnost tvářených výrobků. Mezi nevýhody patří vysoká pořizovací cena strojů a nástrojů a také omezení rozměrů výrobků.

Postupem času dospěl rozvoj teorie tváření k teoretickému řešení čtyř základních úloh.

První úloha souvisí s určením velikosti tvářecích sil a přetvárných prací a byla řešena již na počátku rozvoje teorie tváření. Umožňuje volbu tvářecího stroje a v prvním přiblížení i pevnostní návrh dimenzování nástrojů. Tato úloha je zpravidla součástí řešení úloh ostatních a vychází ze zjednodušujícího předpokladu, že tvářený materiál je charakterizován jedinou veličinou, tj. přirozeným přetvárným odporem. Tento implicitně zahrnuje všechny vlivy procesu tváření za konkrétních termomechanických a rychlostních podmínek.

Druhá úloha zahrnuje velmi obtížné určení velikosti a průběhu zatížení tvářecích nástrojů. Přispívá k optimalizaci technologických a geometrických parametrů nástrojů z hlediska jejich pevnosti a bezpečnosti.

Třetí skupina úloh se zabývá rozbořem přetvoření a stanovením vhodného tvaru a rozměrů výchozího polotovaru, případně i polotovarů dílčích operací.

Čtvrtá skupina úloh řeší kritické podmínky plastické deformace-přetvoření, kdy dochází k vyčerpání plasticity a nastává porušení tvářených těles.

Tvářecí procesy probíhají převážně za obecně daných dynamických podmínek. Teprve až rozvoj experimentální a výpočetní techniky umožnil modelování tvářecích procesů a matematický popis těchto dějů za reálných podmínek. Touto cestou je možné stanovit skutečné optimální parametry tvářecích technologií, potřebných strojů a nástrojů.[1]

1.1 Fyzikální podstata tvárné deformace

1.1.1 Pružná a plastická deformace

Deformaci chápeme jako změnu tvaru tělesa způsobenou vnějšími anebo vnitřními silami aniž by došlo k porušení spojitosti materiálu. Každé trvalé (plastické) deformaci předchází vždy deformace pružná (elastická). Pojem deformace je používán v teorii velmi malých rozměrových změn v pružné a v pružně plastické oblasti při zkoumání mezních stavů monokrystalů a polykrystalů. Pro označení jednotlivých a součtových hodnot velkých plastických deformací při tváření polykrystalů používáme pojmu přetvoření.

V průběhu přetvoření může dojít i k nežádoucímu porušení spojitosti materiálu vznikem trhlin nebo k celkové destrukci tvářeného tělesa. Každému porušení předcházejí vždy nestabilní lokální plastické deformace. Porušení křehkým lomem předcházejí pouze pružné a mikroplastické deformace. Porušení tvárným lomem předcházejí deformace makroplastické. [1]

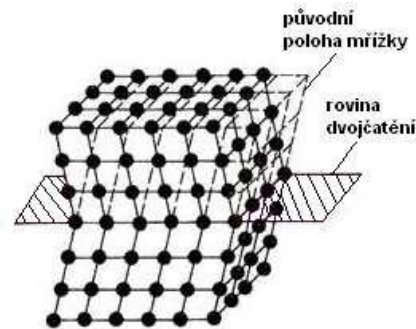
1.1.2 Mechanizmy plastické deformace

Pružnou deformaci lze charakterizovat vratností do původního stavu po odstranění působení vnějších zatížení a jednoznačnou závislostí mezi silami a deformacemi dle Hookova zákona. Hlavním znakem plastické deformace je nevratnost děje při zachování krystalické struktury kovu. Deformace nastávají buď na hranicích nebo uvnitř zrn. Existují dva druhy mechanismů plastické deformace mezi které patří skluz a dvojčatění z nichž převažujícím mechanismem plastické deformace je skluz.

Z výsledků pokusů na monokrystalech s různou stavbou plyne, že skluz se řídí těmito zákonitostmi:

- skluz obvykle nastává v rovinách s největší hustotou atomů
- směr skluzu je rovněž totožný se směrem nejvíce obsazeným atomy
- z možných skluzových rovin a směrů se uplatní ty v nichž má skluzové napětí maximální hodnotu
- skluz nastává, když maximální skluzové napětí dosáhne kritické hodnoty

Dvojčatění se dá definovat jako natočení jedné části mřížky vůči druhé kolem roviny symetrie a vytváří tak zrcadlový obraz této části mřížky. [1]



Obr.1 Dvojčatění

1.1.3 Tvařitelnost kovů a slitin

Tvařitelnost kovů a slitin je schopnost trvale měnit tvar bez porušení tvářeného tělesa za konkrétních technologických podmínek. Tvařitelnost je tedy souhrn vlastností materiálu, nástrojů a prostředí, které za daných podmínek určují schopnost trvalé změny tvaru tvářeného tělesa bez porušení a umožňují tak vyrobit součást s požadovanými rozměry a vlastnostmi. Základní potřebnou vlastností tvářeného materiálu je plasticita, která je definována velikostí plastického přetvoření do porušení tělesa v konkrétních podmínkách, tj. teploty, napjatosti a rychlosti plastické deformace, (rychlosti přetvoření). [1]

1.1.4 Charakteristiky a ukazatele plasticity

Důležité základní posouzení plasticity se provádí na hodnotě tahové nebo tlakové zkoušky. Křivku napětí-deformace při jednoosé napjatosti popisujeme podle smluvních charakteristik.

Z hlediska plastických deformací je důležitý přechod materiálu z pružného do plastického stavu. Takové kritické napětí označujeme v diagramu tahové zkoušky jako mez kluzu. Mez kluzu je buďto výrazná a označujeme ji $\sigma_k = R_e$ nebo je nevýrazná a potom ji označujeme jako smluvní mez kluzu $R_{p0,2}$ z trvalé deformace 0,2% pod zatížením. Další charakteristikou pevnosti je smluvní mez pevnosti v tahu R_m . [1]

1.2 Zákony tváření

- 1) Zákon stálosti objemu – je základním zákonem volného tvářecího děje. Objem tvářeného tělesa před přetvořením je roven objemu po přetvoření.

- 2) Zákon stálosti potenciální energie změny tvaru – vyjadřuje, že velikost měrné potenciální energie potřebné pro trvalou změnu tvaru tělesa je pro dané podmínky tváření konstantní hodnotou nezávislou na schématu napjatosti.
- 3) Zákon nejmenšího odporu – vyjadřuje, že ze všech možných směrů pohybu bodů tvářeného tělesa se každý bod bude pohybovat ve směru nejmenšího odporu. Velikost odporu proti přetvoření závisí přímo na délce dráhy o kterou se musí částice při přetváření objemu přemístit.
- 4) Zákon maximálních smykových napětí a zákon zpevnění – plastické přetvoření kovové ho tělesa nastane tehdy, když maximální smykové napětí dosáhne mezní hodnoty, která je závislá na druhu a stavu kovu a na podmínkách deformace. Maximální smykové napětí působí v rovinách skloněných pod úhlem 45° ke směrům hlavních napětí.
- 5) Zákon odpružení po trvalé změně tvaru – plastické deformaci předchází pružná deformace charakterizována až do meze úměrnosti dle Hookova zákona s modulem pružnosti v tahu jako konstantou úměrnosti. Například pro jednoosou tahovou napjatost bude osová napětí v pružné oblasti $\sigma = E \cdot \epsilon$. Celková deformace je vždy součtem elastické a plastické složky.
- 6) Zákon přídavných napětí – u skutečných tvářecích pochodů nastávají místní nerovnoměrné napjatosti a v důsledku toho i nerovnoměrné deformace, které jsou především způsobeny:
 - složitým tvarem tvářeného tělesa a nástroje
 - tření mezi povrchem tvářeného kovu a nástroje
 - nerovnoměrným rozložením teplot uvnitř tvářeného tělesa
 - chemickou nestejnoroďostí
 - neizotropními (nerovnoměrnými) mechanickými vlastnostmi tvářeného kovuV důsledku působení těchto vlivů vznikají v tvářeném tělese napětí, které se vzájemně vyrovnávají a vzhledem k vnějším podmínkám rovnováhy nemohou být zahrnuta do schématu napjatosti tělesa. Tato napětí označujeme jako přídavná a jsou trvalým jevem při tvářecích pochodech.
- 7) Zákon podobnosti – dvě tvářená tělesa o různých rozměrech jsou podobná budou-li splňovat podmínky geometrické, mechanické a fyzikální podobnosti.

- 8) Zákon tření – vnější tření mezi tvářeným materiálem a nástroji je průvodním jevem všech tvářecích pochodů. Tření je definováno jako odpor proti relativnímu pohybu dvou stýkajících se těles. [1]

1.3 Tváření za studena

Tváření za studena je metoda tvářecí techniky – tváření tlakem, při které polotovary vytvářené díly nejsou ohřívány. Obrobky jsou tvarovány v lisech mezi razníkem a matricí pomocí vysokých tlaků. Při odpovídajícím tvarování matrice a razníku je materiál nucen zatékat do volných prostorů, které mu jsou ponechány v matrici a razníku. Obsahuje-li matrice odstupňované průměry, potom se zde hovoří o redukování nebo dopředném lisování (protlačování). Při redukování se prodlužuje obrobek vždy ve zmenšeném průměru. Pokud zůstane mezi vnitřní stěnou matrice a razníkem meziprostor, do kterého zatéká materiál při lisování, zůstává v obrobku odpovídající dutý prostor. Hovoří se zde o protahování zajížděním razníku do výstupního materiálu. Podle směru tečení materiálu se hovoří o dopředném nebo zpětném lisování tj. o protlačování nebo protahování. [1,2]

1.3.1 Metody tváření za studena

Dle ČSN 226001 lze prakticky hovořit o pěti základních technologiích:

Stříhání

je beztrískové dělení materiálu, které je u kovů zakončeno porušením-lomem.

Ohýbání

je trvalé přetvoření materiálu při němž se vlivem sil mění trvale křivost součásti.

Ražení

plastická přeměna povrchu vylisku

Tažení

je přetvoření rovinného přístřihu v duté těleso. Jde o prostorový ohyb do nerozvinutelného tvaru bez podstatné zeslabení tloušťky stěny nebo se zeslabením stěny v jedné i více tažných operacích.

Protlačování

je technologie, kterou můžeme provádět za tepla, za poloohřevu a za studena. Napjatost v přetvářeném elementu materiálu je trojosá, všestranné tlaková. Tvářený materiál se přemísťuje a jeho směr pohybu je určen konstrukcí nástroje.

Kromě zde uvedených metod existuje celá řada dalších technologií, která jsou kombinací výše uvedených.

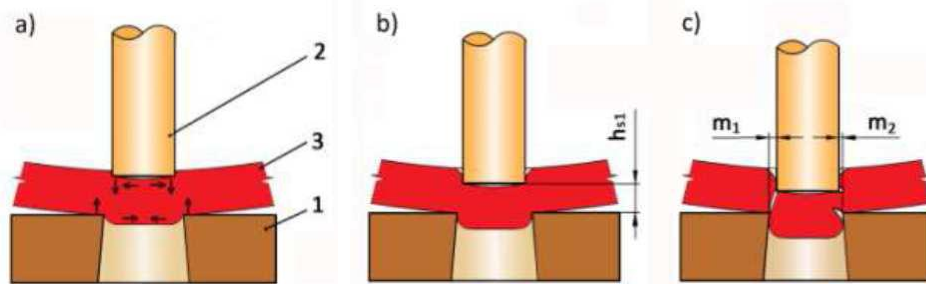
2 STŘÍHÁNÍ

Stříhání patří mezi nejrozšířenější operace tváření ve strojírenství. Využívá se k přípravě polotovarů (stříhání tabulí nebo svitků plechů, stříhání profilů, vývalků, apod.), k vystříhování součástek z plechu buď pro finální použití nebo pro výrobky určené k dalšímu zpracování (ohýbání, protlačování, tažení, atd.) a také jako dokončovací nebo pomocné operace. Kromě klasického stříhání existují i další operace, které se nazývají podle způsobu odstraňování materiálu. Patří sem děrování, vystříhování, ostříhování, přistříhování, atd.

Stříhání patří mezi základní operace dělení materiálu, která je u kovů zakončena porušením-lomem v ohnisku deformace. Vlastní plastická deformace je sice průvodním, ale zároveň nežádoucím jevem. Materiál se odděluje postupně, nebo současně podél křivky stříhu, vytvořeného relativním pohybem dvou břitů, které vytváří střížné-smykové napětí. [1,2]

2.1 Fáze stříhání

Proces stříhání probíhá ve třech základních fázích. V první fázi, kdy střížník dosedne na plochu, dochází k pružnému vnikání do povrchu stříhaného materiálu. Hloubka vniku je závislá na mechanických vlastnostech materiálu a bývá 5-8% síly materiálu.



Obr.2 Fáze stříhání

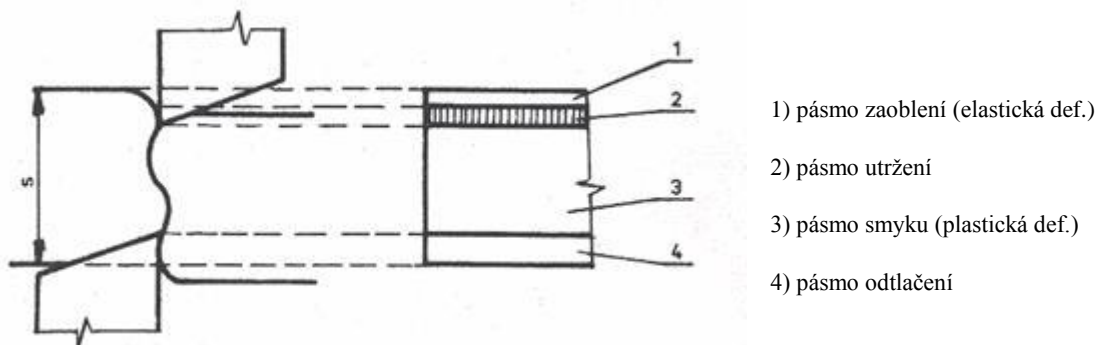
Ve druhé fázi je napětí ve směru vnikání větší než samotná mez kluzu materiálu a dochází k trvalé plastické deformaci. Podle druhu materiálu a jeho mechanických vlastností je hloubka plastického vniknutí 10-25% síly materiálu.

Ve třetí fázi dosáhne napětí meze pevnosti ve stříhu. Nejdříve vznikne tzv. nástřih, tj. vytvoření trhlinek, které je podporováno tahovým normálovým napětím ve směru vláken. Trhliny se rychle šíří, až dojde k oddělení výstřížku. Rychlost vzniku a postupu trhlin je

závislá na mechanických vlastnostech stříhaného materiálu a na velikosti střížné vůle. Tvrdý a křehký materiál se oddělí rychle při malém vniknutí střížných hran 0,1s. U měkkých a houževnatých materiálů dochází ke vzniku trhlin, jejich šíření je pomalé a hloubka vniknutí střížných hran v okamžiku oddělení bývá 0,6s. [2]

2.2 Deformační pásma při stříhání

Výstřížek se oddělen dříve, než projde střížník celou tloušťkou stříhaného materiálu a následně je výstřížek vytlačen. Díky tomu nejsou okraje stříhových ploch zcela rovné a střížná plocha má určitou drsnost, která ovšem není v ploše konstantně rozdělená. Místa, kde došlo k prvnímu výskytu trhlin, jsou drsnější, než ostatní střížné plochy. Oddělení však nenastane v žádané rovině a to proto, že materiál se chová elasticky je tvárný a napětí způsobuje tlak nožů na celé ploše – proto se na odstříhnuté ploše vyskytují různá pásma. Stříhání je tedy technologická operace, která směřuje k žádoucímu porušení materiálu. Při výpočtu tvářecích sil se to projevuje tak, že zde použijeme meze pevnosti místo meze kluzu.



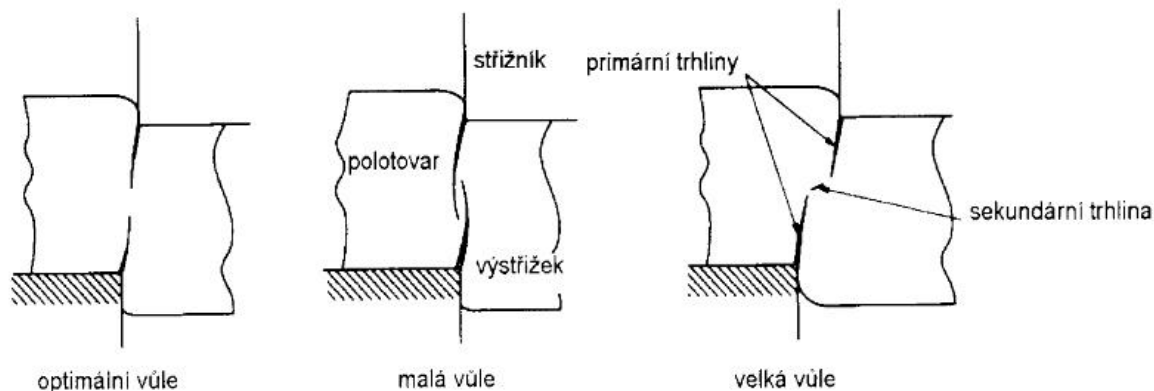
[2]

Obr.3 Deformační pásma při stříhání

2.3 Střížná vůle

Nástroje pro stříhání se zhotovují tak, že rozměry střížníku musí být menší než jsou rozměry střížnice. Rozdíl mezi těmito rozměry je střížná vůle. Velikost této vůle by měla být rovnoměrná na všech místech křivky stříhu a závisí zejména na druhu stříhaného materiálu a jeho tloušťce. Správně zvolená velikost střížné vůle zaručí, že trhliny, které při stříhu vznikají se potkají a střížná plocha se správně usmýkne. Střížná vůle má také vliv na stříž-

nou sílu, trvanlivost bříty, kvalitu střížných ploch, vznik ostřin i spotřebu energie. Změňováním střížné vůle se zvětšuje střížná síla jen nepatrně ovšem střížná práce je daleko větší. [4]



Obr.4 Schéma stříhání při malé a velké vůli

2.3.1 Výpočet střížné vůle

Velikost střížné vůle (mezery) lze pro různé materiály nalézt v tabulkách nebo normách. Např. ČSN 22 6015 stanoví velikost střížné mezery:

pro materiál tloušťky $s \leq 3$ mm. $v/2 = m_s = 0,32 \cdot c \cdot s \cdot \sqrt{\tau_m}$ [mm]

pro materiál tloušťky $s > 3$ mm $v/2 = m_s = 0,32 \cdot (1,5 \cdot c \cdot a - 0,015) \cdot \sqrt{\tau_m}$ [mm]

kde c - součinitel $c = 0,005$ až $0,035$
 τ_m - pevnost ve stříhu stříhaného materiálu [MPa]

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

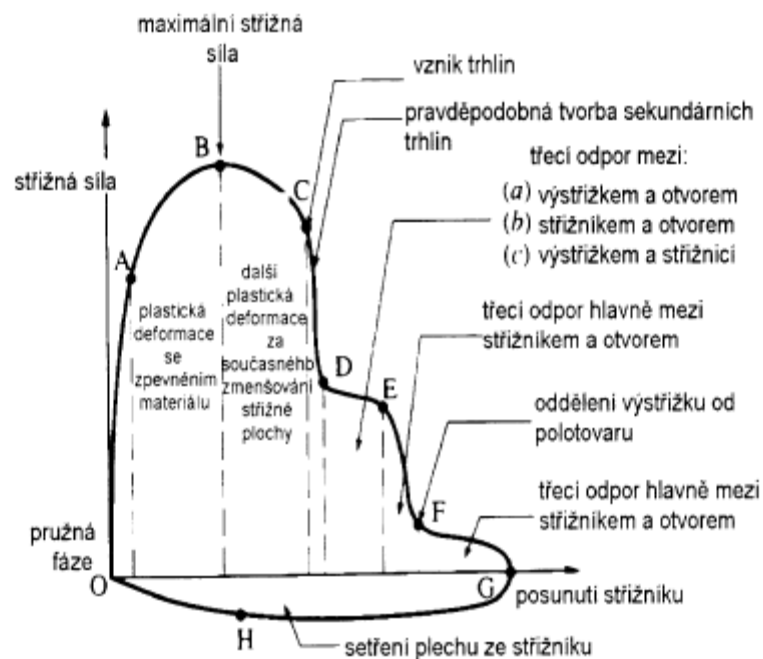
[4]

Tab.1 Velikost střížné vůle

2.3.2 Výpočet střížné síly

Střížnou sílu ovlivňují následující faktory:

- střížná vůle
- naostření střížných hran
- úhel sklonu střížných hran
- smyková pevnost stříhaného materiálu
- hloubka vniknutí střížníku do materiálu



Obr.5 Průběh střížné síly při vystřihování

Střížnou sílu lze zjednodušeně vypočítat ze vztahu

$$F_s = \tau_m \cdot l \cdot s \cdot k_1 \cdot k_2 \cdot k_3 \quad [\text{N}]$$

kde τ_m - pevnost materiálu ve stříhu [MPa]. Tuto hodnotu je nutno stanovit experimentálně nebo

ji lze odhadnout z meze pevnosti stříhaného materiálu R_m např.

τ_m pro mosaz - (0,65 až 0,75) · R_m

τ_m pro ocel - (0,75 až 0,90) · R_m

τ_m pro ocel antikorozi - (0,68 až 0,72) · R_m

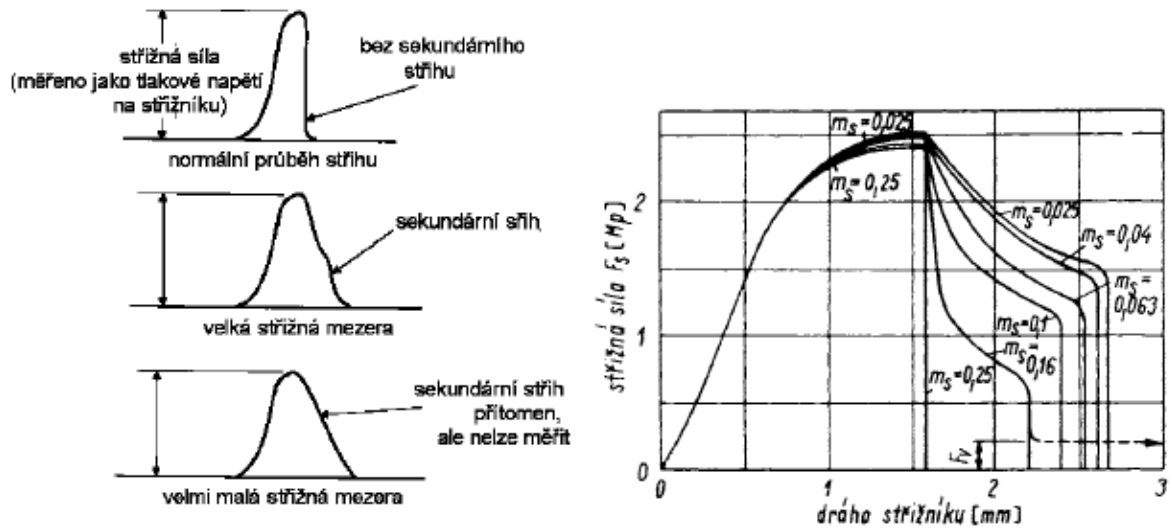
l délka střížné hrany (obvod stříhu) ... [mm]

s tloušťka plechu [mm]

k_1 součinitel vyjadřující otupení břitu $k_1 = 1,1 - 1,2$ (max 1,55)

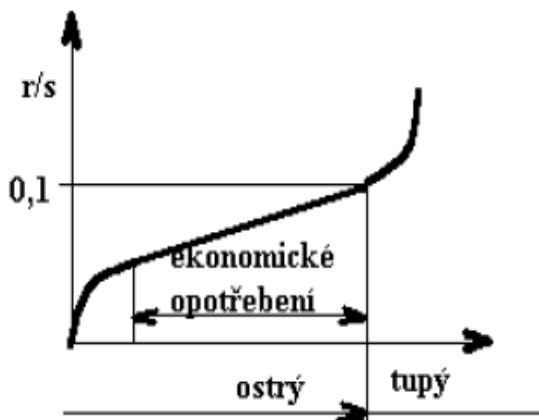
k_2 součinitel vyjadřující tření mezi střížníkem, materiálem a střížnicí $k_2 = 1,07 - 1,14$

k_3 součinitel vyjadřující průběh stříhu (rovný, šikmý, atd.) pro $h = s k_3 = (0,4 - 0,7)$

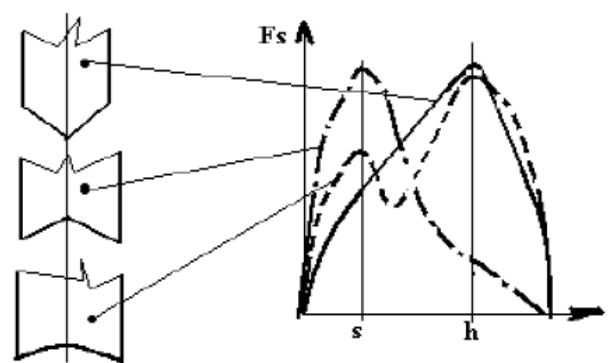


Obr.6 Vliv střížné mezery na průběh střížné síly

vlevo – kvalitativně,
vpravo – kvantitativně, zmenšováním vůle roste síla nepatrně, práce významně (až o 40%)

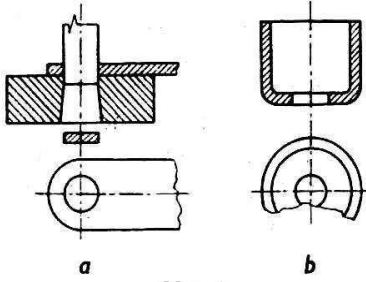
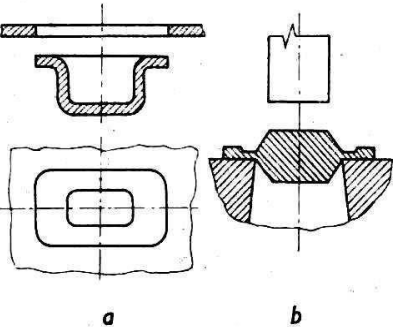
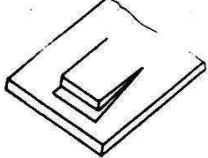
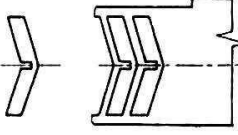
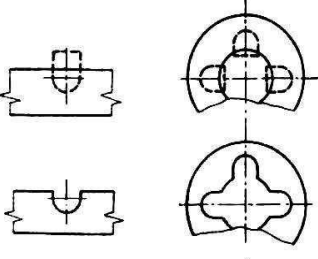


Obr.8 Stupeň otupení břitu

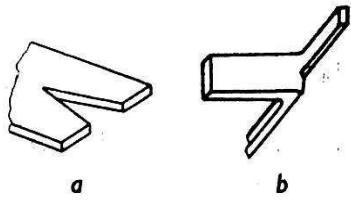
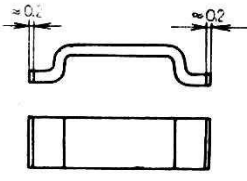
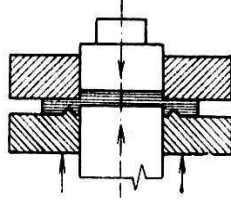
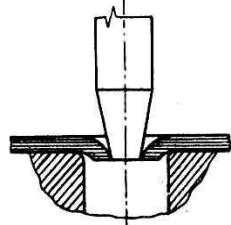
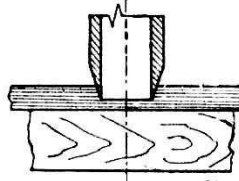
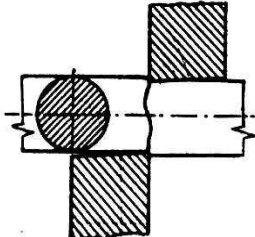


Obr.7 Průběh střížné síly při stříhání

2.4 Charakteristika stříhacích operací

Operace	Schéma	Definice
děrování	 <p style="text-align: center;">Obr. 1.</p>	<p>Vytváření otvorů různých tvarů. Vystřižená část tvoří odpad.</p>
ostříhování	 <p style="text-align: center;">Obr. 2.</p>	<p>Oddělování přebytečného materiálu po obvodu součásti.</p>
prostříhování	 <p style="text-align: center;">Obr. 3.</p>	<p>Částečné oddělení materiálu v libovolném tvaru uvnitř dílce.</p>
vystříhování	 <p style="text-align: center;">Obr. 4.</p>	<p>Zhotovení výstřižku oddělením od materiálu po uzavřeném obrysu. Vystřižená část tvoří výrobek.</p>
vystříhování zářezu	 <p style="text-align: center;">Obr. 5.</p>	<p>Oddělování části v okraji i uvnitř materiálu. Vystřižená část tvoří odpad.</p>

Tab.2 Charakteristiky stříhacích operací [3]

	Operace	Schéma	Definice
Stříhání plošné	<p>nastříhování</p>  <p style="text-align: center;">a b</p> <p style="text-align: center;">Obr. 6.</p>	<p>Částečné oddělení materiálu v okraji tak, že není úplně oddělen.</p>	
	<p>přistříhování</p>  <p style="text-align: center;">Obr. 7.</p>	<p>Dosažení přesných tvarů, rozměrů nebo hladkých ploch.</p>	
	<p>přesné vystříhování</p>  <p style="text-align: center;">Obr. 8.</p>	<p>Vystříhování upravené pro dosažení hladkých a přesných střížných ploch bez dalšího opracování.</p>	
	<p>protrhávání</p>  <p style="text-align: center;">Obr. 9.</p>	<p>Vytvoření hrotů, otvorů, výstupků v plochém materiálu, přičemž se materiál vyhne z původní roviny.</p>	
	<p>vysekávání</p>  <p style="text-align: center;">Obr. 10.</p>	<p>Oddělování nekovového materiálu nástrojem na podložce.</p>	
Stříhání objemové	<p>stříhání profilů, tyčí, trubek apod.</p>  <p style="text-align: center;">Obr. 11.</p>	<p>Dělení profilů, tyčí a trubek podle neuzavřeného obrysu noží, které se míjejí při proměnné tloušťce stříhaného průřezu.</p>	

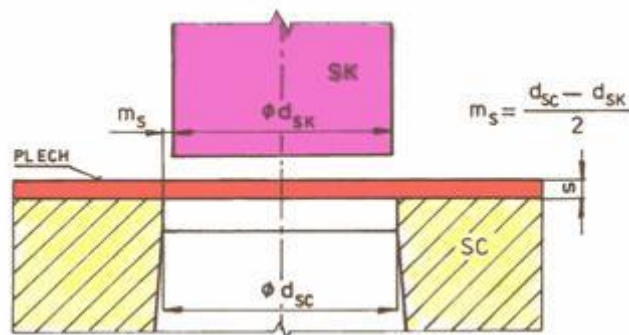
Tab.3 Charakteristiky stříhacích operací [3]

2.5 Rozdělení stříhání dle konstrukce nožů

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

2.5.1 Stříhání rovnoběžnými noži

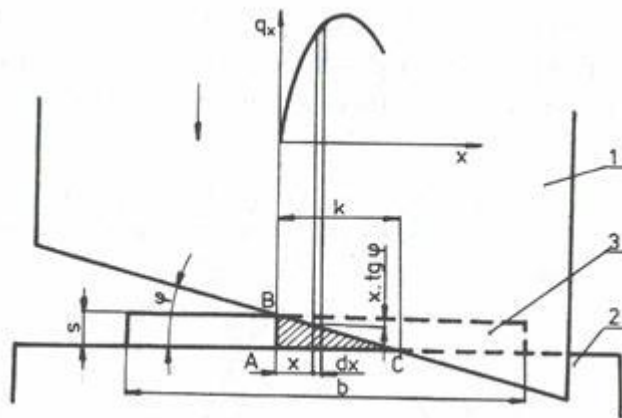
Ke stříhání rovnoběžnými noži se používá střížný nástroj, který se skládá ze střížníku a střížnice mezi kterými je střížná vůle, resp. střížná mezera m_s (1/2 střížné vůle). Nelze totiž bez zvláštních úprav postavit nástroj bez mezery kvůli nebezpečí havárie. Na docílení kvalitního výstřížku je důležitá optimální vůle mezi střížníkem a střížnicí. Jednostranná vůle bývá od 3 do 10 % tloušťky plechu v závislosti na tloušťce a pevnosti materiálu (s rostoucí pevností se vůle zvětšuje). [2]



Obr.9 Schéma stříhání pomocí střížného nástroje

2.5.2 Stříhání skloněnými noži

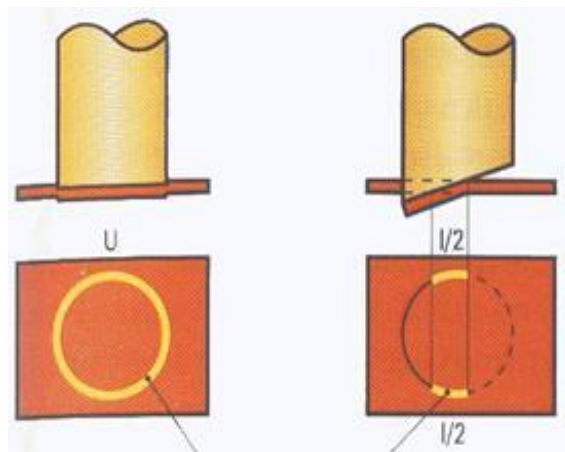
Stříhání šikmými, skloněnými, noži, které při stříhání svírají určitý úhel je výhodné proto, že se při tomto způsobu zmenší celková potřebná střížná síla oproti stříhání na rovných nožích. Materiál se stříhá postupně. Pro velikost střížné síly bude rozhodující velikost střížné hrany a tloušťky - plochy trojúhelníka.



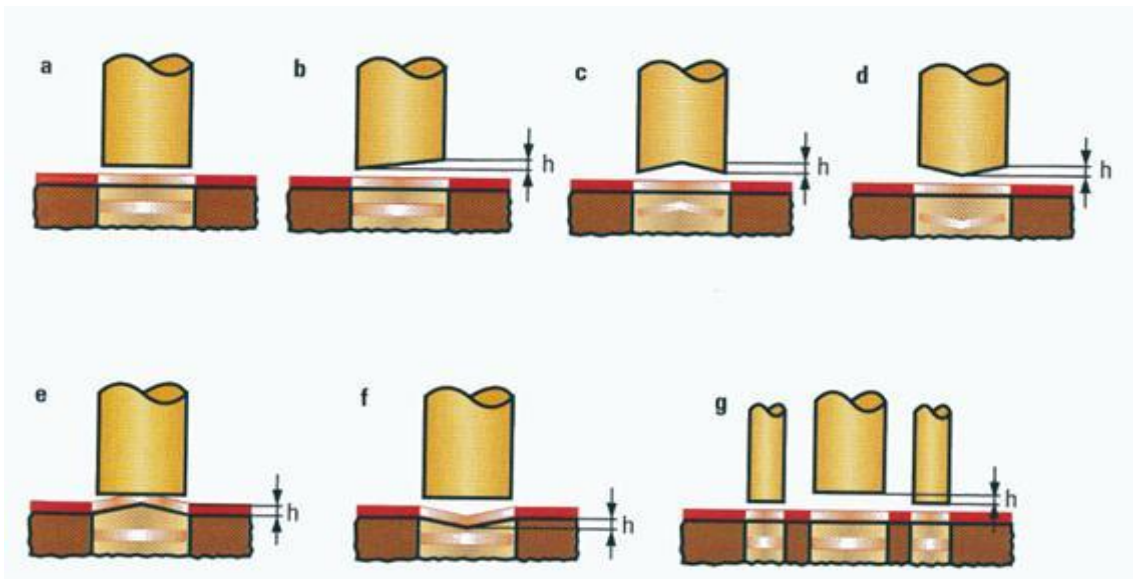
- 1) horní pohyblivý nůž
- 2) dolní pevný nůž
- 3) stříhaný materiál

Obr.10 Stříhání skloněnými, šikmými, noži

Podobně jako u jednoduchého rovného stříhání je i v tomto případě průběh okamžité síly možno regulovat, i když naproti tomu se celková práce, vynaložená na stříhání, nezmění. U nástrojů, stříhadel, složených ze střížníku a střížnice, používaných pro dva nejrozšířenější způsoby stříhání, tj. děrování a vystříhovávání, to lze provést dvěma způsoby. [2]

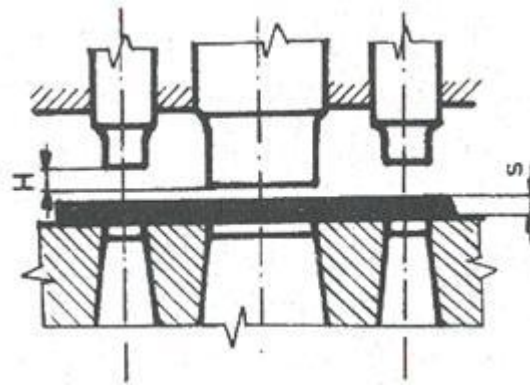


Obr.11 Porovnání délky stříhu při stříhání rovnými, resp. šikmými noži



Obr.12 Úpravy střížníku a střížnice

a – rovný stříh, b – jednostranné zkosení střížníku, c, d – oboustranné zkosení střížníku, e, f – zkosení střížnice, f - stupňovité uspořádání střížníků

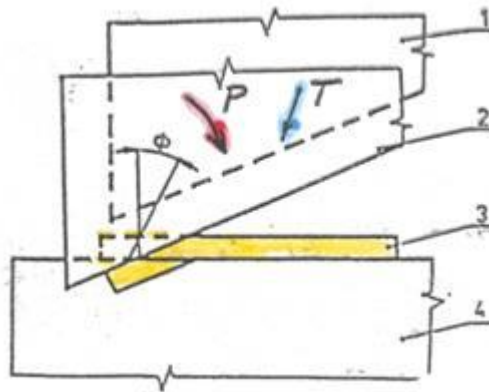


Obr.13 Stupňovité uspořádání střížníků

Stříhadla se zkoseným ostřím používáme tehdy, když chceme zmenšit střížnou sílu, která je větší jak síla lisu. Na vystřihování se zkosení dělá oboustranné a to na střížnici, výrobek je rovný, odpad ohnutý. Způsob oboustranného zešikmení vyrovnává síly na střížníku a nevychyluje jej z osy. Jednostranné zkosení střížníku se používá jen pro nastřihování. U děrování je střížnice rovná a střížník zkosení, výrobek je rovný, odpad ohnutý. Při stříhání složitých tvarů se nedoporučuje provádět zkosení ostří. Do šikmého stříhu počítáme i pákové nůžky, jejichž nože se pohybují úhlových sklápěním. Protože sklápěním přímkových

nožů se úhel λ mění, staví se často pákové nůžky s jedním nebo oběma noži obloukovými, takže úhel λ zůstává po střížné čáře konstantní. Zvláštním způsobem stříhání se skloněnými noži je taháný stříh, kdy úhel stříhu (tažení) f [2]

je roven 2 až 10° a tento způsob je používán pro stříhání vláknitých látek, kde se sníží střížná síla až o 20 % při úhlu $\phi = 70^\circ$.

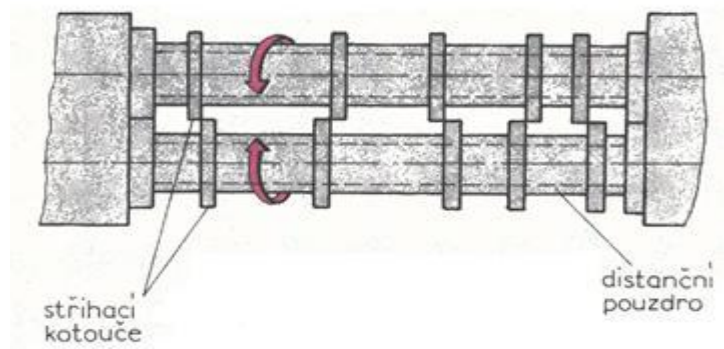


Obr.14 Stříhání materiálu taháným stříhem

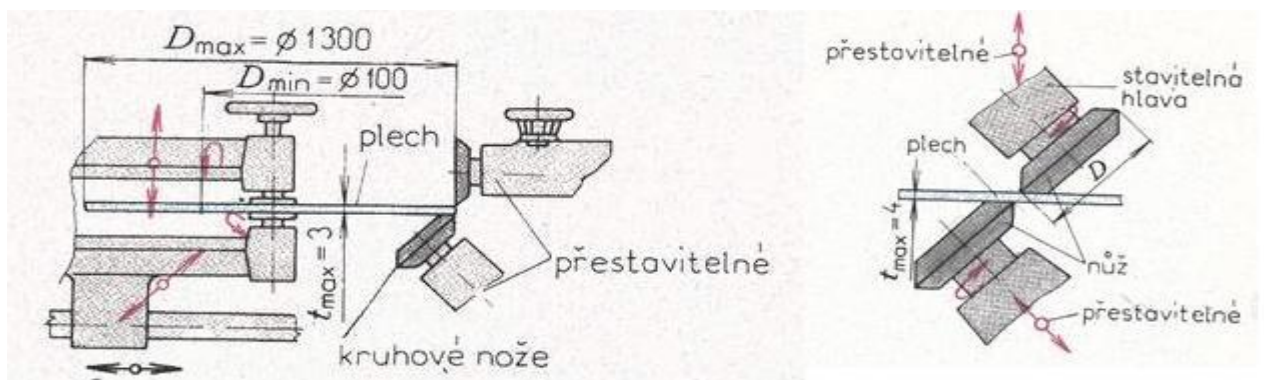
- 1 – východisková poloha pohyblivého nože, 2 – poloha pohyblivého nože při stříhu, 3 – dolní pevný nůž, 4 – stříhaný materiál

2.5.3 Stříhání kotoučovými noži

Pro podélné stříhání dlouhých pásů se staví nůžky kotoučové, kruhové. Je to střížný nástroj s odvalujícími se noži. Použití kruhových nožů prodlužuje čas stříhu, ale snižuje rázy při stříhání. Sklon řezné hrany se mění od nejvyšší hodnoty v místě záběru do nuly. Kombinace dvojkuželového a válcového nože je určena pro stříh zakřivených tvarů, s výhodou skloněných os nástrojů. Na křivkové stříhání je potřeba zvolit průměr nožů co nejmenší. To umožňuje konstrukci nůžek s dlouhými rameny nesoucími kotouče, a tím i snadnou manipulaci se stříhaným materiálem. Speciálním nástrojem jsou kmitací nůžky. Slouží k ostříhování výlisků a k vystříhování drážek a děr. Maximální tloušťka materiálu je kolem 10 mm. [2]



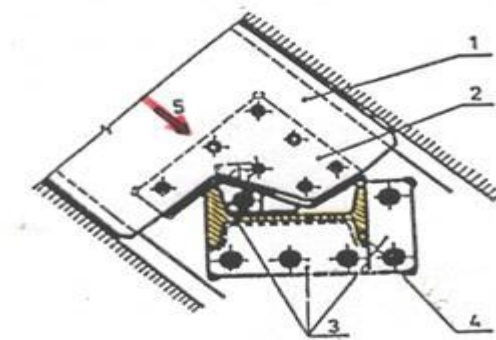
Obr.15 Kotoučové nůžky při stříhání pásů



Obr.16 Křivkové nůžky s různým uspořádáním nožů

2.5.4 Stříhání noži na profily a tyče

Často se stříhá také profilový materiál, čtvercový, kruhový, profily, atd. Zatímco příčný průřez funkčních částí nástrojů zůstává ve všech případech zhruba beze změny, mění se podélný tvar podle účelu stříhu.

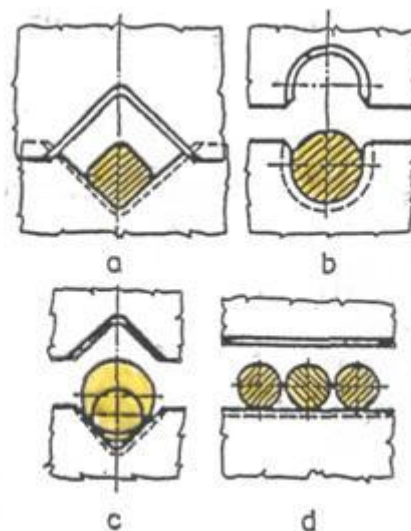


Obr.17 Nože na stříhání profilu

1 – střížník, 2 – pohyblivý nůž, 3 – pevný nůž, 4 – stříhaný profil, 5 – směr pohybu nože

Při stříhání jakéhokoliv profilového materiálu platí zásada, aby přestřihovaná tloušťka v každém okamžiku byla téměř stále stejná. Této zásadě se potom přizpůsobuje obrys pohyblivého nože. Na obrázku je ukázán tvar nože pro stříhání profilů a tvar nožů určený jednak pro stříhání čtvercových profilů, jednak tvar nožů pro stříhání kulatiny. Při šikmém posuvu pohyblivé části nástroje se docílí rovnoměrnějšího průběhu střižné síly v závislosti na zdvihu, než kdyby se volil pohyb nože podle některé z os průřezu.

Při stříhání trubek, při jejich pokud možno minimálním zdeformování, má pohyblivá část nástroje tvar oblouků zakončených špičkou. Zašpičatělá část nejprve trubku propíchně, boky potom trubku stříhají tak, že výslednice sil na břitu směřuje kolmo vůči směru nejvyšší tuhosti. Střižná mezera není rovněž po celé délce stejná, od krajů směrem ke středu roste. [2]

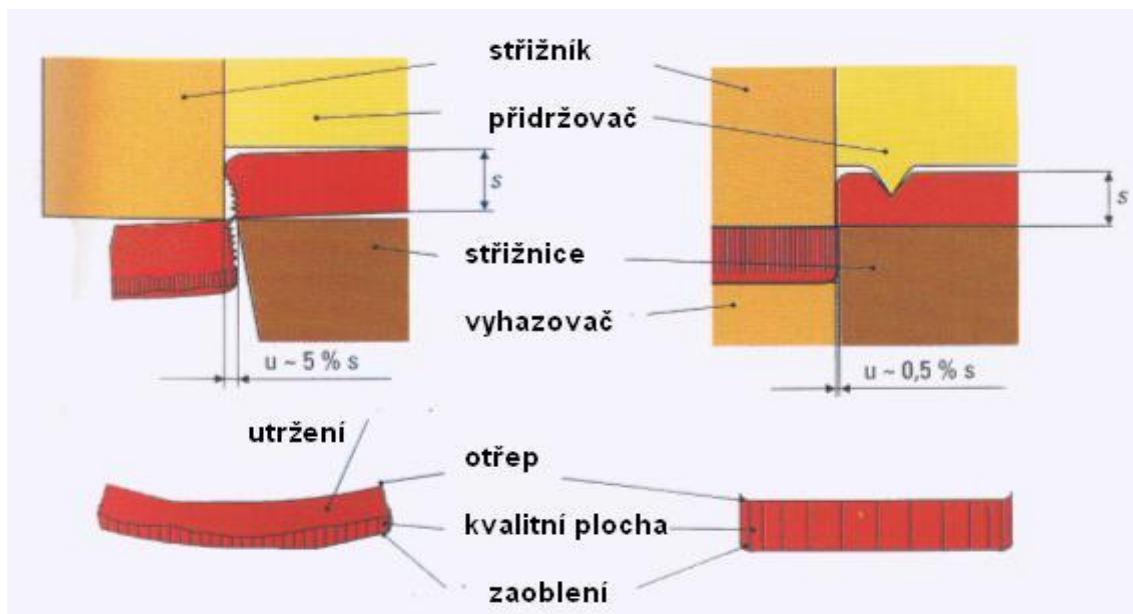


Obr.18 Nože na čtvercový a kruhový materiál

a – čtvercový průřez, b – kruhový průřez, c – kruhový průřez s rozdílným průměrem, d – kruhový průřez s povolenou deformací profilu [2]

2.6 Přesné stříhání

Při popsaných metodách stříhu má střižná plocha i vystřižený kus určitou standardní jakost. Jedná se o drsnost povrchu střižné plochy a přesnost střižných rozměrů. Kvalita stříhu pro normální a přesné stříhání.

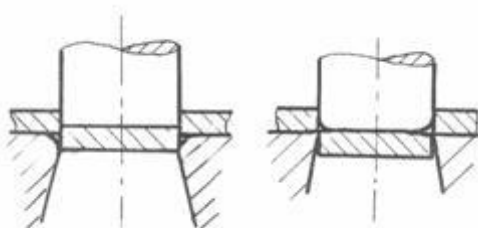


Obr.19 Kvalita stříhu pro normální a přesné stříhání

Aby bylo možno stříhané díly používat přímo na montáž bez z dalších úprav, snažili se technologové vylepšit střížný proces. Všechny metody, zlepšující jakost povrchu střížné plochy a zpřesňující stříhané rozměry se uvádějí pod společným označením - přesné stříhání. Pro kvalitu výstřížku je velmi důležitá vůle (mezera) mezi střížníkem a střížnicí, neboť se zmenšující se mezerou se eliminují tahové složky napětí od ohybového namáhání a napjatost se blíží čistému smyku. [2]

2.6.1 Stříhání bez vůle

Stříhání bez vůle je ukázáno na obrázku. Jedna funkční část nástroje, buď střížník nebo střížnice je vypracována bez bříty, se zaoblením střížné strany. Druhá část je nabroušena. Uspořádání vlevo je určeno pro kvalitní povrch díry, vpravo pro kvalitní povrch výstřížku.



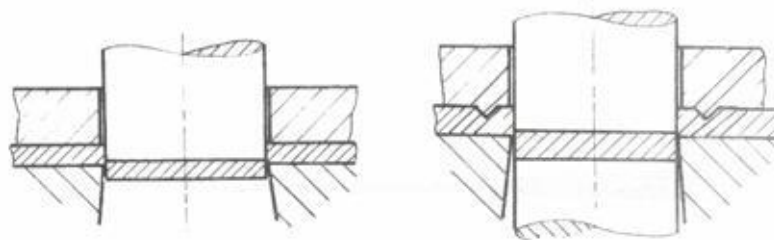
Obr.20 Stříhání bez vůle

2.6.2 Stříhání s přidržovačem

Proti ohýbání okrajů výstrižků i pro zlepšení povrchu střížných ploch působí použití přidržovače při stříhání. K tahové složce napjatosti přibývá složka tlaková, která zlepšuje stav napjatosti v místě stříhu. [2]

2.6.3 Stříhání s nátláčnou hranou

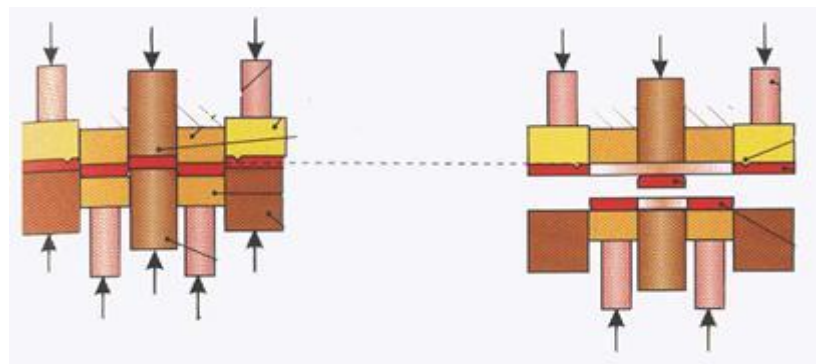
Velmi dobré výsledky v oboru přesného stříhání přináší tzv. stříhání s nátláčnou hranou, resp. stříhání s nátláčnou hranou. Nátláčná hrana se prolisuje v oblasti střížného obvodu, kde změni napjatost ve střížné ploše na trojosou, nátláčná hrana způsobí navíc složku tlakovou, která usnadňuje přiblížení k čistému smyku. Protitlak je zajištěn odpruženým spodním lisovníkem. Toto uspořádání umožňuje stříhání načisto i u poměrně tlustých materiálů. Pro tlustší materiály (tloušťka větší, jak 5 mm) se můžou použít dvě obvodové hrany, nebo jedna na střížníku a jedna na střížnici. [2]



Obr.21 Stříhání s přidržovačem a stříhání s nátláčnou hranou a protitlakem

2.6.4 Reversní stříhání

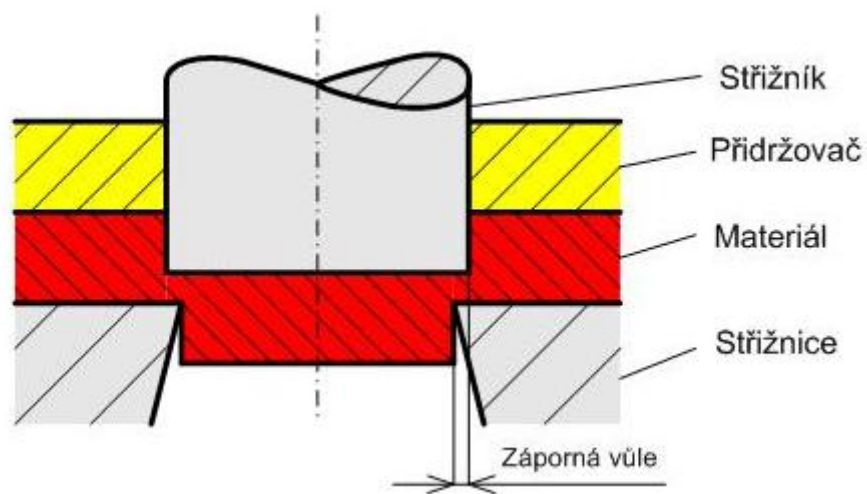
Reversní stříhání je založeno na sevření polotovaru tak, že se neprojeví tahové složky napjatosti.



Obr.22 Reversní stříhání

2.6.5 Stříhání se zápornou vůlí

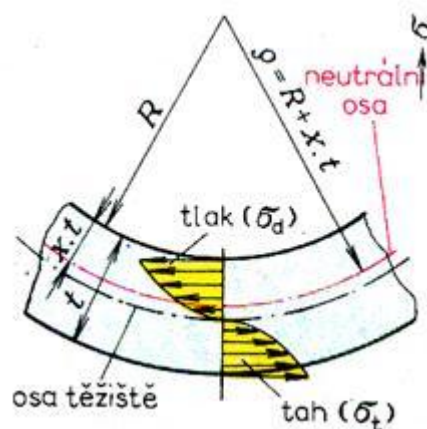
Stříhání se zápornou vůlí je proces, kdy střížník nepronikne do otvoru ve střížnici. Průměr střížníku je zhruba o 0,1 až 0,2 % tloušťky plechu větší, než je průměr střížnice. Střížník musí zůstat nad rovinou střížnice ve vzdálenosti 0,2 až 0,5 mm a tím vyvolává v materiálu (mezikruží) tlakové napětí, kdy však střížná síla je větší. Střížník nejenom stříhá, ale i kmitá a tím střížnou plochu vyleští. [2]



Obr.23 Stříhání se zápornou vůlí

3 OHÝBÁNÍ

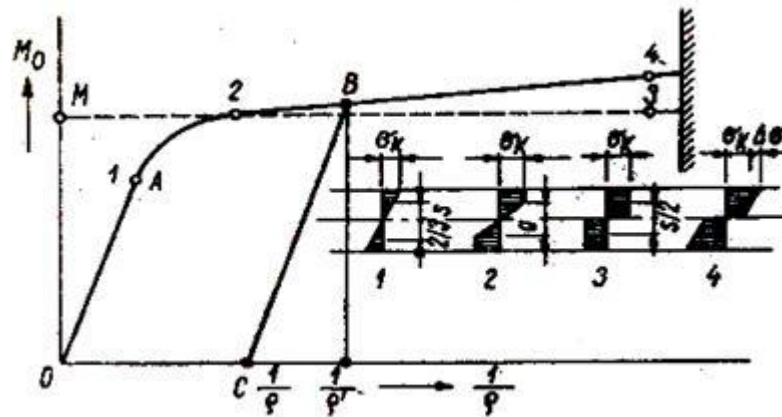
Ohýbání je proces tváření, při kterém se materiál trvale deformuje, mění svou křivost a to buď s menším nebo větším rádiusem. K ohýbání se používá nástrojů – tzv. ohýbadel, které se skládají se z ohybníku a ohybnice. Výrobkem je výlisek, ohybek. Ohnutí tělesa (vzniklé tvary jsou nazpět rozvinutelné) do žádoucího tvaru využívá stejných zákonů plasticity, jako ostatní způsoby tváření - překročením meze kluzu dosáhneme oblasti plastické deformace. Plastická deformace je doprovázena deformací elastickou. Po průřezu je to pružně plastická deformace, která má různý průběh od povrchu materiálu k neutrální ose. [2]



Obr.24 Rozložení a velikost napětí v materiálu

3.1 Rozložení napětí

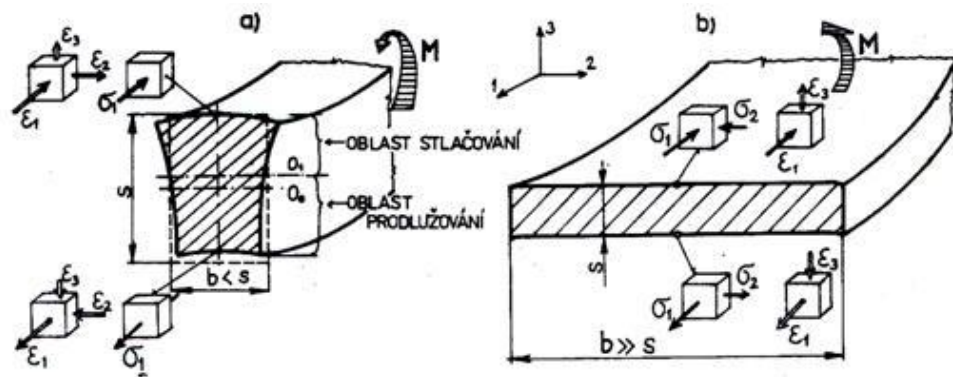
Při ohýbání jsou napětí v krajních vláknech materiálu opačného smyslu (tah, tlak). Oblast 1, ukazuje rozložení napětí v příčném průřezu materiálu namáhaného ohybem, a to pod mezí kluzu. Pokud se napětí zvýší nad hodnotu meze kluzu, vyvolá to růst plastické deformace. Při tom se napětí v pásmech plasticky deformovaných nad hodnotu meze kluzu nezvětšuje (oblast 2). Zvětšujeme-li ohýbací moment přestane pružné jádro existovat a velikost napětí se již nemění – oblast 3. Pokud uvažujeme zpevňování materiálu při tváření za studena, platí poměry podle schématu oblasti 4 a obrázku vpravo. V okolí neutrální osy je pásmo pružných deformací, které je příčinou odpružování po odlehčení.



Obr.25 Rozložení napětí v příčném průřezu při ohybu materiálu

V místě ohybu vykazuje tedy ohýbaný materiál tři pásma.

- pásmo pružných deformací kolem neutrální osy
- vnější pásmo trvalého prodloužení,
- vnitřní pásmo trvalého napěchování



Obr.26 Napjatost a deformace v ohýbaném materiálu

[2]

3.2 Odpružení

Přestanou-li působit vnější síly na deformované těleso, těleso se částečně vrátí do původních, tj. těleso odpruží. Zatímco u jiných technologií je odpružení prakticky zanedbatelné, při ohýbání má značný význam. Odpružení při ohybu se projevuje jako úhlová odchylka, jejíž význam roste s délkou ramen. Zpětné odpružení ohýbaných součástí je způsobeno vlivem pružné deformace materiálu kolem neutrální osy. Velikost úhlů odpružení závisí na

tvárnosti materiálu, poloměru ohybu a způsobu ohýbání. Odpružení se pohybuje v rozmezí 3 až 15°. [2]

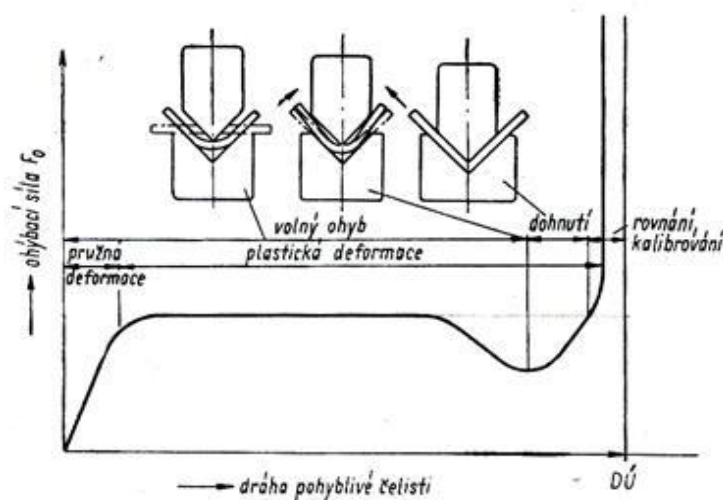


Obr.27 Odpružení materiálu pro ohyb tvaru V a U

Materiál	R/t	
	0,8 až 2	>2
320 MPa	1°	3°
Ocel σ_{Pt} 320 až 400 MPa	3°	5°
400 MPa	5°	7°
Mosaz měkká	1°	3°
Mosaz tvrdá	3°	5°
Hliník	1°	3°

Tab.4 Hodnoty úhlu odpružení pro vybrané materiály

Velikost odpružení můžeme eliminovat tak, že materiál ohneme více o úhel odpružení, který se určí buď pomocí empirických vztahů nebo na základě tabulek, popřípadě se použije tzv. kalibrace, kdy se zvětší lisovací síla a dojde k místní plastické deformaci v místě ohybu a hodnota odpružení se výrazně sníží nebo zmizí úplně.



[2]

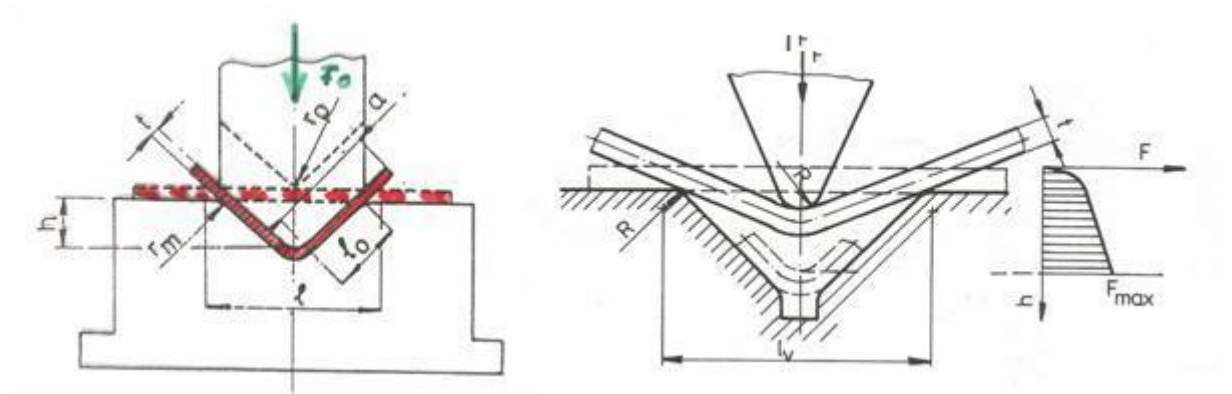
Obr.28 Průběh ohýbací síly včetně kalibrace

3.3 Výpočet síly a práce při ohýbání

Základním typem ohýbání je ohyb do tvaru *V* a *U*.

3.3.1 Ohyb do tvaru „V“

Pro ohyb tvaru *V* se síla a práce počítá následujícím způsobem:



Obr.29 Ohyb do tvaru *V*

Ohýbaný výrobek můžeme považovat za nosník o dvou podporách zatížený silou uprostřed obou podpor. Poté platí:

$$M_o = \sigma_o \cdot W_o = F_o \cdot l / 4 = b \cdot t^2 \cdot \sigma_o / 4 \Rightarrow F_o$$

kde:

- F* ohýbací síla (pro kalibraci $F_c = 2 \cdot F$) [N],
- b* ... šířka polotovaru [mm],
- l* ... vzdálenost podpěr [mm],
- t* ... tloušťka polotovaru [mm],
- σ_o ... ohybové napětí

$$\sigma_o = R_m \cdot C \text{ [MPa]},$$

- W_o ... průřezový modul v ohybu [mm³],
- C* ... součinitel zpevnění ($C = 1 + 4 \cdot s / l$),
- R_m ... mez pevnosti [MPa]

$$A = F_o \cdot k_1 \cdot h$$

- kde F ... ohýbací síla (pro kalibraci $F_c = 2 \cdot F$) [N],
 h ... zdvih (koncová poloha) [m],
 k_1 ... koeficient průběhu F ($k_1 = 1/3$)

Podobně se ohýbací síla počítá jako:

$$M_o = \sigma_o \cdot W_o = F_o \cdot l / 4 = W_o \cdot R_m \cdot (1,3 + 0,8 \cdot \varepsilon) \Rightarrow F_o$$

tuto sílu je třeba zvětšit o celkové tření pracovních částí ohýbadla a ohýbané součástky, které se rovná $1/3 F_o$ ($F = F_o + 1/3 F_o$). Pokud budeme uvažovat současně i kalibrování je potřeba ještě připočítat sílu

$$F_k = S \cdot q$$

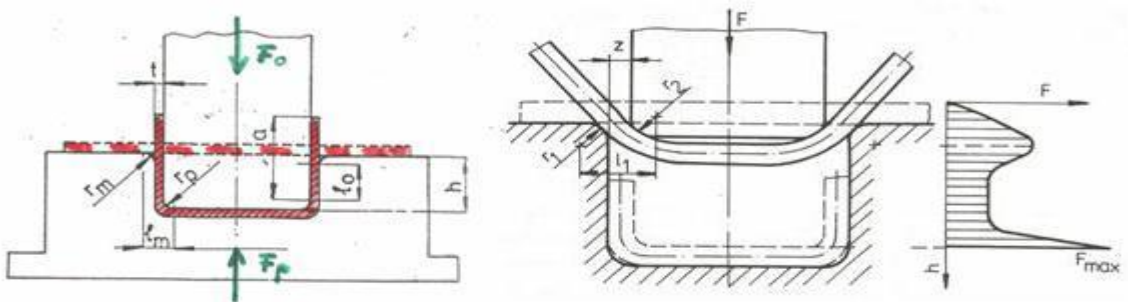
- kde S ... plocha kalibrovaného materiálu [mm²],
 ε ... poměrné prodloužení v tahu,
 q ... specifický tlak na vyrovnání (30 až 150 MPa) [MPa].

Celková síla je poté rovna (ale např. při speciální úpravě ohybníku proti odpružení, celková síla vzroste o dalších 25 %).[2]

$$F = 1,3 F_o + F_k$$

3.3.2 Ohyb do tvaru „U“

Pro ohyb do tvaru U se síla a práce vypočte následujícím způsobem, kdy ohyb probíhá současně ve dvou průřezích:



Obr.30 Ohyb do tvaru U

$$M = 2 \cdot M_o = \sigma_o \cdot W_o = b \cdot t^2 \cdot \sigma_o / 2 \quad \Rightarrow \quad F_o$$

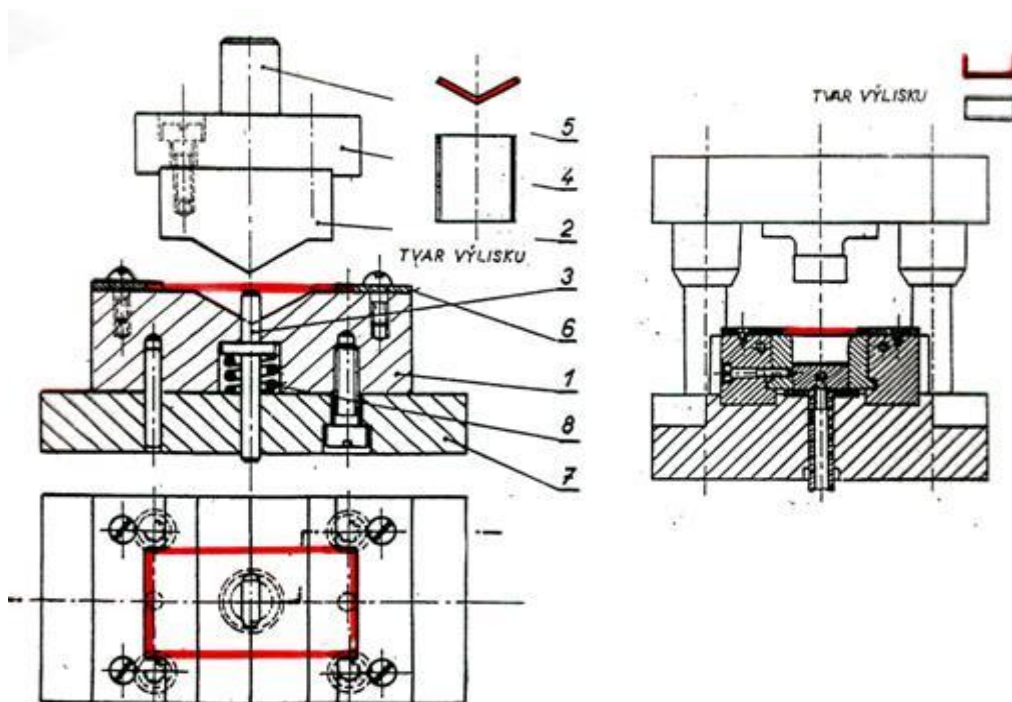
- kde F ... ohýbací síla (pro kalibraci $F_c = F + F_p$) [N],
 F_p ... síla přidržovače ($F_p = 0,25$ až $0,30 F$) [N],
 b ... šířka polotovaru [mm],
 t ... tloušťka polotovaru [mm],
 σ_o ... ohybové napětí ($\sigma_o = R_m \cdot C$) [MPa],
 C ... součinitel zpevnění ($C = 1,6$ až $1,8$),
 R_m ... mez pevnosti [MPa].

$$A = F \cdot k_2 \cdot h$$

- kde F ... ohýbací síla (pro kalibraci $F_c = F + F_p$) [N],
 h ... zdvih (koncová poloha) [m],
 k_2 ... koeficient průběhu F ($k_2 = 2/3$)

3.3.3 Ohýbací nástroje

Nástroj pro ohýbání je *ohýbadlo* a hlavní části jsou *ohybník* a *ohybnice*, popř. základní dorazy. Ohýbadla se dělí dle způsobu a technologie ohýbání, nejčastěji pro ohýbání do tvaru U a V. Většinou nejsou samostatná a konstruují se jako nástroje sdružené.



[2]

Obr.31 Ukázka nástrojů pro ohyb do tvaru V (vlevo) a U (vpravo)

Cílem praktické části práce je navrhnout vhodné nástroje, materiál a technologie pro výrobu dílu, který je součástí výtahové kabiny. Díl bude modelován ve 3D systému a konečný rozvinutý tvar vyskládán do tabule z důvodu optimálního využití. Součástí práce bude také výkresová dokumentace.

II. PRAKTICKÁ ČÁST

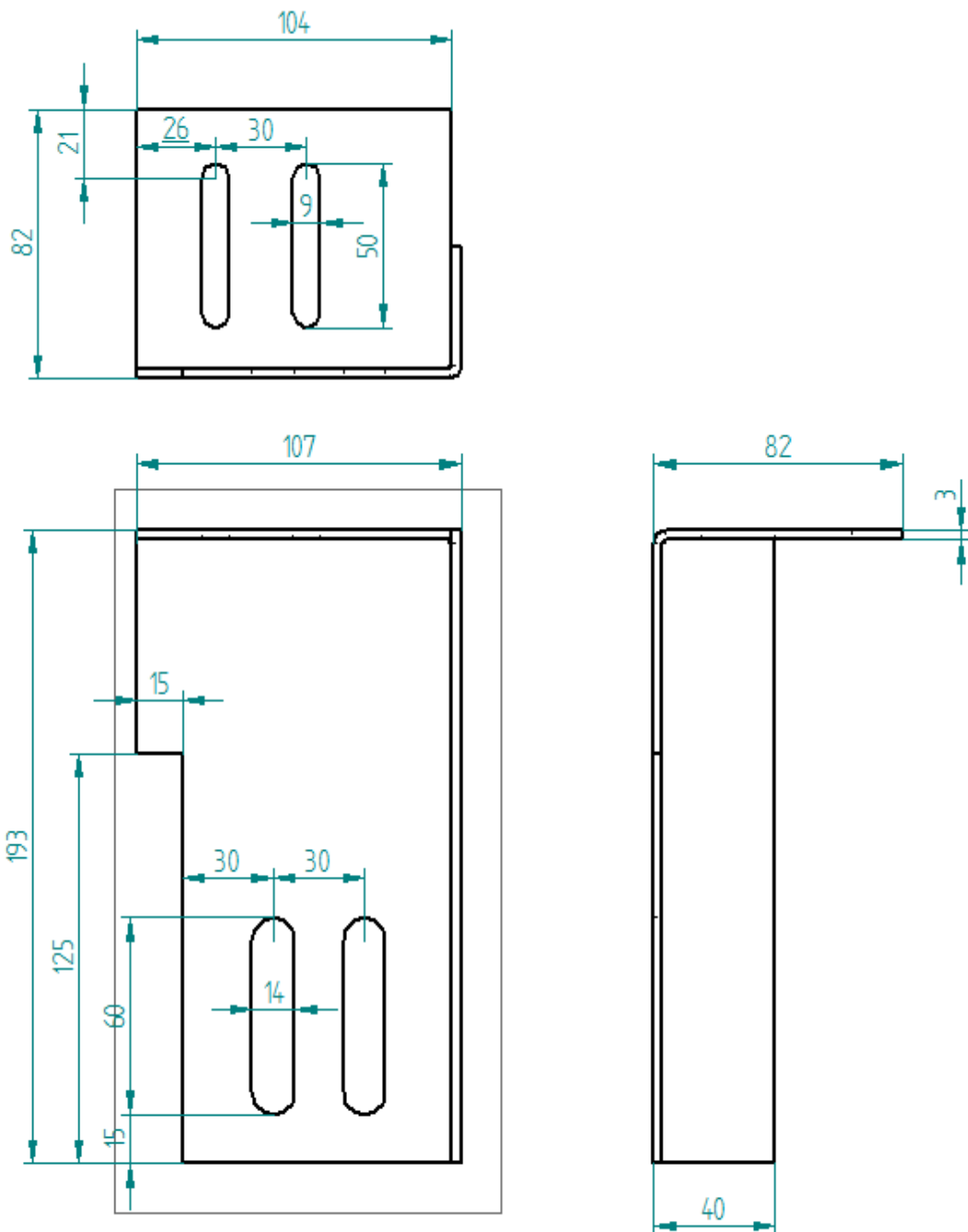
4 TECHNOLOGICKÁ ČÁST

Pro výrobu jednoduchého dílce, který je součástí prahu výtahové klece je třeba nakreslit požadovaný tvar součásti, zvolit materiál ze kterého se bude vyrábět a poté technologii jakou se bude zpracovávat. Měsíční série se bude pohybovat kolem 500 kusů.

4.1 Výkresová dokumentace součásti



Obr.32 3D model součásti



Obr.33 2D výkresová dokumentace

2D dokumentace byla vytvořena v programu AutoCad 2010, který patří mezi velmi dobré softwary v oblasti konstruování.

3D dokumentace byla vytvořena v programu Solid Edge ST3, kdy systém je primárně určený pro návrh strojírenských konstrukcí. Jeho funkce však umožňují vytvářet mnohem

více. Od designu nábytku přes 3D modelování komplexních ploch, až po virtuální prototypy ve formě rozsáhlých sestav o stovkách tisíc dílů.

4.2 Volba materiálu součásti

Protože dílec není nijak zatížený a plní funkci pouze držáku, který není nikterak namáhaný a jediný požadavek je na svařitelnost, volím materiál 11375, plech válcovaný za tepla. S obsahem uhlíku max. 0,17%. Konstrukční ocel obvyklé jakosti vhodná ke svařování. Součásti konstrukcí a strojů středních tloušťek tavně svařované, namáhané staticky i dynamicky. Součásti vyráběné z plechů, podélně svařovaných dutých profilů a součásti kované pro tepelná energetická zařízení a tlakové nádoby pracující s omezeným přetlakem a teplotou do 300 °C. Vtokové objekty vodních turbín, spirální skříně vodních turbín, vrata plavidlových komor, klapky uzávěrů, svařované kulové uzávěry apod. Spojky a podvozky vagónů. Mez kluzu $Re \text{ min.} 235 \text{ MPa}$, mez pevnosti $R_m = 450 \text{ MPa}$. Označení materiálu dle ČSN EN 10027-1 S235JRG2.

4.3 Volba technologie výroby

Z důvodu výroby většího počtu kusů a také tlaku na co možná nejnižší cenu volím technologii vysekávání na vysekávacím lise firmy Trumpf.

Tento multifunkční stroj patří mezi nejrychlejší vysekávací stroje na světě. Vyrábí se od roku 2008 a je určený na zpracovávání plechů do síly 8 mm. TruPunch 5000 za pomoci speciálních nástrojů dokáže kromě vysekávání také závitovat, ohýbat, lisovat, tvářet, zahlubovat, značit a mnoho dalších operací. Stroj je nachystaný na malo i velkoseriovou výrobu, proto je vybaven i přípojkou na automatický zakladač plechů. Díky multifunkčnosti, rychlosti a hospodárnosti dokáže nabídnout TruPunch 5000 výrobky s co nejnižší cenou.



Obr.34 Vysekávací lis TruPunch 5000

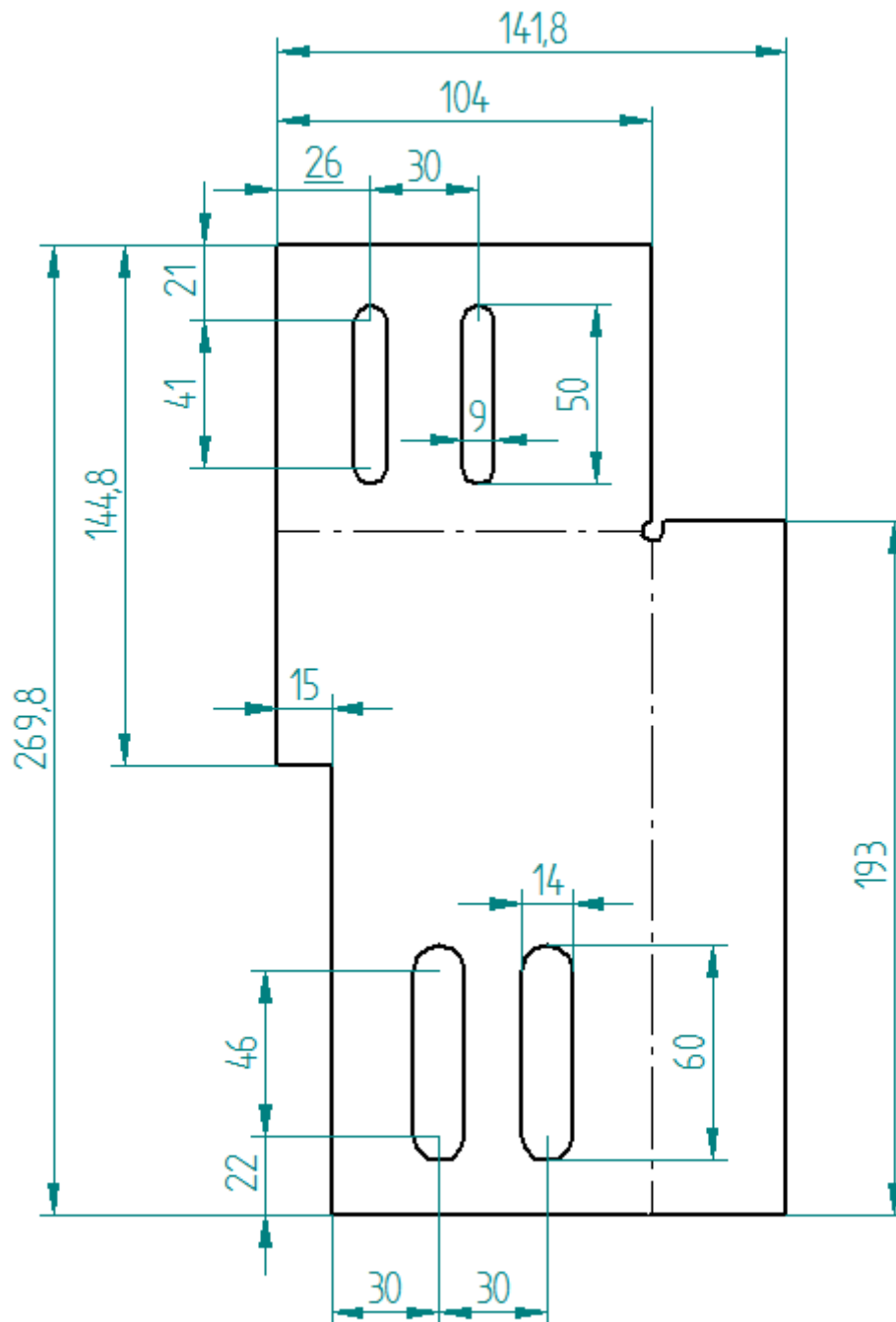
Pro ohýbání dílce sem zvolil ohraňovací lis TruBend 5130, který se vyznačuje velmi vysokou produktivitou a přesností. Díky novým pohonům byla u něj zkrácena doba cyklu až o 30%, rychlost spouštění a zdvihu až 220 mm. Teplotně málo namáhaný rám stroje zaručuje nejlepší kvalitu od prvního do posledního ohybu. Souhra přesně řízených stavěcích motorů, přesně měřené dráhy beranu i teplotně nezávislé vyrovnávání pnutí materiálu a úhlové senzory ACB spolehlivě zajišťují stálou kvalitu ohybů. Nově vyvinuté řízení Trumpf nabízí optimální pracovní postupy. Je intuitivní a vede krok za krokem při vytváření programu. Obratem ruky je stroj připraven zpracovávat další zakázku. Řídící systém je otevřený a schopný komunikace s okolím, takže umožňuje snadnou integraci lisu do výrobních linek.



Obr.35 Ohraňovací lis TruBend 5130

4.4 Rozvinutý tvar dílce

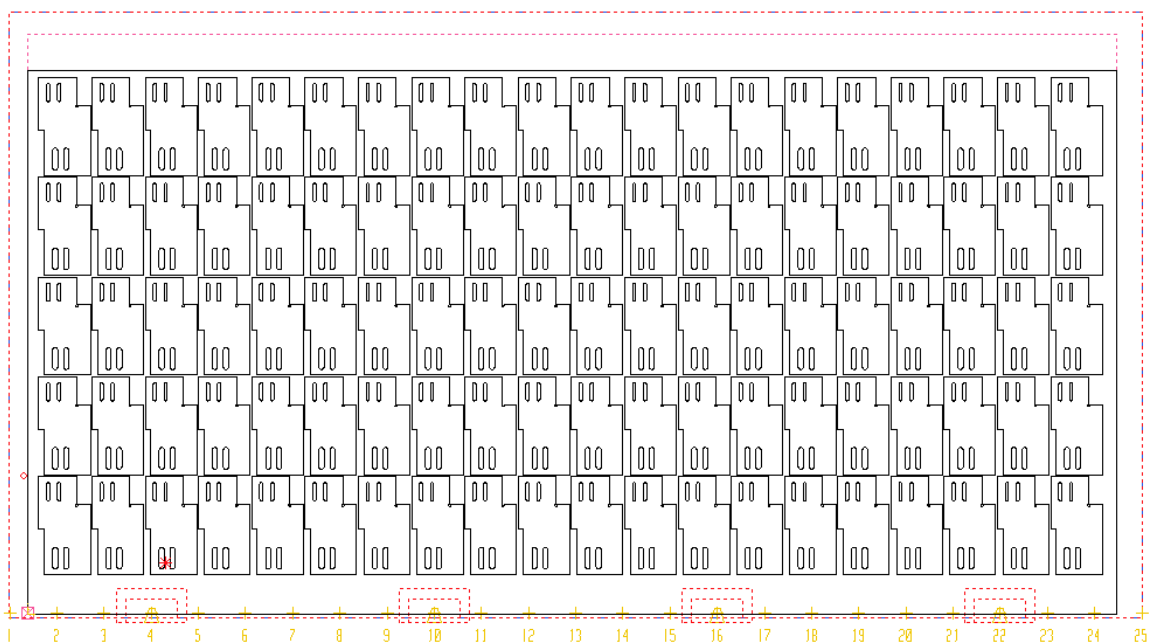
Pomocí 3D Cadu Solid Edge ST3 jsem z modelu vygeneroval rozvinutý tvar dílce, který bude dále použit pro další zpracování. V dalším kroku jsem ještě pro ověření rozměrů zadal požadovanou součást do interního programu ohraňovacího lisu a výsledné hodnoty z obou programů byly prakticky totožné, lišili se pouze v setinách milimetru, což jsou hodnoty vůči tolerancím na výkrese naprosto přijatelné.



Obr.36 Rozvinutý tvar dílce

4.5 Optimální vyskládání dílců do tabule

Vyskládání dílců do tabule je velmi důležitý krok, protože představuje jednu z hlavních složek konečné ceny výrobku. Dalším neméně důležitým krokem je způsob vyskládání. Protože jsem se rozhodl dílec zpracovávat pomocí technologie vysekávání, musí k tomu být také vhodně uspořádány díly na tabuli již s ohledem na budoucí osazení nástroji. Správné osazení vhodnými nástroji zkrátí strojní čas, což opět sníží cenu výrobku.



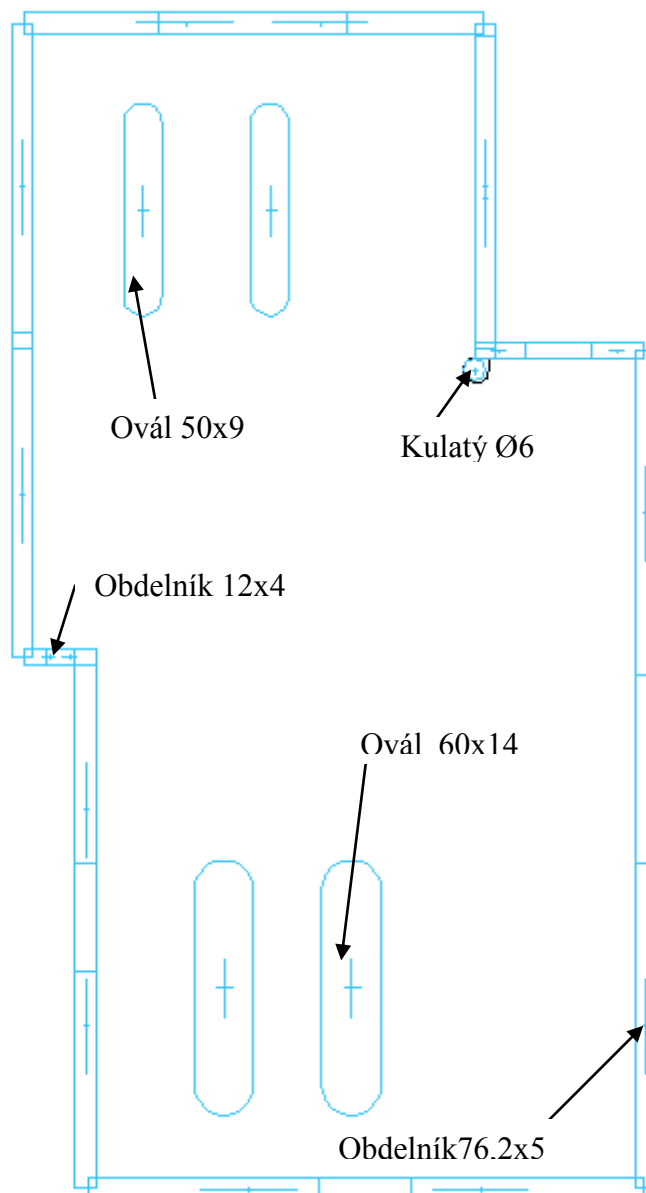
Obr.37 Vyskládání dílců do tabule

Jako polotovár jsem zvolil plech síly 3 mm o rozměrech 3000x1500mm a váze 105,97kg . Do daného formátu se vyskládá 100 kusů a každý kus má čistou hmotnost 0,7371 kg což znamená, že využitelnost tabule je 69,55% a zbytek materiálu představuje nepoužitelný odpad.

4.5.1 Osazení dílce nástroji

Pro vysekání dílce jsem použil střížníky těchto rozměrů:

- Obdélník 76,2x5 mm
- Obdélník 12x4 mm
- Ovál 60x14 mm
- Ovál 50x9 mm
- Kulatý Ø 6mm



Obr.38 Osazení dílce nástroji

4.5.2 Stanovení střížné vůle

Správné stanovení střížné vůle má vliv na životnost nástrojů, na jakost střížné plochy a na velikosti střížní síly i práce. Vůle mezi břity závisí na tloušťce materiálu a na jeho pevnosti. U děrovacích nástrojů je střížník o dvojnásobnou hodnotu vůle menší než je příslušný rozměr střížnice. Dále je třeba rozhodnout, které ústrojí bude mít jmenovitý rozměr výrobku. Jde-li o vystřížení otvoru, pak jeho rozměrům budou odpovídat rozměry střížníku. Rozměr střížnice bude větší než rozměr střížníku o dvojnásobnou hodnotu vůle. Jde-li přímo o vystřížení dílce, pak jeho rozměrům musí odpovídat průchod ve střížnici a střížník je tudíž o dvojnásobek hodnoty vůle menší.

Výpočet vůle mezi břity:

$$v/2 = m_s = 0,32 \cdot c \cdot s \cdot \sqrt{\tau_m} = 0,32 \cdot 0,017 \cdot 3 \cdot \sqrt{360} = \underline{0,3 \text{ mm}}$$

$$\tau_m = 0,8 \cdot R_m = 0,8 \cdot 450 = \underline{360 \text{ MPa}}$$

celková vůle bude tudíž $2 \cdot 0,3 = \underline{0,6 \text{ mm}}$

kde c - součinitel $c = 0,005$ až $0,035$ (zvoleno $0,017$)
 τ_m - pevnost ve stříhu stříhaného materiálu [MPa]
 s – tloušťka materiálu

Rozměry střížnic tedy budou:

Pro střížník 76,2x5 mm bude rozměr střížnice 76,8x5,6 mm

Pro střížník 12x4 mm bude rozměr střížnice 12,6x4,6 mm

Pro střížník 60x14 mm bude rozměr střížnice 60,6x14,6 mm

Pro střížník 50x9 mm bude rozměr střížnice 50,6x9,6 mm

Pro střížník Ø6 mm bude rozměr střížnice Ø 6,6 mm

4.6 Výpočet střížné síly

Střížná síla pro vysekávání obdélníkového otvoru 76,2x5mm

Délka střížné hrany $l=162,4\text{mm}$

$$F_s = \tau_m * l * s * k_1 * k_2 * k_3 = 360 * 162,4 * 3 * 1,1 * 1,1 * 0,5 = 106,1 \text{ kN}$$

$$\tau_m = 0,8 * R_m = 0,8 * 450 = 360 \text{ MPa}$$

Střížná síla pro vysekávání obdélníkového otvoru 12x4mm

Délka střížné hrany $l=32\text{mm}$

$$F_s = \tau_m * l * s * k_1 * k_2 * k_3 = 360 * 32 * 3 * 1,1 * 1,1 * 0,5 = 20,9 \text{ kN}$$

Střížná síla pro vysekávání oválu 60x14mm

Délka střížné hrany $l=136\text{mm}$

$$F_s = \tau_m * l * s * k_1 * k_2 * k_3 = 360 * 136 * 3 * 1,1 * 1,1 * 0,5 = 88,86 \text{ kN}$$

Střížná síla pro vysekávání oválu 50x9mm

Délka střížné hrany $l=110,3\text{mm}$

$$F_s = \tau_m * l * s * k_1 * k_2 * k_3 = 360 * 110,3 * 3 * 1,1 * 1,1 * 0,5 = 72,07 \text{ kN}$$

Střížná síla pro vysekávání díry průměru 6mm

Délka střížné hrany $l=18,85\text{mm}$

$$F_s = \tau_m * l * s * k_1 * k_2 * k_3 = 360 * 18,85 * 3 * 1,1 * 1,1 * 0,5 = 12,3 \text{ kN}$$

4.7 Výpočet ceny výrobku

Vstupní hodnoty pro výpočet ceny práce na děrovacím lise TruPunch 5000:

Hodinová režie stroje (RHOD)	1630 Kč/hod.
Hmotnost tabule (HT)($\rho=7850\text{kg/m}^3$)	105,975 kg
Cena materiálu (CM)	16 Kč/kg
Počet kusů na tabuli (PK)	100 ks
Čistý strojní čas programu (100ks) (ČČ)	10 minut
Přípravný čas programu (PČ)	15 minut
Celkový čas strojní+příprava (CČ)	25 minut

Výpočet režie za minutu práce na stroji (RMIN):

$$RMIN = RHOD/60 = 1630/60 = 27,1666 \text{ Kč/min}$$

Výpočet celkové ceny a ceny za kus (CC):

$$CC = RMIN * (CČ) = 27,1666 * 25 = 679,16 \text{ Kč/100 ks}$$

Cena práce za jeden kus (CK):

$$CK = CC/PK = 679,16/100 = 6,7916 \text{ Kč/ks}$$

K tomu, aby byla stanovena celková cena výrobku, je potřeba ještě přičíst cenu za materiál. Ta se vypočítá tak, že se celková váha tabule podělí počtem kusů na tabuli a tím dostaneme hrubou váhu jednoho kusu (HV). Tato váha se následně vynásobí kilovou cenou materiálu a dostaneme cenu za jeden kus.

$$HV = HT/PK = 105,975/100 = 1,05975 \text{ kg/ks}$$

$$\text{Cena materiálu na jeden kus} = HV * CM = 1,05975 * 16 = 16,956 \text{ Kč/ks}$$

Celková cena výrobku je součet ceny práce a ceny materiálu na kus:

$$6,7916 + 16,956 = \underline{\underline{23,75 \text{ Kč/ks}}}$$

4.8 Ekonomická rozvaha

Pro měsíční sérii přibližně 500 ks se opravdu jako nejvhodnější technologie jeví technologie stříhání. Celková cena na tomto stroji pro jeden kus činí 23,75kč/ks. Mezi další uvažovanou technologií výroby tohoto dílce byl laser, kde cena za práci dosahovala 25,45kč/ks a poslední technologií byla plasma, která ovšem nemůže v této tloušťce plechu a při dané sériovosti kusů konkurovat a cena za jeden kus se zde pohybuje kolem 39,46kč/ks. Ceny na laseru a plasmě se počítají obdobným způsobem jako na děrovacím lise, jen s tím rozdílem, že každý z těchto strojů má jinou hodnotu režie a také jednotlivé čisté strojní časy nejsou totožné.

ZÁVĚR

V teoretické části této práce byl proveden úvod do problematiky tváření a strojírenství jakožto celku. V dalším kroku jsou stručně popsány jednotlivé technologie tváření, jako například ražení, tažení, protlačování a největší důraz je kladen na stříhání a ohýbání, protože právě tyto dvě technologie navazují dále na praktickou část práce.

Úkolem praktické části byla volba tvaru součásti, vhodného materiálu a zejména volba technologií, jakou se bude díl vyrábět, aby výsledné náklady byly co možná nejnižší.

Po výběru vhodné technologie, kterou bylo stříhání, se vypočítaly střížné síly a zejména se stanovily přesné rozměry střížníků a střížnic.

V závěru je také ekonomická rozvaha celé práce a ta ukázala, že prvotní volba technologií výroby dané součásti byla správná a konečná cena výrobku v závislosti na možnostech strojového parku je nejnižší.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] FOREJT, Milan, Píška, Miroslav. Teorie obrábění, tváření a nástroje 1. vyd. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2006. ISBN 80-214-2374-9
- [2] Doc. Dr. Ing. Petr Lenfeld, Technická univerzita Liberec, Fakulta strojní
http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta_tkp/sekce/06.htm
- [3] Novotný J. CSc., LANGER Z. Stříhání a další způsoby dělení kovových materiálů. 1. vyd. [s.l.] : [s.n.], 1980. 216 s.
- [4] Bobčík L. Střížné nástroje pro malosériovou výrobu 1. vyd. Praha: SNTL 1983 216s 04-229-83
- [5] Jiří Petruželka, Richard Březina, Vysoká škola báňská- technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, Úvod do tváření II plošné tváření
http://www.345.vsb.cz/jiripetruzelka/texty/uvod_tv2.pdf
- [6] NOVOTNÝ, Karel, MACHÁČEK, Zdeněk. Speciální technologie I: Plošné a objemvé tváření. 2.vyd. Brno: Nakladatelství VUT, 1992. 171 s. ISBN 80-214-0404-3
- [7] DVOŘÁK, Milan, GAJDOŠ, František, NOVOTNÝ, Karel. Technologie tváření: Plošné a objemové tváření. 4. vyd. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2007. 169 s. ISBN 978-80-214-3425-7
- [8] Leinveber, J., Řasa, J., Vávra, P. Strojnické tabulky. 3. vyd. doplněné. Praha: Scientia, spol. s r.o., 2000. 985 s. ISBN 80-7183-164-6
- [9] BLAŠTÍK, F. A KOL. Technológia tvárnenia, zlievarenstva a zvarania, SNTL Praha,1988.

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

- v - střižná vůle [mm]
c - součinitel $c = 0,005$ až $0,035$
C - součinitel zpevnění
 R_m - mez pevnosti [MPa]
 R_e - mez kluzu [MPa]
s - tloušťka plechu [mm]
h - zdvih [mm]
l - délka střižné hrany [mm]
 k_1 - součinitel vyjadřující otupení břitu
 k_2 - součinitel vyjadřující tření mezi střižníkem, materiálem a střižnicí
 k_3 - součinitel vyjadřující průběh stříhu
 F_s - střižná síla [N]
 F_o - ohybová síla [N]
 M_o - ohybový moment [Nm]
 τ_m - pevnost ve stříhu stříhaného materiálu [MPa]
 σ_o - napětí v ohybu [MPa]
 W_o - modul průřezu v ohybu [mm³]
 ε - poměrné prodloužení

SEZNAM OBRÁZKŮ

<i>Obr.1 Dvojčatění</i>	14
<i>Obr.2 Fáze stříhání.....</i>	18
<i>Obr.3 Deformační pásma při stříhání</i>	19
<i>Obr.4 Schéma stříhání při malé a velké vůli</i>	20
<i>Obr.5 Průběh střížné síly při vystřihování.....</i>	21
<i>Obr.6 Vliv střížné mezery na průběh střížné síly</i>	22
<i>Obr.7 Průběh střížné síly při stříhání</i>	22
<i>Obr.8 Stupeň otupení břitů</i>	22
<i>Obr.9 Schéma stříhání pomocí střížného nástroje.....</i>	25
<i>Obr.11 Porovnání délky stříhu při stříhání rovnými, resp. šikmými noži</i>	26
<i>Obr.10 Stříhání skloněnými, šikmými, noži</i>	26
<i>Obr.12 Úpravy střížníku a střížnice</i>	27
<i>Obr.13 Stupňovité uspořádání střížníků</i>	27
<i>Obr.14 Stříhání materiálu taháním stříhem</i>	28
<i>Obr.15 Kotoučové nůžky při stříhání pásů</i>	29
<i>Obr.16 Křivkové nůžky s různým uspořádáním nožů</i>	29
<i>Obr.17 Nože na stříhání profilu.....</i>	29
<i>Obr.18 Nože na čtvercový a kruhový materiál</i>	30
<i>Obr.19 Kvalita stříhu pro normální a přesné stříhání.....</i>	31
<i>Obr.20 Stříhání bez vůle</i>	31
<i>Obr.21 Stříhání s přidržovačem a stříhání s nátláčnou hranou a protitlakem.....</i>	32
<i>Obr.22 Reversní stříhání.....</i>	32
<i>Obr.23 Stříhání se zápornou vůlí.....</i>	33
<i>Obr.24 Rozložení a velikost napětí v materiálu</i>	34
<i>Obr.26 Napjatost a deformace v ohýbaném materiálu.....</i>	35
<i>Obr.27 Odpružení materiálu pro ohyb tvaru V a U</i>	36
<i>Obr.28 Průběh ohýbací síly včetně kalibrace.....</i>	36
<i>Obr.29 Ohyb do tvaru V</i>	37
<i>Obr.30 Ohyb do tvaru U</i>	38
<i>Obr.31 Ukázka nástrojů pro ohyb do tvaru V (vlevo) a U (vpravo).....</i>	39
<i>Obr.32 3D model součásti</i>	42
<i>Obr.33 2D výkresová dokumentace</i>	43

<i>Obr.34 Vysekávací lis TruPunch 5000</i>	<i>45</i>
<i>Obr.35 Ohraňovací lis TruBend 5130</i>	<i>46</i>
<i>Obr.36 Rozvinutý tvar dílce</i>	<i>47</i>
<i>Obr.37 Vyskládání dílců do tabule</i>	<i>48</i>
<i>Obr.38 Osazení dílce nástroji</i>	<i>49</i>

SEZNAM TABULEK

<i>Tab.1 Velikost střížné vůle</i>	<i>20</i>
<i>Tab.2 Charakteristiky stříhacích operací</i>	<i>23</i>
<i>Tab.3 Charakteristiky stříhacích operací</i>	<i>24</i>
<i>Tab.4 Hodnoty úhlu odpružení pro vybrané materiály.....</i>	<i>36</i>