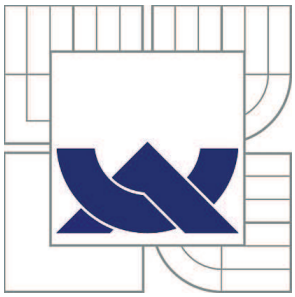


VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING
INSTITUTE OF MANUFACTURING TECHNOLOGY

VÝROBA ŘETĚZOVÉHO KOLEČKA U HORSKÉHO KOLA

MANUFACTURING OF CHAIN WHEEL FOR MOUNTAIN BIKE

DIPLOMOVÁ PRÁCE
MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE — Bc. STANISLAV HABR
AUTHOR

VEDOUCÍ PRÁCE — Ing. KAMIL PODANÝ, Ph.D.
SUPERVISOR

BRNO 2012

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Ústav strojírenské technologie
Akademický rok: 2011/2012

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

student(ka): Bc. Stanislav Habr

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

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

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

Výroba řetězového kolečka u horského kola

v anglickém jazyce:

Manufacturing of chain wheel for mountain bike

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Jedná se o návrh technologie výroby řetězového kolečka na horské kolo z ocelového plechu. Součástka je rotačního tvaru s mnoha otvory a ozubením. Bude vyráběna technologií přesného stříhání. Na tuto problematiku bude také zaměřena literární studie.

Cíle diplomové práce:

Provedení aktuální literární studie se zaměřením na technologii přesného stříhání spolu se zhodnocením výroby součástí obdobných tvarů. Následovat bude návrh vhodné technologie a vypracování postupu výroby součásti (provedení technologických a kontrolních výpočtů), návrh sestavy nástroje spolu s výrobními výkresy zadaných dílů, technicko-ekonomické hodnocení a závěr.

Seznam odborné literatury:

1. MARCINIAK, Z.; DUNCAN, J.L.; HU, S.J. Mechanics of Sheet Metal Forming. 2.ed. Oxford : Butterworth-Heinemann, 2002. 211 s. ISBN 07-506-5300-00.
2. FOREJT, Milan, PÍŠKA, Miroslav. Teorie obrábění, tváření a nástroje. 1. vyd. Brno : Akademické vydavatelství CERM, s. r. o., 2006. 217 s. ISBN 80-214-2374-9.
3. DVOŘÁK, Milan, GAJDOŠ, František, NOVOTNÝ, Karel. Technologie tváření: plošné a objemové tváření. 2. vyd. Brno: CERM, 2007. 169 s. ISBN 978-80-214-3425-7.
4. NOVOTNÝ, Karel. Tvářecí nástroje. 1. vyd. Brno: Nakladatelství VUT v Brně, 1992. 186 s. ISBN 80-214-0401-9.
5. VYSKOČIL,O., BARTOŠ,P. Směrnice pro konstrukci nástrojů pro přesné stříhání. 1. vyd. Brno: Zbrojovka Brno, 1977. 88 s.
6. HOSFORD, William F.; CADDEL, Robert M. Metal Forming : Mechanics and Metalurgy. 3th ed. New York : Cambridge University Press, 2007. 365 s. ISBN 978-0-521-88121-0.
7. NOVOTNÝ, J., LANGER, Z. Stříhání a další způsoby dělení kovových materiálů. 1. vyd. Praha: SNTL, Redakce báňské a strojírenské literatury, 1980. 216 s. L 13–B3-IV- 41/22674.

Vedoucí diplomové práce: Ing. Kamil Podaný, Ph.D.

Termín odevzdání diplomové práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2011/2012.

V Brně, dne 16.11.2010

L.S.

prof. Ing. Miroslav Píška, CSc. Ředitel ústavu	prof. RNDr. Miroslav Doupovec, CSc., dr. h. c. Děkan fakulty

ABSTRAKT

HABR Stanislav: Výroba řetězového kolečka u horského kola

Cílem práce je návrh součásti řetězového kolečka u horského kola. Vyrobeno bude z konstrukční oceli. Z variantního řešení byla zvolena nejoptimálnější výroba prostřednictvím přesného stříhání s tlačnou hranou se systémem nástroje, pohyblivý střižník – pevný přidržovač. Dle výpočtů a rozměrů byl vybrán lis od firmy Feintool. V ekonomickém zhodnocení je pro roční dávku 600000 ks stanovena cena jedné součásti 11,88 Kč.

Klíčová slova: Tváření, přesné stříhání, střižný nástroj, výstřižek, střižnice

ABSTRACT

HABR Stanislav: Manufacturing of chain wheel for mountain bike

The goal is to design components of chain wheel for mountain bike. It will be made of structural steel. The variant was chosen the most optimal production through precise cutting edge of pushing the system hard punch tool – movable retainer. According to the calculations and dimensions were selected from company press Feintool. The economic evaluation is the annual dose 600000 pcs fixed price of one component of 11,88 CZK.

Key words: Forming, fineblanking, cutting tool, cutting, punch

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

HABR, S. *Výroba řetězového kolečka u horského kola.* Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2012. 64 s. Vedoucí diplomové práce Ing. Kamil Podaný, Ph.D.

ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že diplomovou práci na téma „*Výroba řetězového kolečka u horského kola*“ jsem vypracoval samostatně s využitím uvedené odborné literatury, na základě konzultací a pod vedením vedoucího diplomové práce.

V Brně dne 25.5.2012

……

Podpis

PODĚKOVÁNÍ

Děkuji Ing. Kamilu Podanému, Ph.D. za cenné rady a připomínky při tvorbě diplomové práce.

OBSAH:

ZADÁNÍ ... *3*
ABSTRAKT ... *4*
BIBLIOGRAFICKÁ CITACE ... *5*
ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ ... *6*
PODĚKOVÁNÍ ... *7*
OBSAH: ... *8*

1 ÚVOD ... 9

2 ROZBOR SOUČASNÉHO STAVU ... 10

2.1 VARIANTY VÝROBY ... 11

3 PŘESNÉ STŘÍHÁNÍ S TLAČNOU HRANOU ... 17

3.1 TECHNOLOGICKÉ PODMÍNKY STŘÍHÁNÍ ... 19
3.1.1 Střižná vůle ... 19
3.1.2 Tvar, poloha a velikost tlačné hrany ... 20
3.1.3 Materiály vhodné pro stříhání ... 20
3.1.4 Vhodnost tvaru součásti pro přesné stříhání ... 22
3.1.5 Velikost postranního odpadu a šířky můstku ... 22
3.2 SÍLA A PRÁCE ... 23
3.3 NÁSTROJE PRO PŘESNÉ STŘÍHÁNÍ ... 24
3.3.1 Střižník ... 25
3.3.2 Střižnice a přidržovač ... 27
3.3.3 Vyhazovač ... 28
3.3.4 Tolerance střižných nástrojů ... 28
3.3.5 Materiály používané pro střižné nástroje ... 30
3.3.6 Životnost střižných nástrojů ... 31

4 NÁVRH VÝROBY SOUČÁSTI ... 32

4.1 TECHNOLOGICKÉ VÝPOČTY ... 33
4.1.1 Nástřihový plán ... 35
4.1.2 Návrh polotovaru výstřižku ... 39
4.1.3 Střižná vůle ... 40
4.1.4 Výpočet síly a práce ... 40
4.2 KONTROLNÍ VÝPOČTY ... 41
4.2.1 Pevnostní výpočty ... 41
4.2.2 Stanovení rozměrů nástroje ... 42
4.3 NÁVRH STROJE ... 45
4.4 NÁVRH NÁSTROJE ... 46
4.4.1 Systém upnutí nástroje ... 47

5 EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ ... 48

5.1 NÁKLADY NA MATERIÁL ... 49
5.2 NÁKLADY NA NÁSTROJ ... 52
5.3 NÁKLADY NA PŘÍMÉ MZDY ... 53
5.4 VÝPOČET VÝROBNÍ CENY SOUČÁSTI ... 54

6 ZÁVĚR ... 55

SEZNAM LITERATURY
SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ
SEZNAM PŘÍLOH

1 ÚVOD [13] [34]

Na výrobě strojírenských součástí z kovu a jejich slitin se podstatnou měrou podílí technologie tváření. Tato technologie se s úspěchem používá v průmyslu leteckém, automobilovém, energetickém, vojenském, spotřebním, ad. Součásti produkované tvářením vyhoví i těm nejnáročnějším kritériím, která jsou kladena na geometrii, přesnost a požadavky na mechanické vlastnosti. U tvářecích technologií produktivita několikanásobně předčí běžné strojírenské technologie, jako je obrábění v moderní automatizované výrobě.

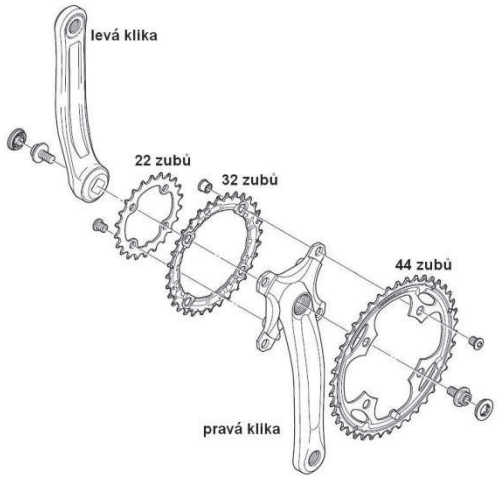
Tvářením kovů se rozumí technologický (výrobní) proces, při kterém dochází k požadované změně tvaru výrobku nebo polotovaru, příp. vlastností, v důsledku působení vnějších sil bez odběru třísek. Podstatou tváření je vznik plastických deformací, ke kterým dojde v okamžiku dosažení napětí na mezi kluzu pro daný materiál. Tento děj je provázen fyzikálními změnami a změnami struktury materiálu, což ovlivňuje mechanické vlastnosti materiálu.

Tváření kovu se dělí na objemové a plošné. Při objemovém tváření nastává deformace ve směru všech tří os souřadného systému a patří sem válcování, kování, protlačování, tažení drátů. Při plošném tváření nastává, na rozdíl od objemového, deformace pouze ve dvou směrech souřadného systému. Příklady technologie plošného tváření jsou tažení, ohýbání, stříhání, přesné stříhání apod.

Obr.1 Příklady součástí vyrobených technologií přesného stříhání [10]

2 ROZBOR SOUČASNÉHO STAVU [3] [2] [5] [23]

Zadanou součástí je největší ze tří řetězových koleček předního převodníku horského kola. Nejčastěji se používají převodníky s poměrem 44, 32, 22 zubů pro válečkové řetězy s roztečí zubů 1/2"=12,7 mm a šířkou 1/8"=3,3 mm. Z rozměrů řetězu se dle literatury 23 určí šířka řetězového kola, která je 3 mm. Velikost tloušťky ocelového plechu, ze kterého bude součást vyrobena je tudíž 3mm. Funkci kolečka znázorňuje obrázek 2, kde je vidět sestava pohonu jízdního kola. Řetězové kolečko je nasazeno na vnější osazený středící průměr kliky a přišroubováno čtyřmi šrouby. Součást je poměrně tvarově komplikovaná. Největší požadavky na přesnost a jakost střižné plochy musí splňovat vnější ozubení, roztečný průměr středících otvorů a vnitřní průměr na osazení kliky. Všechny tyto funkční rozměry musí splňovat rozměrovou přesnost v tolerančním poli IT 6 až IT 8 a jsou vyznačeny na obrázku 3 červenou barvou.



Obr.2 Sestava převodníku a klik u horského kola [32]

Obr.3 Řetězové kolečko

Jednou z nejvíce namáhaných součástí horského kola je právě jeho pohon. Přední převodník je namáhán od řetězu hlavně na tlak a otěr. Z těchto důvodů musí být materiál kol dostatečně tvrdý, aby odolával opotřebení a přitom byl vhodný pro zvolenou technologii výroby. Pro řetězová kola je vhodnější tvrdší nekalená ocel než ocel kalená. Při kalení se kola zdeformují, špičky zubů se prokalí, jsou křehké a lámou se. Z těchto důvodů je volen materiál ČSN 11 500 (tab.1).

Počet vyrobených kusů za rok je stanoven na 600 000. Toto číslo vychází z faktu, že v ČR se za rok prodá cca 350 tisíc nových kol a cca 250 tisícům kol je proveden servis na výměnu předních převodníků, udává AVDK (asociace výrobců a dovozců kol).

Tab.1 Parametry materiálu 11 500 [15]

Značení oceli	**ČSN**	**EN**	**DIN**
	11 500	E295	St50-2
Mechanické vlastnosti	Rm [MPa]	Re [MPa]	A_5[%]
	470 - 610	295	20
Chemické složení	P %	S %	N %
	max 0,045	max 0,045	max 0,009
Technologické údaje	Popouštění 670-700 °C (ochlazovat na vzduchu) možnost zušlechtit na mez pevnosti 700MPa		
Použití	Nesvařované strojní součásti namáhané staticky i dynamicky. Strojní součásti s přirozenou tvrdostí jako čepy, kolíky, podložky, příruby, ozubená kola		

2.1 VARIANTY VÝROBY

Zadaná součást se může vyrábět několika různými technologiemi a úkolem je vybrat nejoptimálnější z nich. Z výše uvedených podmínek je nutné vycházet z dosažitelných parametrů (přesnost tvaru, jakost povrchu řezu, ekonomická efektivita) konkrétní technologie. Pro výrobu řetězového kolečka přichází do úvahy některá z těchto metod.

- nekonvenční metody dělení materiálu (řezání vodním paprskem, plazmou, laserem)
- postupové stříhání s následným obráběním zubů
- přesné stříhání

- **Vyřezávání materiálu nekonvenčními metodami**

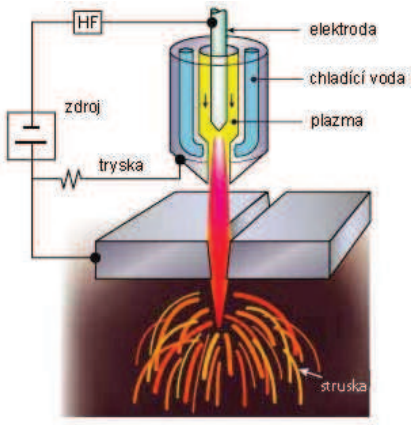
  - Řezání vodním paprskem *[31] [26]*

    Technologii řezání vodním paprskem lze využít pro dělení velkého spektra materiálů. Princip řezání spočívá v odebírání materiálu mechanickým účinkem dopadu úzkého vodního proudu s vysokou rychlostí a kinetickou energií na jednotku plochy. Abrazivo jako přísada znásobuje mechanický účinek dopadu. Paprsek vzniká v řezací hlavě zakončené tryskou. Při zpracování měkkých materiálů se používá čistý vodní paprsek, pro ostatní případy je třeba použít abrazivní paprsek. Vhodnou příměsí je přírodní olivín nebo granát – abrazivo zvolené dle tvrdosti řezaného materiálu. Pohyb řezací hlavy, a tedy celá dráha řezu je řízena počítačem dle předem sestaveného programu. Je možné provádět i tvarově složité řezy během jedné operace. Standardní přesnost výřezu je ±0,1 mm. Dělený materiál není silově namáhán. Řezná hrana není nijak tepelně ovlivněna, vždy jde o studený řez.

Obr.4 CNC stůl AquaCut pro řezání vodním paprskem [31]

  - Řezání plazmou *[6]*

    Princip řezání plazmou spočívá v tom, že se mezi řezaným materiálem a tryskou po přivedení elektrického napětí vytvoří elektrický oblouk. Z trysky vylétá vysokou rychlostí velmi horký ionizovaný plyn, který je do trysky vháněn z tlakových lahví. Teplota plazmatu při úniku z trysky může dosahovat až 20 000 °C a rychlost až rychlosti zvuku. Tryska je chlazena kolující vodou a při některých procesech se dokonce řezaný materiál umisťuje pod vodu. Voda chrání trysku před roztečením, brání hluku a nepříjemnému dýmu. Složení plynu, který proudí do trysky a který je následně obloukem zahříván, se liší podle použití, ale nejčastěji se používají argon, dusík, vodík, kyslík a jejich směsi.

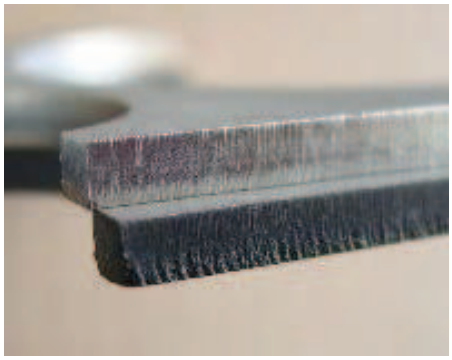


Obr.5 Schéma řezání plazmovou tryskou. [6]

❖ Řezání laserem *[22] [18]*

Laser (akronym z anglického Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation, tj. 'zesilování světla stimulovanou emisí záření') je optický zdroj elektromagnetického záření tj. světla v širším smyslu. Světlo je z laseru vyzařováno ve formě úzkého svazku; na rozdíl od světla přirozených zdrojů je koherentní a monochromatické, z toho tedy vyplývá, že laser je optický zdroj emitující fotony v koherentní paprsek.

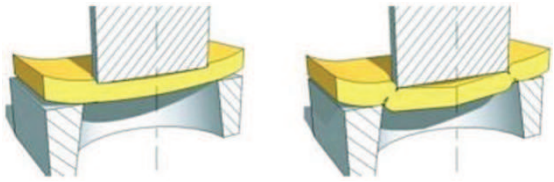
Základem každého řezacího systému je zdroj laserového svazku tzv. rezonátor. Paprsek je z rezonátoru systémem zrcadel doveden až k řezací hlavě nesené na portálu řezacího stolu. Dnes užívané CNC stoly určené pro řezání ve 2D jsou v zásadě dvou koncepcí - s tzv. hybridní optikou, kdy v jedné ose vykonává pohyb upnutý materiál a v druhé se pohybuje řezná hlava nebo s tzv. létající optikou, kdy pohyb v obou osách vykonává řezná hlava. V řezné hlavě je paprsek zaostřen do technologicky přesně definovaného ohniska závislého na typu a tloušťce materiálu.



Obr.6 Porovnání kvality řezu při použití kyslíku a dusíku (horní vzorek) [18]

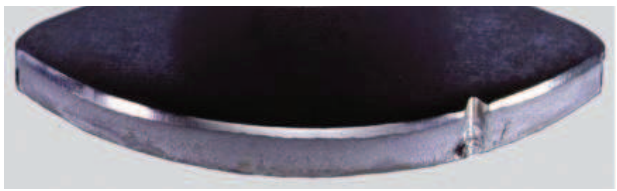
➢ **Postupové stříhání s následným obráběním zubů** [1] [25]

Stříhání je proces, při němž dochází k oddělování částic materiálu nástroji podél křivky střihu, kterou tvoří obvod výstřižku, střižníku či střižnice. Průběh stříhání materiálu ve střižných nástrojích lze rozdělit do 3 základních fází. V první fázi (obr.7a) dochází k pružné deformaci stříhaného materiálu. Napětí ve tvářeném kovu je přitom menší než napětí na mezi úměrnosti. Ve druhé fázi je napětí větší než mez kluzu stříhaného materiálu a dochází k jeho trvalé deformaci. Ve třetí fázi (obr.7b) je materiál namáhán nad mez pevnosti ve střihu. Nejdříve vzniknou u hran střižníku a střižnice mikrotrhliny a následně makroskopické trhliny, jejichž tvorba je podporována napjatostí ve stříhaných vláknech zpracovávaného materiálu. Vzniklé trhlinky se rychle prodlužují, až dojde k oddělení materiálu. Rychlost vzniku a postupu trhlinek je závislá na mechanických vlastnostech stříhaného materiálu a průběh střihu na velikosti střižné vůle, která má výrazný vliv na kvalitu výstřižku. Proces oddělení křehkého a tvrdého materiálu je téměř okamžitý. U měkkých a houževnatých materiálů dochází ke vzniku nástřihu (a iniciaci trhlinek) pomaleji. U klasického stříhání se dosahuje střední rozměrové přesnosti IT 11, IT12 a jakost povrchu je horší z důvodu lomu v ohnisku plastické deformace (obr.8). Na zadanou součást jsou ale kladeny vyšší nároky na kvalitu střižné plochy a rozměrovou přesnost funkčních částí, jako je ozubení na obvodu kola a středící otvory. Z těchto důvodů samotná technologie klasického stříhání nestačí a musí se kombinovat s třískovým obráběním.



a. b.

Obr.7 Fáze průběhu střihu [1]



Obr.8 Jakost střižné plochy [4]

Obrábění zubů vyrobených konvenční metodou stříhání lze dokončovat jednak výše popsanou metodou CNC obrábění nebo konvenčním obráběním. Způsoby konvenčního obrábění ozubených kol jsou:

- *Frézování zubů dělícím způsobem*

Čelní ozubená kola se frézují čepovou nebo kotoučovou modulovou frézou. Profil zubu frézy odpovídá profilu zubové mezery, který je u téhož modulu různý podle počtu zubů. Teoreticky by proto byl zapotřebí pro každý modul a počet zubů jiný nástroj. S ohledem na hospodárnost se používá jeden nástroj pro určitý rozsah počtu zubů. Pro každý modul je dodávána sada fréz pro určité počty zubů. Podle požadované přesnosti mají sady 8 až 26 fréz pro jeden modul. Dělícím způsobem obrábíme ozubení na speciálních frézkách pro tvarové frézování zubů nebo na konzolových univerzálních frézkách vybavených dělícím přístrojem. Řezná rychlost se volí při frézování kotoučovou i čepovou frézou 10 až 20 m/min, podélný posuv 70 až 180 mm/min. Přesnost ozubených kol vyrobených dělícím způsobem závisí na přesnosti dělení a přesnosti výroby nástroje a je v rozmezí IT 9 až 10, Ra= 1.6 až 3.2 mikrometrů.

- Frézování odvalovacím způsobem

Obr.9 Frézování odvalovacím způsobem [14]

Odvalovací frézy se vyrábějí v celé řadě konstrukčních provedení. Z hlediska výroby se dělí na jednochodé a vícechodé. Pro kola s přímými zuby je úhel pootočení shodný s úhlem stoupání šroubovice boku zubů nástroje. Pro kola se šikmými zuby je třeba pootočení zvětšit o uhel sklonu zubu kola. Břity nástroje jsou vytvořeny drážkami, jež jsou zpravidla kolmé na směr stoupání šneku. Drážek bývá 8 až 12. Při frézování se jednochodá fréza otáčí za jednu otáčku obráběného kola tolikrát, kolik zubů má obráběné kolo; dvojchodá fréza vykoná poloviční počet otáček apod. Odvalovalovací frézování je produktivní způsob výroby. Dosahuje se při něm přesnosti kol v 5 až 7 třídě a Ra= 0,8 až 1,6 um.

- **Přesné stříhání** [8] [28] [30] [17]

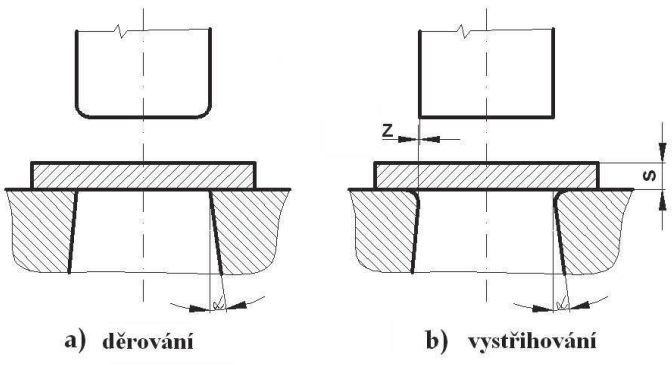
Pod pojmem technologie přesného stříhání se rozumí souhrn metod (variant) stříhání plechů a pásů ve střihadlech, jimiž lze dosáhnout kvalitní hladké střižné plochy kolmé k rovině plechu a rozměrné přesnosti vyrobených součástí v rozmezí IT6 až IT9. Dosažená drsnost střižné plochy je Ra=0,4 až 1,6 a kolmost střižné plochy do tl. plechu 4 mm je v rozmezí 0,01 až 0,2 mm. Všechny metody, zlepšující jakost povrchu střižné plochy a zpřesňující stříhané rozměry, se dělí na:

Obr.10 Jakost střižné plochy u přesného stříhání [4]

- Vystřihování se zaoblenou střižnou hranou
- Vystřihování se zkoseným přidržovačem
- Přistřihování
- Kalibrování
- Přesné stříhání s tlačnou hranou

❖ *Vystřihování se zaoblenými střižnými hranami*

Při vystřihování se zaoblenými střižnými hranami na střižnici nebo na střižníku se dosáhne hladké a kolmé střižné plochy, protože materiál je při střihu částečně dopředně protlačován. Vliv zaoblení na jakost střižné plochy je tím větší, čím menší je střižná mezera z. Potřebné zaoblení střižné hrany bývá: R = (0,15 až 0,20)·s, kde **s** je tloušťka stříhaného plechu. U tvarově složitých součástí s ostrými přechody se volí R = 0,25·s a střižné vůle z = (0,01 až 0,02) mm. Pro tuto technologii jsou vhodné materiály s dostatečnou tvařitelností. Konstrukce nástrojů se neliší od střižných nástrojů stejného typu, pouze střižnice bývají bandážované.

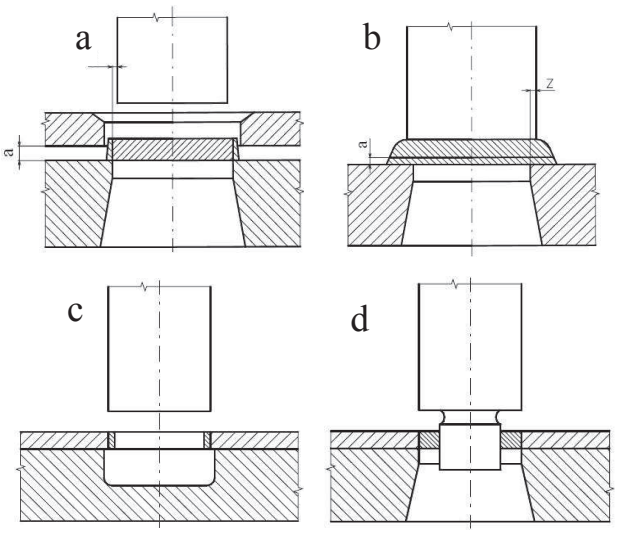


Obr.11 Přesné stříhání se zaoblenými střižnými hranami [8]

❖ *Přistřihování*

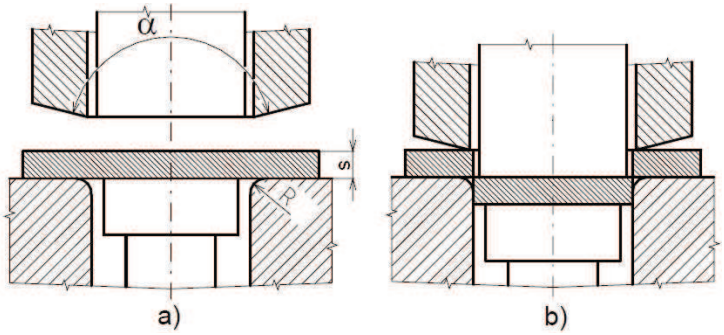
Princip přistřihování spočívá v oddělování malého množství kovu (třísky) ze střižné plochy s cílem dosažení větší přesnosti a kvality povrchu střižné plochy bez mikrotrhlin, zpevnění a vnitřního pnutí. Obvykle se používá jedna přistřihovací operace, výjimečně u tlustších plechů i více operací. Přípustná tloušťka odděleného kovu je 0,1 až 0,5 mm. Dosahovaná přesnost součásti je IT6 až IT9, drsnost povrchu bývá R_a = 0,8 až 1,6 μm a úkos 0,02 mm/10 mm. Přistřihování může být prováděno jak po otevřené, tak i po uzavřené čáře střihu. Technologie není vhodná pro velkosériovou výrobu a lze ji rozdělit do čtyř způsobů zobrazených na (obr.12).

a) přistřihování vnějších otvorů s kladnou vůlí:
U této metody je použita základová deska s dutinou, která slouží ke středění výstřižku. Tato deska musí být umístěna nad střižnicí v určité vzdálenosti ***a***, aby třísky měly možnost do tohoto prostoru odcházet. Střižnice má rozměry budoucího výstřižku a v její horní části je fazetka o výšce 6 až 8 mm, a pak následuje kuželovité rozšíření střižnice.
b) přistřihování vnějších otvorů se zápornou vůlí: U této metody je rozměr střižníku o 0,1 až 0,5 mm větší než rozměr střižnice. Při přistřihování nesmí střižník dosednout na střižnici, pouze se smí přiblížit na vzdálenost a = 0,2 až 0,4 mm. Z uvedeného důvodu je přistřižení provedeno jen částečně a dokončí se až při přistřihování dalšího výstřižku, který předchozí výstřižek do střižnice protlačí. c) přistřihování vnitřních otvorů: Použití na odstřižení děrovaných nebo vrtaných otvorů. d) kombinace stříhání otvorů s přistřihováním: Na (obr.12 d) je ukázka použití osazeného střižníku.



Obr.12 Schéma způsobů přistřihování [30]

❖ *Vystřihování se zkoseným přidržovačem*

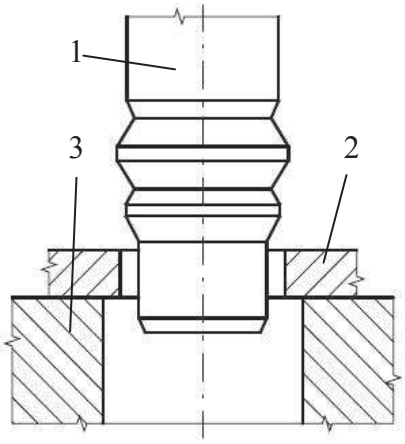


Obr. 13 Vystřihování se zkoseným přidržovačem [30]

Tento způsob vystřihování se používá jen velmi zřídka (obr.13). Zkosený přidržovač vyvozuje dvojosý stav napjatosti při stříhání. Vrcholový úhel přidržovače bývá obvykle $\alpha = 178°30'$. Poloměr zaoblení na střižné hraně je $R \leq 0{,}01$ mm. Přesnost metody je 6-9 IT a drsnost povrchu 0,8-1,6 Ra. Metoda není vhodná pro sérii 600 000 ks.

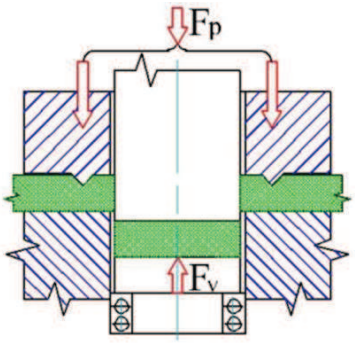
❖ *Kalibrování*

Kalibrování je možné provádět na vnějším obrysu výstřižku, ale i v otvoru (obr.14). Kalibrovací trn má jednu nebo více ploch o šířce 1 až 3 mm, jejich náběh je zkosen pod úhlem 5°. Kalibrovací trn obsahuje zaváděcí i výstupní části. Nejlepších výsledků kvality otvoru se při kalibrování otvorů dosáhne, je-li otvor umístěn v dostatečné vzdálenosti od okraje plechu. Kalibrování je v porovnání s přistřihováním méně přesné vlivem odpružení, a také je třeba vyvinout větší průtlačnou sílu. Typickou charakteristikou u kalibrovaného povrchu jsou jeho zpevněné a nepatrně rozšířené okraje. Přesnost technologie je 6-9 IT a drsnost povrchu 0,8-1,6 Ra. Pro velkosériovou výrobu tato technologie není vhodná.



Obr. 14 Kalibrování otvorů [30]

❖ *Přesné stříhání s tlačnou hranou*



Obr. 15 Přesné stříhání s tlačnou hranou[30]

Tato metoda využívá tlačnou hranu ke změně napěťových poměrů při procesu střihu. Změna napětí rozšiřuje pásmo plastické deformace na celou tloušťku materiálu. Vlivem plastického střihu roste kvalita stříhaného povrchu a rozměrová přesnost. Dosahovaná drsnost střižné plochy je Ra 1,6 a tolerance IT 6 až IT 9. Nevýhodou je vyšší spotřeba základního materiálu a dražší nástroj, ale při sérii vyšší než 40 000 kusů je ekonomická vhodnost pozitivní.

Poznatek ze studia vhodných metod výroby pro zadanou součást je jednoznačný (tab.2). Z technologického hlediska je součást vyrobitelná více metodami, ale z hlediska ekonomického je nejvhodnější pro velkou sérii pouze metoda přesného stříhání s tlačnou hranou.

Tato metoda výroby splňuje jako jediná všechny zadané podmínky a proto s ní budu pracovat ve všech dalších částech diplomové práce.

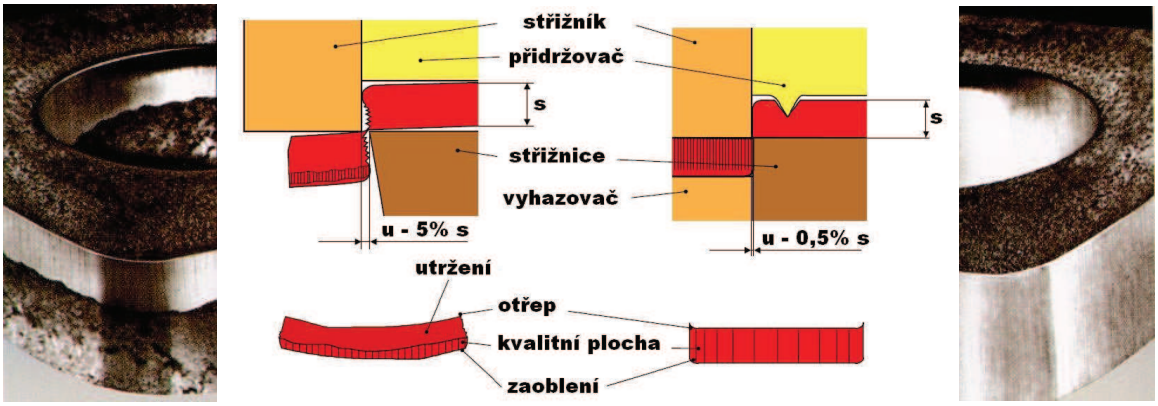
Tab.2 Výběr vhodné technologie

Technologie			Parametry		
			Přesnost IT	Drsnost povrchu Ra	Ekonom. vhodnost pro 600000 ks
CNC obrábění			6-8 ✓	0,8-6,3 ✓	NE ✗
Nekonvenční metody řezání materiálu	Vodní paprsek		11-12 ✗	3,2-25 ✗	NE ✗
	Plazma		11-12 ✗	3,2-25 ✗	NE ✗
	Laser		10-12 ✗	3,2-12,5	NE ✗
Postupové stříhání s následným obráběním zubů	Klasické stříhání		11-12 ✗	3,2-6,3 ✗	ANO ✓
	Obrábění konvenční	Dělením	9-10 ✗	1,6-3,2 ✓	NE ✗
		Odvalováním	5-7 ✓	0,8-1,6 ✓	NE ✗
Přesné stříhání	Zaoblené střižné hrany		9-11 ✗	0,4-1,6 ✓	NE ✗
	Přistřihování		6-9 ✓	0,8-1,6 ✓	NE ✗
	Vystřihování se zkoseným přidržovačem		9-11 ✗	0,8-1,6 ✓	NE ✗
	Kalibrovaní		7-9 ✓	0,8-1,6 ✓	NE ✗
	Přesné stříhání s tlačnou hranou		6-9 ✓	0,4-1,6 ✓	ANO ✓

Pozn. Symbol ✓ znamená vyhovuje podmínce, symbol ✗ nevyhovuje podmínce

3 PŘESNÉ STŘÍHÁNÍ S TLAČNOU HRANOU [8] [13] [28] [30] [12]

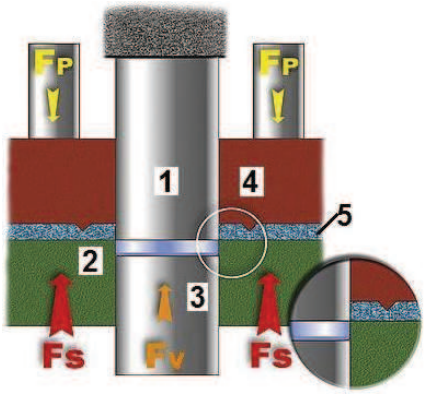
Z variantního řešení byla zvolena tato technologie, protože stříhané díly je možné používat přímo na montáž bez dalších úprav. Na rozdíl od klasického stříhání je na obrázku 16 vidět, že došlo ke zlepšení střižné plochy.



Obr.16 Kvalita střihu pro normální (vlevo) a přesné stříhání (vpravo) [27], [4]

Princip a postup je takový, že stříhaný materiál je v počáteční fázi stříhání sevřen mezi přidržovačem a střižnicí, takže tlačná hrana je vtlačena do materiálu ještě před vlastním střihem. Poloha tlačné hrany je vždy volena mimo křivku střihu. Materiál se při vystřihování neprohne, přičemž radiální složka pružení, která vznikne jako následek pružné deformace, je zachycena tlačnou hranou (obr.17). Mechanika přesného stříhání se přibližuje dopřednému protlačování. Avšak tato technologie má i některé nevýhody. Především je to vyšší spotřeba materiálu v důsledku širšího pásu plechu i můstku než při klasickém stříhání.

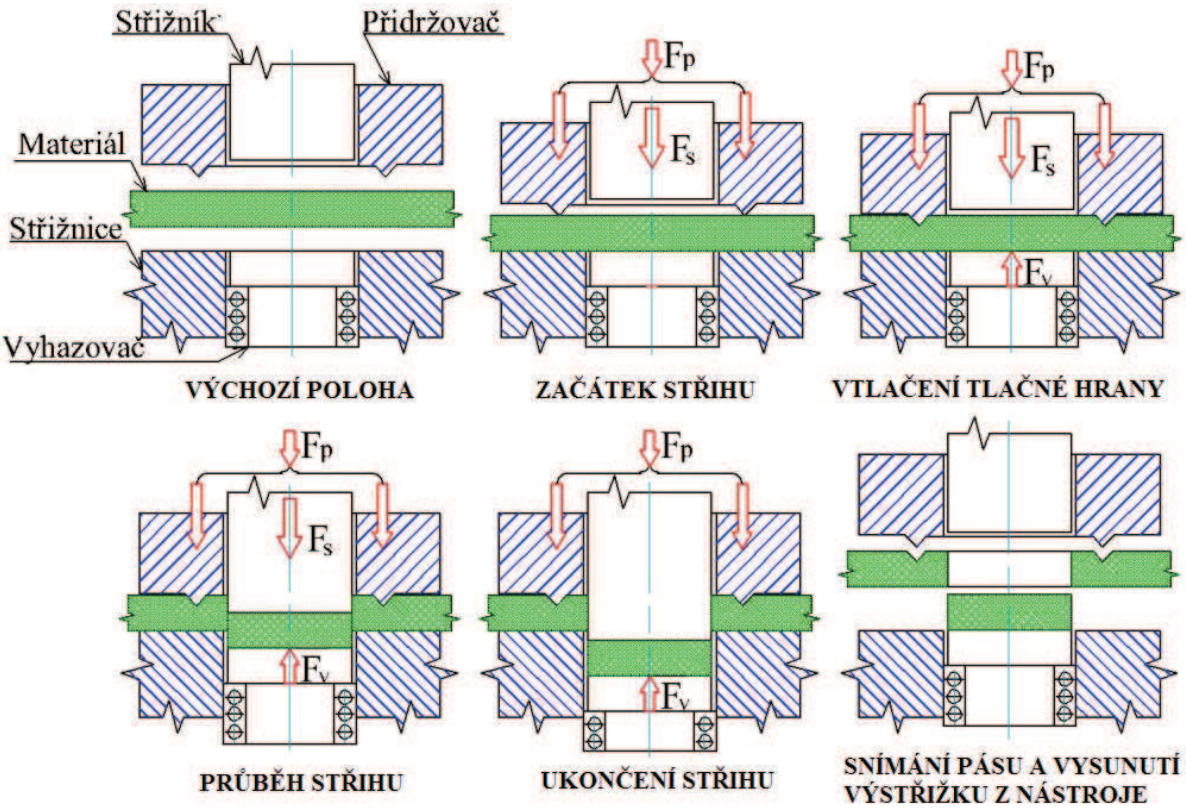
Postup přesného stříhání se skládá ze šesti elementárních fází (obr.18). V první fázi je nástroj otevřen a materiál se nachází mezi horní a spodní částí nástroje. V druhé fázi se horní část nástroje pohybuje směrem dolu, až dojde k sevření materiálu mezi střižník, střižnici, přidržovač a vyhazovač. V třetí fázi je přidržovač s tlačnou hranou vtlačen do materiálu. Ve čtvrté fázi tlačná hrana pevně svírá materiál, do pohybu se dává střižník a probíhá stříhání. V páté fázi je konec stříhání a střižník s vyhazovačem se pohybují směrem nahoru, dochází k oddělení výstřižku od polotovaru. V posledním kroku je výstřižek vysunut ze střižnice pomocí vyhazovače a dopraven do přepravky.



1. střižník
2. střižnice
3. vyhazovač
4. přidržovač
5. materiál

síly:
F_s – střižná
F_p – přidržovače
F_v – vyhazovače

Obr.17 Princip přesného stříhání [4]



Obr.18 Postup přesného stříhání [30]

Při přesném stříhání se pásmo plastického střihu rozšiřuje přes celou tloušťku materiálu. Nejdůležitějším činitelem vstupujícím do procesu přesného stříhání je přidržovač s tlačnou hranou, který vytvoří přídavné tlakové napětí $\Delta\sigma_3$, které výrazně změní poměry v rovinné napjatosti uzavřeného střihu, jejichž důsledkem je dosažení záporných hodnot složky normálného napětí σ_n. Záporným napětím se docílí uzavření vznikajících trhlin, při jejich šíření ve směru τ_{max}. Grafické znázornění takové napjatosti v bodě A pod střižnou hranou a v Mohrových kružnicích je na (obr.19). Z geometrie tlačné hrany můžeme stanovit průmět funkční plochy přidržovače S_p (3.1) a potřebnou sílu přidržovače F_p (3.2) na plastické zatlačení hrany.

$$S_p = L \cdot h(tg\gamma + tg\beta) \tag{3.1}$$

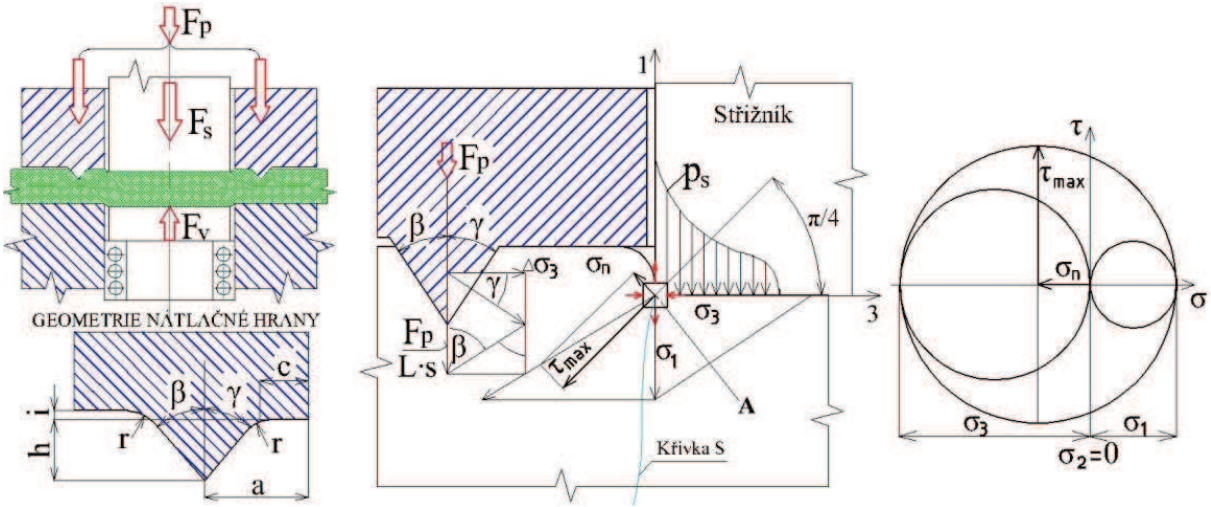
$$F_p = S_p \cdot Re = L \cdot h(tg\gamma + tg\beta) \cdot Re \tag{3.2}$$

Přídavná složka tlakového napětí

$$\Delta\sigma_3 = \frac{F_p}{L_n \cdot s} \cdot \frac{1}{tg\gamma + tg\beta} \tag{3.3}$$

Celkové hlavní tlakové napětí v bodě A na břitu střižné hrany

$$\sigma_{3C} = \sigma_3 + \Delta\sigma_3 \tag{3.4}$$



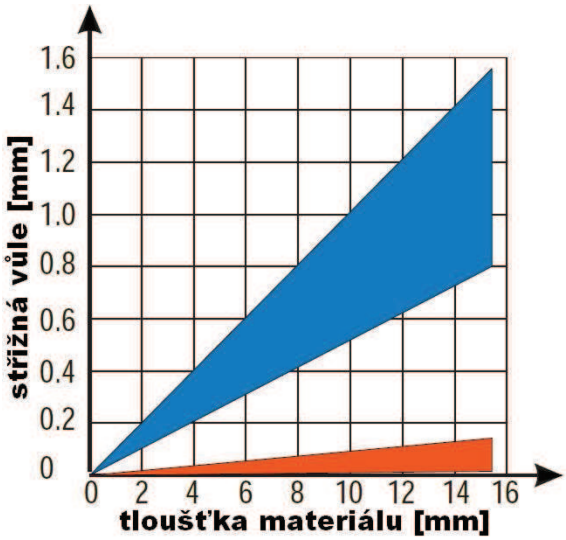
Obr.19 Schéma přesného uzavřeného stříhání s tlačnou hranou [12]

3.1 TECHNOLOGICKÉ PODMÍNKY STŘÍHÁNÍ

Do procesu stříhání vstupují další technologické faktory, jako je střižná vůle, stříhaný materiál, velikost a šířka můstku, tvar součásti, tvar a velikost tlačné hrany. Správné nastavení a zvolení těchto faktorů má velký vliv na výslednou kvalitu střižné plochy a přesnost výstřižku.

3.1.1 **Střižná vůle** [28] [16]

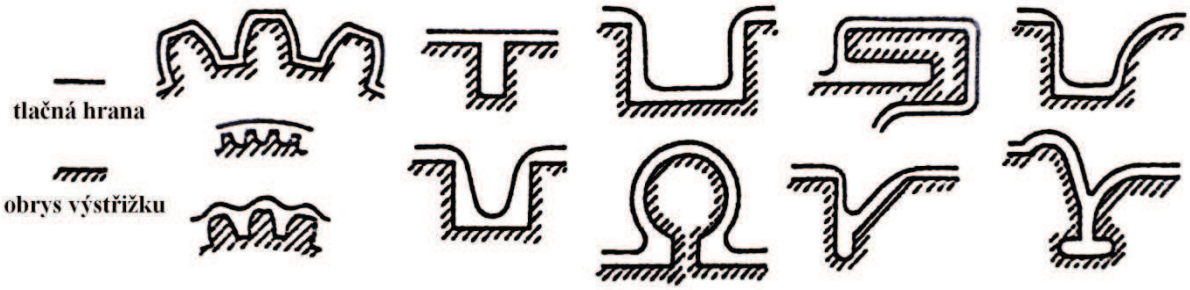
Střižná vůle má největší vliv na kvalitu střižné plochy a rozměry budoucího výstřižku. Důvodem je přímé ovlivnění směru smykového napětí, které způsobuje oddělení materiálu. To, že smykové napětí působí kolmo na stříhaný materiál, zapříčiní malá střižná vůle. U přesného vystřihování se volí přibližně 10 krát menší než u klasického stříhání. Postupem času vzniklo množství empirických vztahů, které vykazují značné rozdíly. Proto se pro všeobecnou praxi používá vztah pro určení střižné mezery 0,5% tloušťky stříhaného materiálu. Pro určení střižné vůle se může použít i odečet z grafu (obr.20), na kterém je vidět rozdíl mezi klasickým stříháním (modrá barva) a přesným (červená barva).



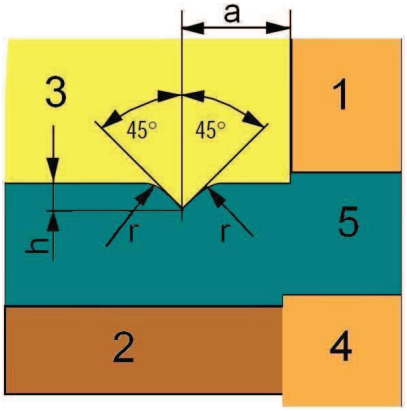
Obr.20 Určení velikosti střižné vůle[4]

3.1.2 Tvar, poloha a velikost tlačné hrany [28]

Tlačná hrana ovlivňuje kvalitu střižné plochy a životnost střižných nástrojů. Nejdůležitější je na tlačné hraně její tvar, poloha a rozměry. Pokud je vzdálenost od křivky střihu příliš velká, bude velká i spotřeba materiálu a efektivita tlačné hrany se snižuje. Naopak při malé vzdálenosti tlačné hrany od křivky střihu se omezuje funkce tlačné hrany a tím se snižuje kvalita střižné plochy. Tlačná hrana musí kopírovat tvar výstřižku, jak ukazuje (obr.21). Pro tloušťky do 4 mm se používá jen jedna tlačná hrana na přidržovači (obr.22) a pro tloušťky nad 4 mm se volí dvě tlačné hrany na přidržovači i na střižnici. Pokud jsou přidržovač i střižnice opatřeny tlačnými hranami, hloubka vniku je rovna součtu výšek od obou tlačných hran.



Obr.21 Umístění tlačné hrany při členitém obrysu výstřižku [7]



1 – střižník
2 – střižnice
3 – přidržovač
4 – vyhazovač
5 – materiál

Tab. 3 Parametry tlačné hrany [4]

Tloušťka materiálu [mm]	a [mm]	h [mm]	r [mm]
1,0-1,7	1,0	0,3	0,2
1,8-2,2	1,4	0,4	0,2
2,3-2,7	1,7	0,5	0,2
2,8-3,2	2,1	0,6	0,2
3,3-3,7	2,5	0,7	0,2
3,8-5,5	2,8	0,8	0,2

Obr.22 Tvar tlačné hrany pro plechy tloušťky do 4 mm [27]

3.1.3 Materiály vhodné pro stříhání [28] [21]

Materiál pro přesné stříhání musí mít dostatečnou tvárnost za studena a nízkou mez kluzu. Nejvhodnější jsou nízkouhlíkové a nízkolegované oceli s malým obsahem příměsí, jako jsou pozůstatky hutních pochodů (síra, dusík, fosfor, vměstky apod). V (tab.4) jsou uvedeny oceli, u kterých byla odzkoušena vhodnost použití pro přesné stříhání. Oceli ve stavu přírodním, tj. oceli tepelně nezpracované se strukturou feriticko-perlitickou s lamelárním perlitem, můžeme stříhat pouze tvary s dostatečným zaoblením. Při malém zaoblení vznikají mikroskopické trhliny. Z ocelí ve stavu žíhaném se strukturou perlitickou s globulárním pertitem je možné stříhat složité tvary s malým zaoblením, aniž by vznikali mikrotrhliny.

Tab.4 Oceli vhodné pro přesné stříhání [28]

Označení materiálu	Vhodnost pro přesné stříhání
ČSN 11 300, 11 320, 11 330, 11 343, 11 373, 11 423, 11 425; 12 010, 12 014, 12 020, 12 023, 12 024; ČSN 42 4214 (mosaz)	velmi dobrá
ČSN 11 500, 11 600, 11 700; 16 720;	dobrá
Ms 63; Ms 60	špatná
Ms 58 (ČSN 42 3223)	nevhodná
Ms 63 Pb (ČSN 42 3214)	nehodí se
ČSN 12 040, 12 041, 12 050, 12 060, 12 061, 12 073, 12 081 14 109, 14 120, 14 180, 14 220, 14 221, 14 260; 15 124, 15 130; 16 220, 16 221, 16 231, 16 420; 17 041, 17 240, 17 241, 17 246, 17 253; 19 103, 19 132, 19 140, 19 152, 19 191, 19 192, 19 221, 19 222, 19 252, 19 255, 19 312, 19 419, 19 452;	opotřebení nástroje

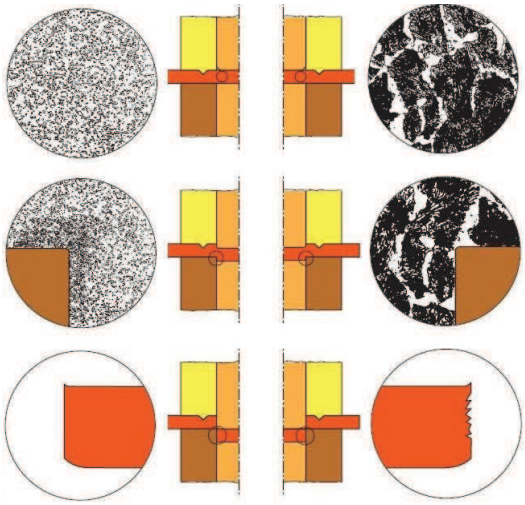
Jak již bylo uvedeno, kvalita střižné plochy je charakterizována postupem plastické deformace, jejím vyčerpáním a překročením meze pevnosti ve smyku. Tento proces je závislý nejen na technologii a kvalitě střižných nástrojů, ale i na materiálových vlastnostech. Vedle materiálových makroukazatelů (druh a tepelné zpracování, tloušťka plechu atd.) jsou rozhodující i faktory vztahující se k mikrostruktuře (velikost zrna, čistota, vnitřní vady atd.). Souvislosti mezi velikostí zrna, napětím a deformací zachycuje Hallův-Petchův vztah, rov (3.5). Vyjadřuje nepřímou závislost meze kluzu a velikosti zrna. Se snižující se velikostí zrna se zvětšuje mez kluzu. Je to způsobeno pohybem dislokací a jejich interakcí s překážkami – hranicemi zrn. S rostoucí mezí kluzu se zvyšuje deformační napětí a potlačuje se rozsah plastické deformace. Jestliže v procesu stříhání je vyčerpání plastické deformace a překročení smykových napětí rozhodující, pak i velikost zrna bude mít významný vliv na procesy a následně i kvalitu střižné plochy.

Hallův-Petchův vztah:

$$R_e = \sigma_i + k_y d^{-1/2} \qquad (3.5)$$

Kde: σ_i - je napětí, které vyjadřuje odpor krystalové mřížky proti pohybu dislokací v rámci jednoho zrna

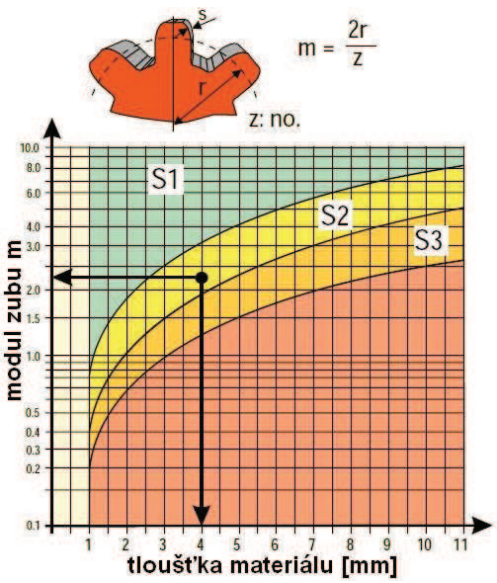
k_y - je konstanta vyjadřující uchycení dislokací v zrně.



Obr.23 Vliv velikosti zrna na kvalitu střihu [27]

3.1.4 Vhodnost tvaru součásti pro přesné stříhání [8] [28]

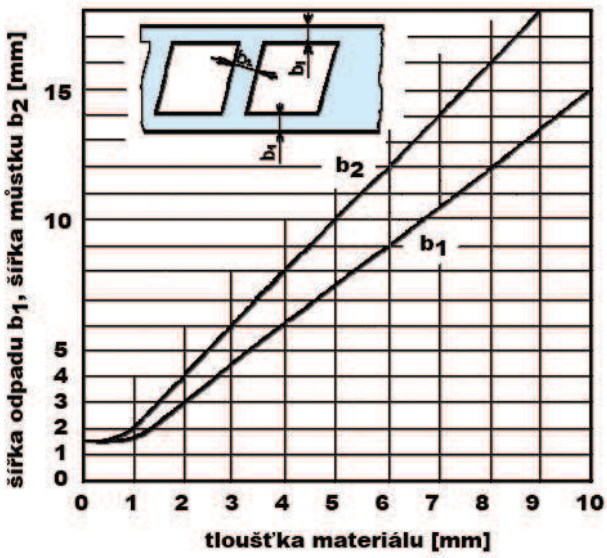
Součásti pro přesné stříhání musí vyhovovat nejen požadavkům, které jsou dány použitím a provozními podmínkami, ale také technologičností konstrukce. Technologičnost konstrukce součásti, tj. výrobu součásti při minimálních výrobních nákladech, lze zajistit respektováním tvaru součásti podle technologických směrnic. V praxi existují diagramy k určení minimálního průměru stříhaného otvoru, šířky drážky v plechu, minimální vzdálenosti mezi otvory a minimální vzdálenosti mezi otvorem a hranou součásti, poloměr hran a rohů součásti, minimálního modulu ozubení apod. Nedodržení některých parametrů znamená snížení kvality střižné plochy a snížení životnosti funkčních částí nástroje. Ukázka diagramu pro určení minimálního modulu ozubení, pro stříhaný materiál je na (obr.24). Nejčastější aplikací přesného stříhání je výroba ozubených kol, segmentů a ozubených hřebenů apod. Tvar ozubení závisí na mnoha činitelích. Především to jsou tloušťka a pevnost materiálu. Na zuby střižníku působí vedle tlakových napětí také ohybová napětí. Ta způsobí v mezních případech odlamování zubů. Průměrné tlakové napětí zubu střižníku nesmí u menších ozubení překročit 1200 Mpa. V případě, že šířka zubu měřená na roztečné kružnici je menší než tloušťka plechu, jsou zuby velmi namáhané. Minimální hodnota šířky zubu na roztečné kružnici nesmí překročit 60% tloušťky materiálu, aby se dala součást vyrábět přesným stříháním.



Obr.24 Minimální velikost modulu ozubení. [1]

3.1.5 Velikost postranního odpadu a šířky můstku [28]

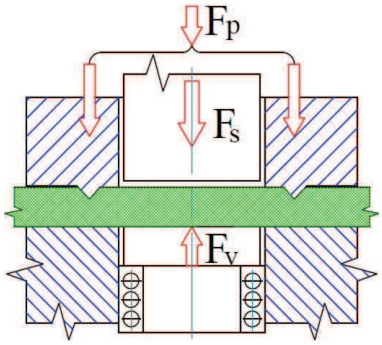
U přesného stříhání musí být velikost postranního odpadu a šířka můstku větší než u klasického stříhání. Velký vliv na velikost postranního odpadu a šířku můstku má tvrdost materiálu. U tvrdých materiálů se musí volit větší můstek a postranní odpad, neboť jinak nelze vyvodit dostatečný tříosý stav napjatosti. Současně se požaduje tuhost okraje plechu. Minimální hodnoty pro postranní odpad a můstek jsou vidět na (obr.25). Obecně však platí, že šířka pásu nebo pruhu plechu je rovna šířce součásti zvětšené o 3 až 4 tloušťky plechu.



Obr.25 Minimální velikost postranního odpadu a šířka můstku [4]

3.2 SÍLA A PRÁCE [19]

U přesného stříhání vstupují do procesu tři síly (obr.26). Vlastní střižná síla F_s, síla přidržovače F_p, která vtlačuje tlačnou hranu přidržovače do polotovaru, a síla vyhazovače F_v, kterou musí střižník překonávat a která brání předčasnému dolomení výstřižku před koncem zdvihu. Pro určení velikosti lisu se určuje celková střižná síla F_c.



Obr.26 Síly při přesném stříhání[17]

Střižná síla:

$$F_s = n \cdot S \cdot \tau_{ps} = n \cdot l_{cel} \cdot s \cdot \tau_{ps} \qquad (3.7)$$

Kde

l_{cel} – délka křivky střihu [mm]
S – plocha střihu [mm^2]
n – koeficient vlivu vnějších podmínek [-]
s – tloušťka materiálu [mm]
τ_{ps} – pevnost materiálu ve střihu [MPa]

Síla na přidržovači:

$$F_p = k \cdot L_n \cdot h \qquad (3.8)$$

Kde

L_n – délka tlačné hrany [mm]
h – výška tlačné hrany [mm]
k – odpor materiálu proti vtlačení tlačné hrany [MPa]

Pro přibližný výpočet bylo zkouškami zjištěno k = 4·Rm. To platí pro obvyklé poměry tlačné hrany k tloušťce materiálu.

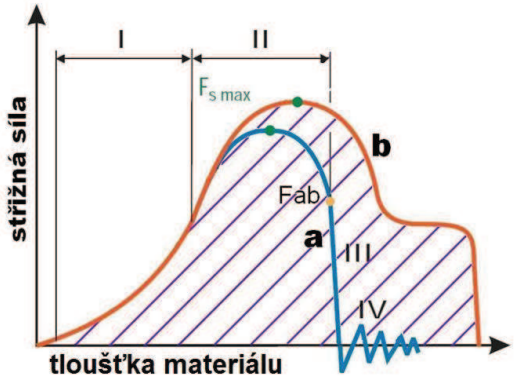
Síla vyhazovače:

$$F_v = S_v \cdot p_v \qquad (3.9)$$

Kde

S_v – plocha stříhané součásti [mm^2]
p_v – měrný tlak vyhazovače [MPa]

Měrný tlak p_v bývá v rozmezí 30 až 70 MPa a v případě spojení stříhání s ohýbáním bývá v rozmezí 100 až 150 MPa.



a – křivka pro běžné stříhání
b – křivka pro přesné stříhání
I – fáze pružných deformací
II – fáze střihu
III – fáze utržení
IV – fáze oscilace
Fsmax – max. střižná síla
Fab – střižná síla při utržení

Obr. 27 Průběh střižné síly [27]

Podobně jako síla při stříhání se práce skládá ze tří složek. Těmito složkami jsou střižná práce na střižníku A_s, práce na přidržovači A_p s tlačnou hranou a práce na vyhazovači A_v. Obecně platí, že celková práce u přesného stříhání je o 2 – 3,5 krát větší než u normálního stříhání při vystřižení stejného výstřižku a je charakterizována jako plocha pod křivkou (obr.27). Celková práce A_c se určí jako součet prací od střižníku, vyhazovače a přidržovače.

Celková práce:

$$A_C = A_S + A_P + A_V \tag{3.10}$$

Střižná práce:

$$A_s = \frac{0{,}48 \cdot l_{cel} \cdot Rm \cdot s^2}{1000} \tag{3.11}$$

Kde

Rm – mez pevnosti materiálu [MPa]

Práce přidržovače:

$$A_p = \frac{2 \cdot Rm \cdot L_n \cdot h^2}{1000} \tag{3.12}$$

Práce vyhazovače:

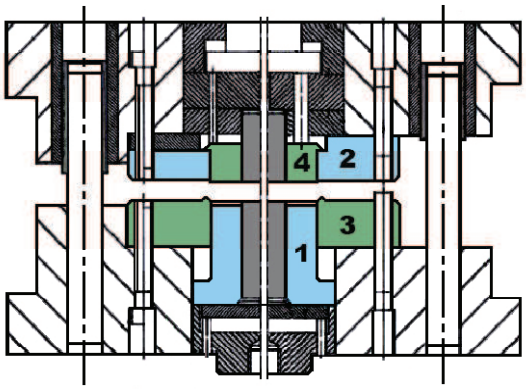
$$A_v = \frac{S_v \cdot p_v \cdot s}{1000} \tag{3.13}$$

3.3 NÁSTROJE PRO PŘESNÉ STŘÍHÁNÍ [28] [17]

Při konstrukci funkčních částí nástroje je nutné soustředit pozornost na správné ustavení a výrobní přesnost jednotlivých dílů nástroje. Jedná se zejména o konstrukci střižníku, střižnice, přidržovače a vyhazovače, jejichž funkce a konstrukce je popsána v dalších podkapitolách.

Na nástroje pro přesné stříhání je kladeno mnoho požadavků. Mezi nejdůležitější požadavky patří:

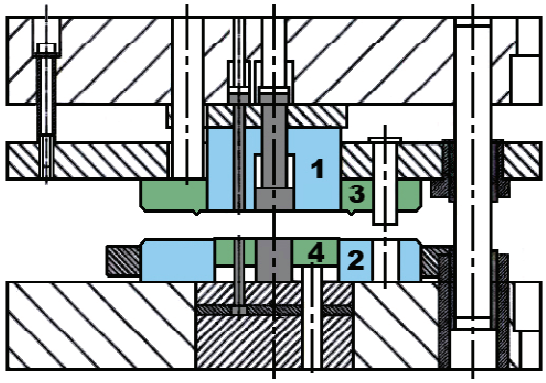
- Tuhost a přesnost nástroje
- Možnost přenášet potřebný tlak přes přidržovač a vyhazovač
- Přesné výškové nastavení nástroje (střižník nesmí procházet střižnicí)
- Rovnoběžnost stěn otvoru ve střižnici po celé tloušťce stříhaného materiálu



Obr.28 Schéma nástroje – systém pohyblivý střižník, pevný přidržovač [4]

Většina nástrojů pro přesné stříhání plošných rovinných součástí je konstruována jako nástroje s pohyblivým střižníkem a pevným přidržovačem. Systém se používá pro výrobu drobných a symetrických součástí do tloušťky 5 mm. Typická konstrukce nástroje pro přesné stříhání součástí s vnitřním otvorem (obr.28) se skládá z tuhého vodícího stojánku s valivým vedením, v němž jsou uloženy funkční části nástroje. Přidržovač s tlačnou hranou je pevně spojen s dolní částí vodícího stojánku. Střižník je při stříhání veden přidržovačem. Příčné síly působící na střižník nevyvolávají proto přesun střižných prvků k sobě.

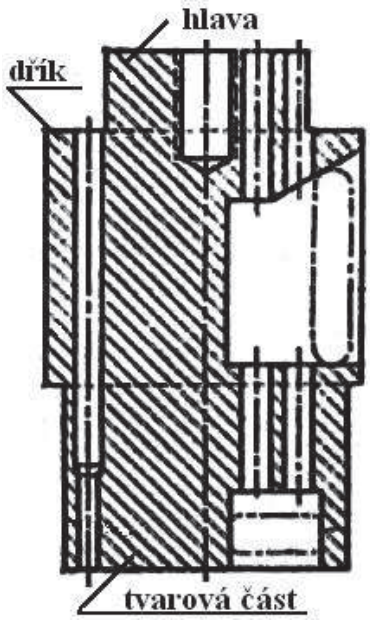
Konstrukce nástroje s pevným střižníkem a pohyblivým přidržovačem je vhodná pro velké a dlouhé nesymetrické součásti s mnoha otvory pro tloušťku materiálu nad 5 mm. Nástroj je srovnatelný se sloučeným střihadlem otočeným o 180°. Síly vznikající při stříhání namáhají funkční části střihadla na ohyb. Síla potřebná pro zatlačení tlačné hrany do stříhaného materiálu je vyvozena hydraulicky pomocí tlačných kolíků. Nástroje konstruované tímto způsobem (obr.29) jsou velmi citlivé na příčné síly, které způsobují vybočení střižníku ve směru stříhání. Lisovací síla není rozdělena rovnoměrně na všechny tlačné kolíky, není tedy zajištěna rovnoběžnost mezi přidržovačem a střižníkem.



Obr.29 Schéma nástroje – systém pevný střiník, pohyblivý přidržovač [4]

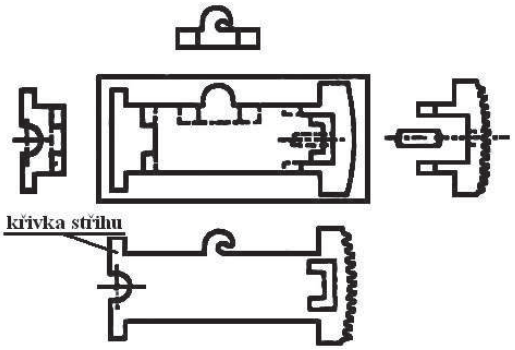
3.3.1 **Střižník** [28] [17]

Podle (obr.30) rozlišujeme tři části střižníku, tvarovou (profilovou) část, hlavu a dřík. Tvarová část střižníku odpovídá tvaru výstřižku. Uvnitř dříku se nacházejí otvory a vybrání pro vyhazovače, proto jsou střižníky pro přesné stříhání konstrukčně komplikovanější a více namáhané, než střižníky používané při běžném stříhání. Tvarově složité střižníky, u nichž hrozí nebezpečí ulomení některé z částí střižníku, se vložkují (obr.31). Vložky se používají také při požadavku usnadnění výroby obtížných tvarů střižníků. Skládané střižníky mohou být výrobně jednodušší než střižníky z jednoho kusu. Nejjednodušší skládaný střižník je dvoudílný. Tvarová část tvoří jeden díl, dřík a hlava díl druhý. Oba díly jsou zpravidla spojeny kolíky a šrouby. Tvarová část má většinou po celé délce stejný průřez, který odpovídá vnějšímu tvaru výstřižku. Vybrání a otvory v tvarové části nebo v dříku střižníku velmi často ztěžují spojení střižníkových dílů. Styčná plocha mezi tvarovou částí a dříkem má být s ohledem na měrné zatížení co největší. Při ustavení nástroje je nutné, aby před začátkem procesu stříhání



Obr.30 části střižníku[17]

byl střižník buď ve stejné úrovni s plochou přidržovače, nebo o 0,2 mm níže.



Obr.31 Tvarová část střižníku se třemi vložkami [17]

V opačném případě se snižuje kvalita střižné plochy. Při ukončení stříhání se čelní plocha střižníku nesmí ponořit do otvoru střižnice, protože by došlo k jeho rychlému opotřebení. Výjimku tvoří pouze stříhání velmi tvrdých materiálů, kde lze uvažovat hloubku vniknutí střižníku do střižnice, která nepřevyšuje hodnotu poloměru zaoblení střižné hrany střižnice. Střižník musí být ve vyhazovači zalícován suvně a musí být zajištěn proti pootočení.

Střižníky běžného provedení mají obvykle malou délku, stačí je tedy kontrolovat na namáhání v tlaku σ_d.

$$\sigma_d = \frac{F_s}{S} < \sigma_{dov} \tag{3.14}$$

Kontrola opěrné kalené desky na tlak σ_d

$$\sigma_d = \frac{F_s}{S} < \sigma_{dov} \tag{3.15}$$

Kde

σ_{dov} - dovolené namáhání v tlaku pro kalenou desku [180 MPa]
σ_{dov} - dovolené namáhání v tlaku [2000 – 2500 MPa]
F_s - střižná síla [N]
S - plocha průřezu osazení [mm^2]

V případě delších střižníků je nutno provést kontrolu na vzpěr. Kritická délka l_k pro nevedený a vedený střižník se vypočte:

$$l_k = \sqrt{\frac{2 \cdot \pi^2 \cdot E \cdot \mathrm{I}}{k_b \cdot F_s}} \tag{3.16}$$

$$l_k = \sqrt{\frac{4 \cdot \pi^2 \cdot E \cdot \mathrm{I}}{k_b \cdot F_s}} \tag{3.17}$$

Kde

E – modul pružnosti v tahu ocel: $2{,}15 \cdot 10^5$ [MPa]
I – moment setrvačnosti průřezu I= 0,05 d^4 [mm^4]
k_b – koeficient bezpečnosti [1,5 – 2]

3.3.2 Střižnice a přidržovač [20] [33]

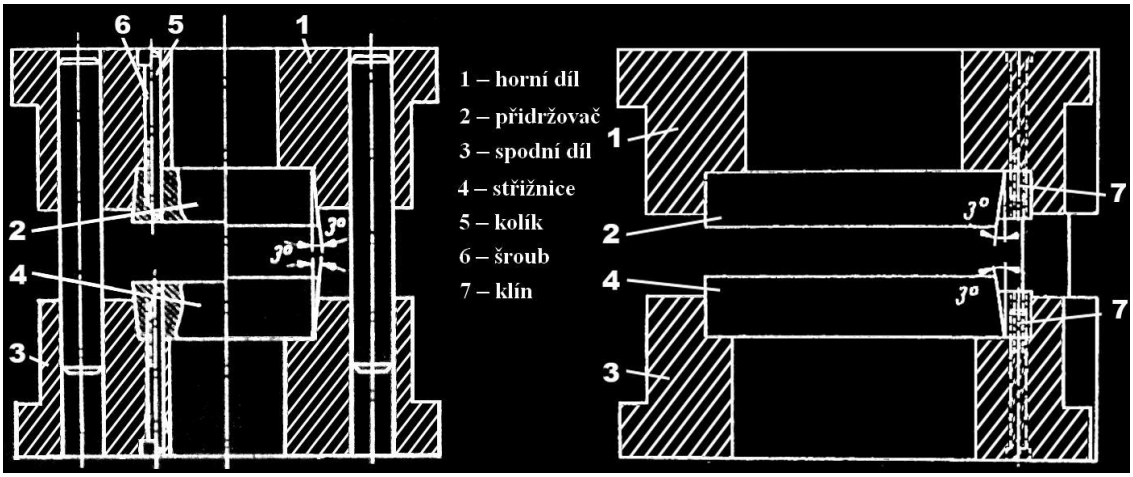
Střižnice musí být

- vyrobená bez přechodů a broušená, popř. vyjiskřená
- zalícovaná ve vodicím stojánku se správným předpětím
- podepřená v zeslabených místech zespodu tvarovými vložkami
- konstruovaná s odvzdušňovací drážkou
- konstruovaná s ochrannými ploškami proti poškození tlačné hrany
- konstruovaná s tlačnými hranami se správnou geometrií

Přidržovač musí být

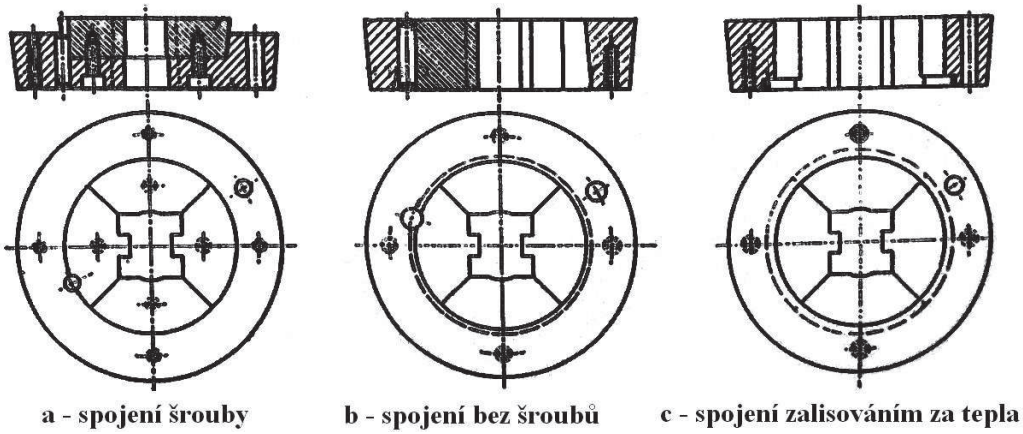
- zalícován ve vodicím stojánku se správným předpětím
- konstruován s ochrannými ploškami proti poškození tlačné hrany
- konstruován **s** drážkami k odtoku oleje pokud jsou potřeba
- konstruován s tlačnými hranami se správnou geometrií

Podle vnějšího tvaru rozlišujeme kruhové a obdélníkové přidržovače a střižnice, podle konstrukce přidržovače a střižnice z jednoho kusu nebo skládané. Přidržovače a střižnice vyrobené z jednoho kusu mají často nejvíce namáhané partie, kterým hrozí poruchy, a proto se vložkují. Skládané přidržovače a střižnice jsou sestaveny z několika částí v jeden celek ve vhodných objímkách. Spojení mezi segmenty a objímkou může být nerozebíratelné i rozebíratelné (obr.33). Aby i po několikerém rozebrání a sestavení střihadla měli přidržovač a střižnice ve vodicím stojánku stále tutéž polohu, je nezbytně nutné jejich jednoznačné ustředění. Protože střižná mezera je asi jen 0,01mm, nelze k ustředění a nasazení používat kruhového otvoru v horní nebo dolní části vodícího stojánku. V praxi se osvědčuje ustřeďování kruhových přidržovačů a střižnic z jednoho kusu pomocí kuželovitého uložení o malém úkosu v horní nebo dolní části vodícího stojánku podle (obr.32 vlevo). Kruhové desky s úkosem 3° se zalisovávají s předpětím 0,2-0,3 mm do kuželového vybrání ve vodícím stojánku. Pro ustředění celistvých obdélníkových přidržovačů a střižnic lze použít podobný způsob. Polohu podélné osy přidržovače a střižnice v horní a dolní části vodícího stojánku jednoznačně zajišťují úkosy podélných stěn. Pro ustředění v příčné ose se používá jedna čelní stěna mírně zkosená a druhá kolmá (obr.32 vpravo). Skládané přidržovače a střižnice se ustřeďují při použití střižníku jako ustřeďovacího trnu. Teprve potom se přidržovač spojí s vodícím stojánkem, nejlépe šrouby. K zajištění ustředěných skládaných přidržovačů a střižnic se volný prostor mezi nimi a vybráním ve stojánku zalije slitinou kovu o nízké teplotě tání.



Obr. 32 Ustředění přidržovačů a střižnic kruhového (vlevo) a obdélníkového tvaru [17]

Toto spojení může být rozebíratelné nebo nerozebíratelné. V obou případech se přednostně užívá slitin kovu, jejichž objem se ztuhnutím zvětšuje. Tím se získá předpětí potřebné k ustředění.



Obr.33 Skládané střižnice [17]

Při výpočtu celistvých střižnic je možno střižnice považovat za rovinné desky namáhané ohybem, při čemž se předpokládá, že tlak je rovnoměrně rozložen po střižném obvodu.

Tloušťka střižnice H vypočtená s přihlédnutím k dovolenému napětí v ohybu

$$H = \sqrt{\frac{1{,}5 \cdot F_s}{\sigma_{dov}}} \tag{3.18}$$

Kontrola tloušťky střižnice na ohyb. Odhad tloušťky střižnice z velikosti střižné síly podle Oehlera se používá pro hrubou kontrolu.

$$H = \sqrt[3]{F_s} \tag{3.19}$$

Kde

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

3.3.3 Vyhazovač [29]

Vyhazovač je posuvně uložen v otvoru střižnice a má z ní vyčnívat asi o 0,2 mm. Je opatřen jedním nebo několika odpruženými kolíky, které uvolňují výstřižky a zabraňují, aby neulpívali na nástroji. Kolíky mají být umístěny pokud možno blízko křivky střihu. Vyhazovač může být složen z několika částí, které nemusí být navzájem spojeny, má-li nástroj k jejich podepření dostatek tlakových kolíků. Kruhový vyhazovač musí být ve střižnici.

3.3.4 Tolerance střižných nástrojů [28] [7]

Vychází se z poznatku, že při vystřihování je základním rozměrem rozměr střižnice. Rozměr střižníku se zmenšuje o střižnou vůli a výrobní toleranci. Při děrování je naopak základním rozměrem rozměr střižníku a střižnice má rozměr zvětšený o vůli a výrobní toleranci. Přesnost výrobku bude hlavním činitelem ovlivňujícím tolerance střižných nástrojů. Výrobky mohou být v těchto třídách přesnosti: nižší přesnost IT 14, IT 15, IT 16
střední přesnost IT 11, IT 12
zvýšená přesnost IT 6, IT 7, IT 8, IT 9

Číselné vyjádření hodnot tolerancí rozměrů vystřihovaných součástí a stanovení přídavku P_0 se určí podle (tab.5)

Střižné nástroje musí být přesnější. Jejich tolerance musí být tedy nižší než tolerance výstřižku. Obvykle se volí podle (tab.6)

Tab.5 Číselné hodnoty vybraných tolerančních stupňů [7]

Rozsah jmenovitých rozměrů [mm]		Toleranční stupeň									
		IT5	IT6	IT7	IT8	IT9	IT10	IT11	IT12	IT13	IT14
od	**do**	Tolerance [μm]									
1	**3**	5	7	9	14	25	40	60	90	140	250
3	**6**	5	8	12	18	30	48	75	120	180	300
6	**10**	6	9	15	22	36	58	90	150	220	360
10	**18**	8	11	18	27	43	70	110	180	270	430
18	**30**	9	13	21	33	52	84	130	210	330	520
30	**50**	11	16	25	39	62	100	160	250	390	620
50	**80**	13	19	30	46	74	120	190	300	460	70
80	**120**	15	22	35	54	87	140	220	350	540	70
120	**180**	18	25	40	63	100	160	250	400	630	1000
180	**250**	20	29	46	72	115	185	290	450	720	1150

Tab.6 Závislost přesnosti vystřihovaných součástí na přesnosti nástroje [28]

Základní výrobní tolerance IT vystřihovaného Výrobku	8 až 9	10	11	12	13	14	15
Základní výrobní tolerance IT střižníku a střižnice	5 až 6	6 až 7	7 až 8	8 až 9	10	11	12

Tolerance střižných nástrojů je ovlivněna také velikostí střižné vůle. Můžeme ji předepsat jen tehdy, je-li velikost střižné vůle větší než výrobní tolerance nástrojů. Závislost tolerancí nástrojů na velikosti nástroje a vůli je uvedena v (tab.7).

Tab.7 Závislost tolerance nástrojů na rozměru nástroje [7]

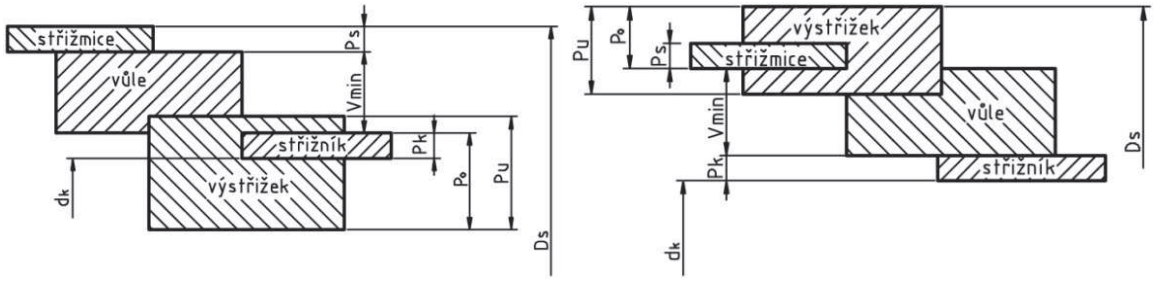
Střižná vůle [mm]	**Rozměr nástroje [mm]**											
	1 až 3	**3 až 6**	**6 až 10**	**10 až 18**	**18 až 30**	**30 až 50**	**50 až 80**	**80 až 120**	**120 až 180**	**180 až 260**	**260 až 360**	**360 až 500**
0,0005 až 0,003	+D IT 6 nebo –d IT 6											I
0,003 až 0,02	+D IT 6 nebo –d IT 6											
0,02 až 0,06	+D IT 7 - d IT 7											II
0,06 až 0,15												
0,15 až 0,20												
0,20 až 0,3	- D IT 8 - d IT 8											III
0,30 až 0,60												
0,60 až 2,0												IV
nad 2												

Z tabulky 8 se stanoví základní rozměr střižnice v případě technologické operace vystřihování nebo střižníku pro děrování.

Tab.8 Vzorce pro stanovení rozměrů střižníků a střižnice [7]

Způsob předepsání tolerance výstřižků (otvoru)	Základní nástroj	Vzorce ke stanovení rozměrů pracovních částí	
		s přídavkem na opotřebení P_0=0,8 P_u	s přídavkem na opotř. P_0= P_u
$\mathbf{D_{-Us}}$	střižnice	D_s= (D – 0,8 U_h) + P_s	D_s= (D – U_s) + P_s
$\mathbf{D^{-Uh}_{-Us}}$		D_s= (D – 0,2 U_h – 0,8 U_s) + P_s	D_s= (D – U_s) + P_s
$\boldsymbol{D}$		D_s= (D + 0,2 U_h + 0,8 U_s) + P_s	D_s= (D + U_s) + P_s
$\mathbf{D^{+Uh}_{-Us}}$		D_s= (D + 0,2 U_h – 0,8 U_s) + P_s	D_s= (D – U_s) + P_s
$\boldsymbol{D \pm U}$		D_s= D + P_s	D_s= D + P_s
$\mathbf{d^{+Uh}}$	střižník	d_k= (d + 0,8 U_h) - P_k	d_k= (d + U_h) - P_k
$\mathbf{d^{+Uh}_{-Us}}$		d_k= (d - 0,8 U_s + 0,8 U_h) - P_k	d_k= (d + U_h) - P_k
$\boldsymbol{d \pm U}$		d_k= d - P_k	d_k= d - P_k

D - jmenovitý rozměr
U_h - horní úchylka tolerance
U_S - spodní úchylka tolerance
P_U - dovolená úchylka výstřižku
P_0 - přídavek na opotřebení
P_S - výrobní tolerance střižnice
P_k - výrobní tolerance střižníku
D_s - skutečný průměr střižnice
d_k - skutečný průměr střižníku
Je-li: $P_0 = P_U$ – výstřižky v toleranci IT6 až IT9
$P_0 = 0,8\ P_U$ – výstřižky v toleranci IT6 až IT11



Obr.34 Toleranční pole pro stříhání vlevo obvodu a napravo otvoru [20]

3.3.5 Materiály používané pro střižné nástroje [20] [28]

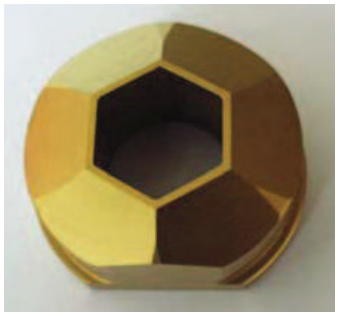
Na materiálu funkčních částí nástroje a na postupu tepelného zpracování je závislá hospodárnost a především ekonomická otázka vystřihování. Nástroje pro stříhání se konstruují převážně z nástrojových ocelí (tab.9), u nichž se požaduje maximální odolnost proti opotřebení a další vlastnosti, jako je kalitelnost prokalitelnost, tvrdost povrchu a houževnatost, únavová pevnost. Pro dosažení vyššího výkonu stříhání se používají nástroje konstruované ze slinutých karbidů.

Tab.9 Materiály střižných nástrojů podle použití [28]

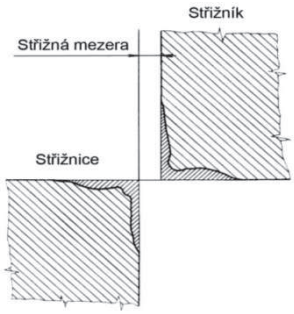
Ocel	Chemické vlastnosti (%)						Vhodnost použití
	C	Si	Cr	W	V	Mo	
19550	0,5	-	3,2	-	0,2	1,4	Pro výkonné střižné nástroje, kruhové nože, ostřihování a děrování materiálu větších tlouštěk a vyšších pevností
19559	0,5	0,9	8,5	1,1	0,2	1,1	Pro výkonné střižné nástroje pro tváření za studena se zvýšenými požadavky na houževnatost
19574	2,0	-	12	1.0	0,4	0,5	Pro střižné a děrovací nástroje s maximální životností, pro stříhání materiálu o vysoké pevnosti a malé tloušťce
19575	1,6	12	12	-	0,2	0,8	Pro vysoce namáhané střižné a děrovací nástroje, pro stříhání materiálu o vysoké pevnosti, do tloušťky 10 mm
19735	0,6	0,6	1,1	2,0	0,2	-	Pro výkonné střižné nástroje, kruhové nože, ostřihování a děrování materiálu větších tlouštěk a vyšších pevností
19735	0,6	0,6	1,1	2,0	0,2	-	Pro výkonné střižné nástroje, kruhové nože, ostřihování a děrování materiálu větších tlouštěk a vyšších pevností

3.3.6 Životnost střižných nástrojů [28]

Životnost funkčních částí nástroje (střižník, střižnice, přidržovač, vyhazovač) závisí na mnoha činitelích. Je to především druh materiálu a tepelné zpracování, tloušťka a tvar střižné součásti, materiál funkčních částí nástroje apod. Povrchovou úpravou funkčních ploch se zvyšuje životnost nástroje. Především se jedná o lapování, leštění, povlakování nástrojů tenkou tvrdou otěruvzdornou vrstvou (obr.35) a také nasycování funkčních ploch wolframem a dusíkem. Trvanlivost funkčních částí, tj. čas, po který nástroj pracuje od svého naostření až do otupení, je značně rozdílná. Optimální trvanlivosti střižníku je při zpracování materiálu o pevnosti do σ_{Pt}= 600 MPa přibližně 30000 kusů vyrobených součástí. Trvanlivost střižnice je 3,5 až 4 krát větší než u střižníku. Při obnově funkčních částí nástroje (tj. na jedno naostření střižníku a střižnice) je nutno počítat s úbytkem 0,2 až 0,25 mm. Opotřebení vzniká jednak únavou materiálu v povrchových vrstvách střižné hrany a také zadíráním a otěrem. Opotřebení únavou se projevuje vylamováním střižné hrany. Tento jev se objevuje u nožů s velkou tvrdostí. Zadírání nastává při posuvu materiálu po nástroji, hlavně po pohyblivé části nože. Opotřebení otěrem způsobují uvolněné částice materiálu, vznikající při zadírání, a rovněž nečistoty. Příklad opotřebení střižné hrany je na (obr.36).



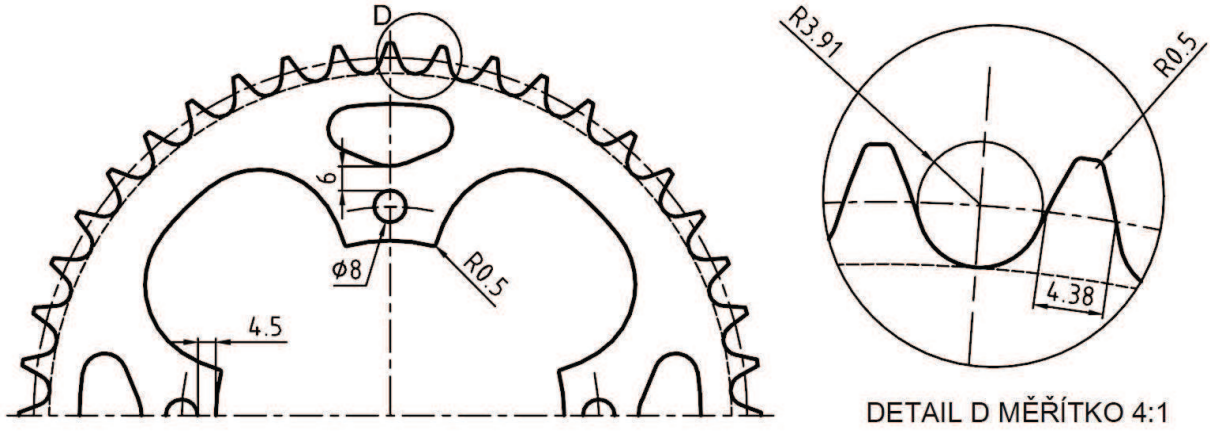
Obr.35 Ořezávací matrice TiCN CVD [9]



Obr.36 Vzhled opotřebení střižné hrany [7]

4 NÁVRH VÝROBY SOUČÁSTI

Tato kapitola si dává za cíl určit veškeré výpočty pro správný návrh nástroje, ekonomiku výroby a stroje. Zadanou součástí je řetězové kolečko s mnoha vnitřními otvory a ozubením po obvodu vyrobené z oceli 11 500 o tloušťce plechu 3 mm, jak ukazuje (obr.37). Pro značnou složitost součásti, se musí nejprve určit, zda navržená konstrukce nebrání vyrobitelnosti součásti.



Obr.37 Řetězové kolečko předního převodníku

Minimální velikost poloměrů rohů a hran

Nejmenší poloměr rohů je na vnějším ozubení a má hodnotu R 0,5mm a vrcholový úhel 110°. Minimální poloměr rohů a hran je zjištěn z diagramu v příloze 2. Podle grafu je minimální poloměr R_{min} 0,25 mm. Zadaná součást vyhovuje.

Minimální velikost děrovaných otvorů a šířka drážek

Nejmenší průměr na součásti je 8 mm. Pro tloušťku plechu 3mm vychází podle tabulky v příloze 1 minimální průměr 1.8 mm a šířka drážky 1,95 mm. Zadaná součást vyhovuje.

Minimální vzdálenost mezi otvory

Nejmenší vzdálenost otvorů mezi sebou je na součásti 6 mm. Podle grafu v příloze 3 je pro mez pevnosti materiálu 600Mpa a tloušťku plechu 3 mm minimální vzdálenost otvorů od sebe 2 mm. Zadaná součást vyhovuje.

Tvar ozubení

Zuby střižníku budou poměrně namáhány. Určení vhodnosti ozubení popisuje kapitola 3.1.4. V případě, že šířka zubu měřená na roztečné kružnici je menší než tloušťka plechu, jsou zuby velmi namáhané. Minimální hodnota šířky zubu na roztečné kružnici nesmí překročit 60% tloušťky materiál, aby se dala součást vyrábět přesným stříháním. Na součásti je šířka zubu na roztečné kružnici 4,38 mm. Tvar zubu zadané součásti vyhovuje

4.1 TECHNOLOGICKÉ VÝPOČTY

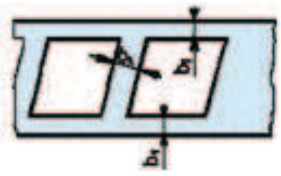
Technologické výpočty jsou potřebné pro určení množství polotovaru materiálu. Dále potom pro určení vhodného stroje na základě vypočtených sil a práce, určení rozměrů nástroje.

Velikost postranního odpadu a šířka můstku:

Velikost postranního odpadu b_1 a šířka můstku b_2 byla stanovena pomocí obrázku 25 v kapitole 3.1.5.

$b_1 = 4{,}4$ mm

$b_2 = 6$ mm



Obr.38 Můstek a postranní odpad

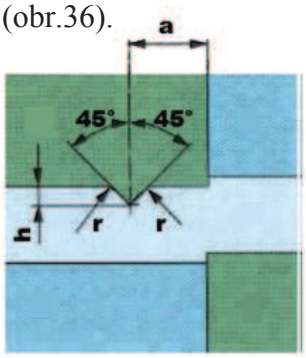
Tvar a rozměr tlačné hrany:

Pro tloušťku plechu 3 mm je tlačná hrana umístěna pouze na přidržovači. Rozměry a umístění tlačné hrany určíme z tabulky 3 v kapitole 3.1.2. Vedení tlačné hrany okolo ozubení je znázorněno na (obr.36).

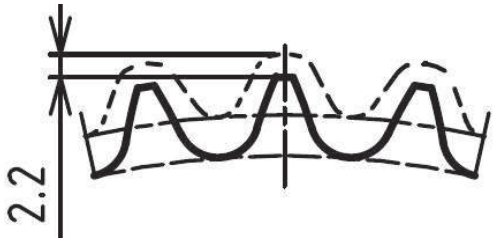
a = 2,2 mm

h = 0,6 mm

r = 0,2 mm



Obr. 39 Tlačná hrana



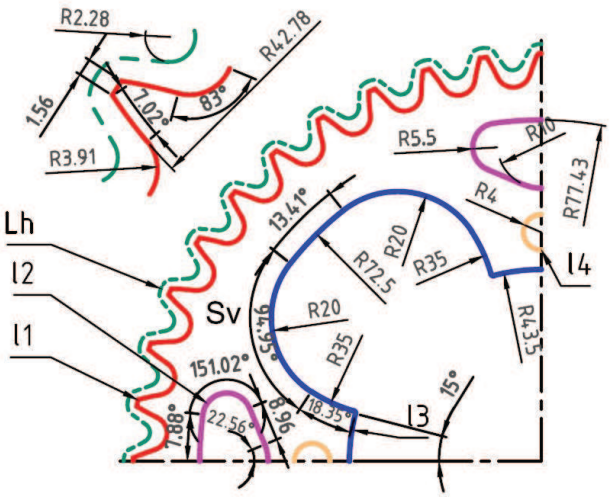
Obr 40. Rozměr a

Určení plochy součásti, délky křivky střihu a délky tlačné hrany

Hodnota plochy součásti S_v, délka střihu l_{cel} a délka tlačné hrany L_h byla určena pomocí grafického počítačového programu Inventor a zároveň početním způsobem s využitím obrázků 41, 42. Získané hodnoty jsou uvedeny v přehledné tabulce 10 s vyvozenými závěry.

Početní řešení k určení délky střihu l_{cel}

Na obrázku 41 je vidět jedna čtvrtina řetězového kola s barevně odlišenými křivkami střihu. Součet těchto křivek (l_1- červená, l_2 - fialová, l_3 - modrá, l_4 - oranžová) dává celkovou délku střihu l_{cel}.



Obr.41 Délka střihu

Délka ozubení barva červená l_1

$$L_1 = \frac{2 \cdot \pi \cdot \alpha_1}{180^{\circ}} \cdot R = \frac{2 \cdot \pi \cdot 7{,}02}{180} \cdot 42{,}78 = 10{,}48\ mm \quad (4.1)$$

$$L_2 = \frac{2 \cdot \pi \cdot \alpha_2}{180^{\circ}} \cdot R = \frac{2 \cdot \pi \cdot 83}{180^{\circ}} \cdot 3{,}91 = 9{,}41\ mm \quad (4.2)$$

$$L_3 = 1.56\ mm \quad (4.3)$$

$$l_1 = 10{,}48 + 9{,}41 + 1{,}56 = 21{,}45 \cdot 44 = 943{,}8\ mm \quad (4.4)$$

Délka odlehčení barva fialová l_2

$$L_1 = \frac{2 \cdot \pi \cdot \alpha_1}{180^{\circ}} \cdot R = \frac{2 \cdot \pi \cdot 151{,}02}{180^{\circ}} \cdot 5{,}5 = 28{,}98\ mm \quad (4.5)$$

$$L_2 = \frac{2 \cdot \pi \cdot \alpha_2}{180^{\circ}} \cdot R = \frac{2 \cdot \pi \cdot 7{,}88}{180^{\circ}} \cdot 77{,}43 = 21{,}29\ mm \quad (4.6)$$

$$L_3 = \frac{2 \cdot \pi \cdot \alpha_3}{180^{\circ}} \cdot R = \frac{2 \cdot \pi \cdot 22{,}56}{180^{\circ}} \cdot 10 = 7{,}87\ mm \quad (4.7)$$

$$L_4 = 8{,}96\ mm \quad (4.8)$$

$$l_2 = 28{,}98 + 21{,}29 + 7{,}87 + 17{,}92 = 76{,}06 \cdot 4 = 304{,}24\ mm \quad (4.9)$$

Délka středu barva modrá l_3

$$L_1 = \frac{2 \cdot \pi \cdot \alpha_1}{180^{\circ}} \cdot R = \frac{2 \cdot \pi \cdot 15}{180^{\circ}} \cdot 43{,}5 = 22{,}77\ mm \quad (4.10)$$

$$L_2 = \frac{2 \cdot \pi \cdot \alpha_2}{180^{\circ}} \cdot R = \frac{2 \cdot \pi \cdot 18{,}35}{180^{\circ}} \cdot 35 = 22{,}407\ mm \quad (4.11)$$

$$L_3 = \frac{2 \cdot \pi \cdot \alpha_3}{180^{\circ}} \cdot R = \frac{2 \cdot \pi \cdot 94{,}95}{180^{\circ}} \cdot 20 = 66{,}29\ mm \quad (4.12)$$

$$L_4 = \frac{\pi \cdot \alpha_4}{180^{\circ}} \cdot R = \frac{\pi \cdot 13{,}41}{180^{\circ}} \cdot 72{,}5 = 16{,}97\ mm \quad (4.13)$$

$$l_3 = 22{,}77 + 22{,}407 + 66{,}29 + 16{,}97 = 128{,}437 \cdot 4 = 513{,}748\ mm \quad (4.14)$$

Délka otvoru R4 barva oranžová l_4

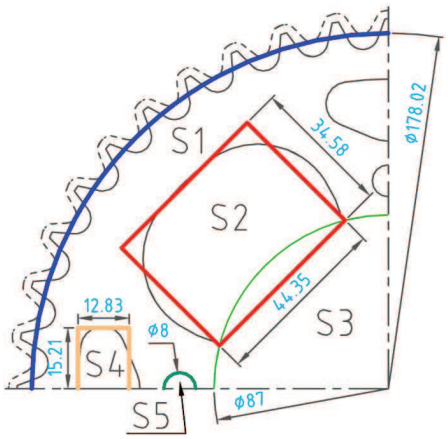
$$l_4 = \pi \cdot D = \pi \cdot 8 = 25{,}12 \cdot 4 = 100{,}53\ mm \quad (4.15)$$

Celková délka

$$l_{cel} = 943{,}8 + 304{,}24 + 513{,}748 + 100{,}53 = 1862{,}318\ mm \quad (4.16)$$

Početní řešení k určení plochy součásti S_v

Plocha součásti je určena vzhledem k tvarové složitosti pomocí součtu a rozdílu jednodušších geometrických tvarů, jako je kružnice, obdélník atd. Výsledek bude samozřejmě méně přesný, avšak k porovnání přesného výsledku pomocí PC zcela dostačuje.



Obr. 42 Plocha součásti

Závěry

Z tabulky 10 je patrné, že výsledky určené pomocí programu Inventor a početním způsobem jsou si velice podobné. Početní způsob sloužil jako orientační a ověřovací, proto volím jako výchozí hodnoty určené programem Inventor.

Tab.10 Přehled výsledků

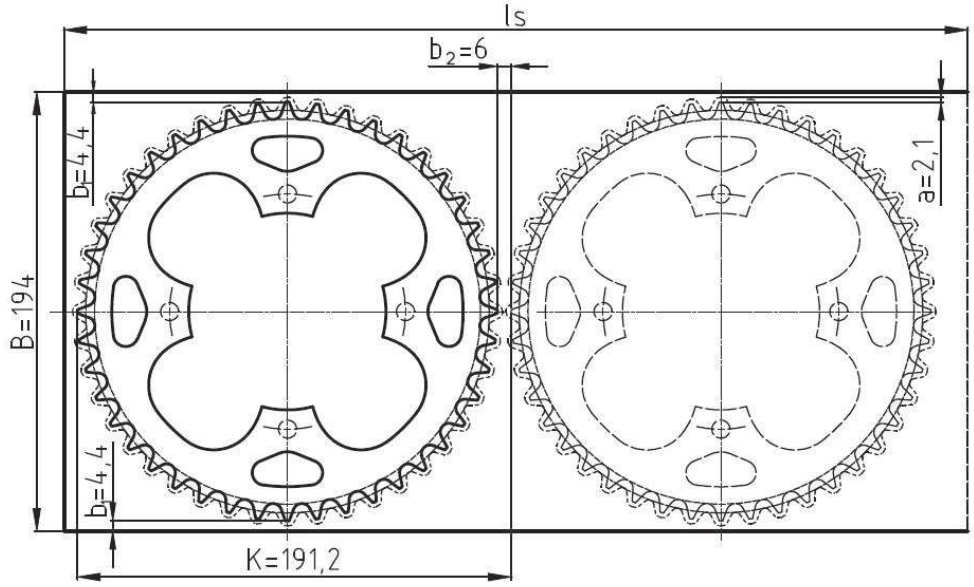
Prvek	Způsob určení	
	Inventor	Početně
Sv [mm^2]	10996,59	11053
L_h [mm]	827,2	850,5
l_{cel} [mm]	1841,1	1862,32

4.1.1 Nástřihový plán [20] [28] [30]

Nástřihovým plánem se rozumí vhodné rozmístění výstřižků na výchozí polotovar. Při stříhání pak vzniká tzv. konstrukční odpad, který závisí na tvaru součásti a technologický odpad, který závisí na uspořádání výstřižků na pásu plechu a ovlivňuje hospodárné využití materiálu. Stříháním se vyrábějí součásti buď přímo ze svitku, nebo se pásy připraví rozstříháním tabulí plechu. Tyto dvě možnosti budou propočítány a z nich vyvozeny závěry, pro kterou variantu je polotovar hospodárnější. Uspořádání výstřižků je charakterizováno velikostí kroku K a šířkou pásu B. Krok je definován jako vzdálenost, o kterou se musí pás materiálu po každém zdvihu posunout vpřed. Jeho délka se rovná součtu délky výstřižku a šířky můstku. Šířka pásu je dána šířkou stříhané součásti a velikostí postraních odpadů.

Varianta A.

Uspořádání výstřižků na pásu plechu ilustruje (obr.43). Součásti jsou umístěny v jedné řadě vedle sebe. Hodnoty velikosti šířky můstku b_2 a velikosti postranního odpadu b_1 byly stanoveny v kapitole 4.2. Varianta I.A nástřihového plánu byla zpracována s podrobně popsaným výpočtem, který zároveň slouží jako vzorový. Vzhledem k opakujícím se výpočtům jsou další varianty řešeny pouze stručně a výsledky uvedeny v tabulce 11.



Obr. 43 Nástřihový plán varianty A

I.A - Varianta s tabulemi plechu o rozměrech 1000 x 2000, 1250 x 2500, 1500 x 3000 mm

Plocha tabule plechu 1000 x 2000 mm

$$S_t = \check{S}_t \cdot L_p = 1000 \cdot 2000 = 2000\,000\ mm^2 \tag{4.17}$$

Kde

S_t – plocha tabule
$\check{S}_t$ – šířka tabule
L_p – délka tabule

Počet pásů z tabule

$$P_p = \frac{\check{S}_t}{B} = \frac{1000}{194} = 5{,}15 \Rightarrow 5\ pásů \tag{4.18}$$

Kde

P_p – počet pásů z tabule
B – šířka pásu

Počet výstřižků z pásu

$$P_v = \frac{L_p - (2 \cdot b_2)}{K} = \frac{2000 - (2 \cdot 6)}{191{,}2} = 10{,}3 \Rightarrow 10\ výstřižků \tag{4.19}$$

Kde

P_v – počet výstřižků z pásu
b_2 – velikost postranního odpadu
K – velikost kroku

Počet výstřižků z tabule

$$P_{vc} = P_p \cdot P_v = 5 \cdot 50 = 50\ výstřižků \tag{4.20}$$

Kde

P_{vc} – počet výstřižků z tabule

Využití materiálu

$$k_m = \frac{(S_v + S_o) \cdot P_{vc}}{S_t} \cdot 100 = \frac{(10996{,}588 + 13307{,}167) \cdot 50}{2\,000\,000} \cdot 100 = 60{,}7\% \qquad (4.21)$$

Kde

k_m – využití materiálu
S_v – plocha výstřižku
S_o – plocha odpadu z výstřižku

Tab. 11 Výsledky varianty IA

	Rozměr tabulí	Počet výstřižků z tabule	Procentuální využití tabule
Varianta I.A	1000 x 2000	50	60,7
	1250 x 2500	78	60,6
	1500 x 3000	105	56,7

II.A - Varianta ze svitkem o délce l_s = 300 m

Plocha svitku

$$S_s = B \cdot l_s = 194 \cdot 300\,000 = 58\,200\,000\ mm^2 \qquad (4.22)$$

Kde

S_s – plocha svitku

Počet výstřižků ze svitku

$$n_s = \frac{l_s - 100 - (2 \cdot b_2)}{K} = \frac{300000 - 100 - (2 \cdot 6)}{191{,}2} = 1568{,}45 \Rightarrow 1568\ výstřižků \qquad (4.23)$$

Kde

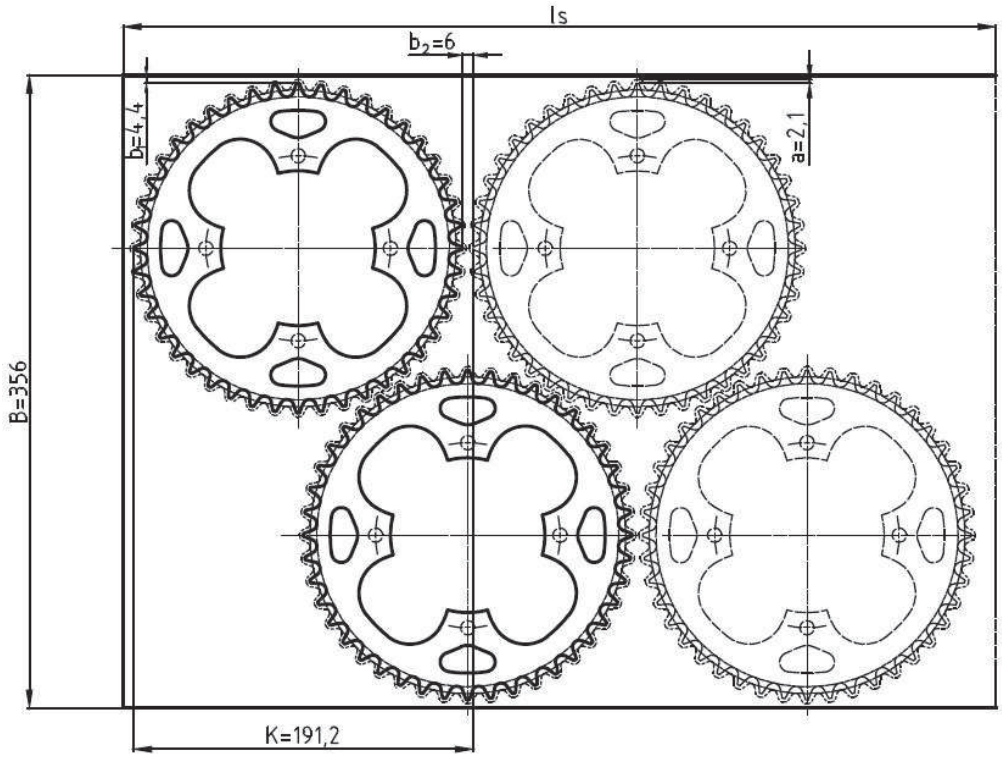
n_s – počet výstřižků ze svitku

Využití materiálu

$$k_m = \frac{(S_v + S_o) \cdot n_s}{S_s} \cdot 100 = \frac{(10996{,}588 + 13307{,}167) \cdot 1568}{58\,200\,000} \cdot 100 = 65{,}5\% \qquad (4.24)$$

Varianta B.

Uspořádání výstřižků na pásu plechu ilustruje (obr.44). Součásti jsou umístěny ve dvou řadách svisle nad sebou. Ve druhé řadě bude počet vystřižených součástí o jednu menší. Šířka pásu B je oproti předchozí variantě větší a to 356 mm. Krok **K** je stejný jako ve variantě A s hodnotou 191,2 mm.



Obr. 44 Nástřihový plán varianty B

Tab.12 Výsledky varianty I.B

	Rozměr tabulí	Počet výstřižků z tabule	Procentuální využití tabule
Varianta I.B	1000 x 2000	38	44
	1250 x 2500	75	58
	1500 x 3000	116	62,4

II.B - Varianta ze svitkem o délce l_s = 300 m

Plocha svitku

$$S_s = B \cdot l_s = 356 \cdot 300\,000 = 106\,800\,000\ mm^2 \qquad (4.25)$$

Počet výstřižků ze svitku

$$n_s = \frac{l_s - 100 - (2 \cdot b_2)}{K} \cdot 2 = \frac{300000 - 100 - (2 \cdot 6)}{191{,}2} \cdot 2 = 3136{,}9 \rightarrow 3136 \qquad (4.26)$$

Využití materiálu

$$k_m = \frac{(S_v + S_o) \cdot n_s}{S_s} \cdot 100 = \frac{(10996{,}588 + 13307{,}167) \cdot 3135}{106\,800\,000} \cdot 100 = 71{,}3\% \qquad (4.27)$$

Zhodnocení variant nástřihových plánů

Z tabulky 13 je patrné, že nejvýhodnější varianta nástřihového plánu vychází pro uspořádání na svitku pásu plechu a to ve dvou řadách II.B. Literatura 34 uvádí, že s každou další řadou kruhových výstřižků roste využití materiálů zhruba o 8%. Z ekonomického hlediska je toto číslo nezanedbatelné, ale vzhledem k faktu, že střižný nástroj by byl podstatně složitější a potřebná střižná síla dvojnásobná, je možné volit kompromis a jako výchozí variantu nástřihového plánu použít II.A.

Tab. 13 Výsledky variant nástřihových plánů

	Rozměr polotovaru I. tabule: a – 1000 x 2000 [mm] b – 1250 x 2500 [mm] c – 1500 x 3000 [mm] II. svitek	Počet výstřižků [ks]	Procentuální využití [%]
Varianta I.A	A	50	60,7
	B	78	60,6
	C	105	56,7
Varianta II.A	Svitek 300 000 x 194 x 3 [mm]	1568	65.5
Varianta I.B	A	38	44
	B	75	58
	C	116	62,4
Varianta II.B	Svitek 300 000 x 356 x 3 [mm]	3136	71,3

4.1.2 Návrh polotovaru výstřižku

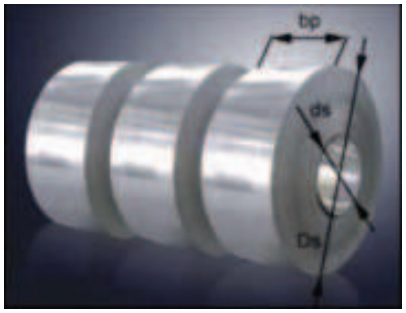
Na základě nástřihového plánu je volen jako polotovar pás svitku o šířce 194 mm a délce 300 m. Způsob přípravy pásu plechu před zavedením do střižného nástroje je založen na vložené svitku do jednostranného odvijáku a vedení pásu přes rovnačku. Poté je pás zaveden do stroje, kde je vstupní a výstupní podavač, který dodrží požadovaný krok pásu K. V pracovním prostoru je umístěn nástroj, který na jeden zdvih vystřihne jeden výstřižek. Výrobek je vystřižen a odstraněn z nástroje pomocí stlačeného vzduchu. Pás je dopraven k děliči odpadu, rozstříhán a uložen do bedny. Obrázek 46 ukazuje přípravní část (odviják, rovnací stolice) pásky svitku linky.

Výpočet rozměrů svitků

$$l_s = \frac{D_s^2 - d_s^2}{4 \cdot s} \cdot \pi = \frac{1{,}182^2 - 0{,}5^2}{4 \cdot 0{,}003} \cdot \pi = 300{,}3m \qquad (4.28)$$

Kde

D_s – vnější průměr svitku
d_s – vnitřní průměr svitku



Obr. 45 Rozměry svitku [34]

Obr. 46 Příprava pásky svitku [10]

4.1.3 Střižná vůle

Střižná vůle se může stanovit několika způsoby. První možnost je pomocí vztahu z kapitoly 3.1.1 pro všeobecnou praxi jako 0,5% tloušťky materiálu. Další možnost je stanovit střižnou vůli empirickým vztahem podle literatury (8) nebo odečtením z grafu v příloze 4.

Vztah pro všeobecnou praxi

$$v = 0{,}5\% \cdot s = 0{,}005 \cdot 3 = 0{,}015mm \tag{4.29}$$

Přesný empirický vztah

$$v = 2 \cdot z = c \cdot s \cdot 0{,}32 \cdot \sqrt{\tau_{ps}} = 7 \cdot 10^{-4} \cdot 3 \cdot 0{,}32 \cdot \sqrt{496} = 0{,}0149\ mm \tag{4.30}$$

$$\tau_{ps} = 0{,}8 \cdot R_m = 0{,}8 \cdot 620 = 496\ MPs \tag{4.31}$$

Odečtení z grafu v příloze 4

v = 0,015 mm

Na základě těchto výpočtů volím střižnou vůli v = 0,015 mm.

4.1.4 Výpočet síly a práce

Vztahy vychází z literární studie v kapitole 3.2

Výpočet celkové střižné síly

Vypočte se jako součet síly střižníku, přidržovače a vyhazovače podle vztahu (3.6)

$$\mathrm{F_c} = \mathrm{F_s} + \mathrm{F_p} + \mathrm{F_v} \tag{4.32}$$

$$\mathrm{F_c} = 2863278{,}72 + 1072051{,}2 + 769761{,}3 \ = 4705091{,}22N$$

Střižná síla

$$\mathrm{F_s} = \mathrm{n} \cdot \mathrm{S} \cdot \tau_{\mathrm{ps}} = \mathrm{n} \cdot \mathrm{l_{cel}} \cdot \mathrm{s} \cdot \tau_{\mathrm{ps}} = 1{,}2 \cdot 1841{,}1 \cdot 3 \cdot 432 = \ 2863278{,}72\mathrm{N} \tag{4.33}$$

Součinitel otupení n je stanoven z literatury 4.

Síla na přidržovači

$$\mathrm{F_p} = \mathrm{k} \cdot \mathrm{L_n} \cdot \mathrm{h} \ = 4 \cdot \mathrm{R_m} \cdot \mathrm{L_n} \cdot \mathrm{h} = 4 \cdot 540 \cdot 827{,}2 \cdot 0{,}6 = 1072051{,}2\mathrm{N} \tag{4.34}$$

Pro přibližný výpočet bylo zkouškami zjištěno k = 4·Rm. To platí pro obvyklé poměry tlačné hrany k tloušťce materiálu.

Síla na vyhazovači

$$F_v = S_v \cdot p_v = 10996{,}59 \cdot 70 = 769761{,}3\text{N} \quad (4.35)$$

Měrný tlak p_v bývá v rozmezí 30 až 70 MPa a v případě spojení stříhání s ohýbáním bývá v rozmezí 100 až 150 MPa.

Výpočet celkové střižné práce

$$A_C = A_S + A_P + A_V = 4982 + 369{,}26 + 2294{,}9 = 7646{,}2\text{ J} \quad (4.36)$$

Střižná práce: se určí podle vztahu (3.11)

$$A_s = \frac{0{,}48 \cdot l_{cel} \cdot Rm \cdot s^2}{1000} = \frac{0{,}48 \cdot 1860{,}19 \cdot 620 \cdot 3^2}{1000} = 4982\text{ J} \quad (4.37)$$

Práce přidržovače

$$A_p = \frac{2 \cdot Rm \cdot L_n \cdot h^2}{1000} = \frac{2 \cdot 620 \cdot 827{,}2 \cdot 0{,}6^2}{1000} = 369{,}26\text{ J} \quad (4.38)$$

Práce vyhazovače

$$A_v = \frac{S_v \cdot p_v \cdot s}{1000} = \frac{10928{,}12 \cdot 70 \cdot 3}{1000} = 2294{,}9\text{ J} \quad (4.39)$$

4.2 KONTROLNÍ VÝPOČTY

Kontrolní výpočty jsou důležité k ověření a navržení správné funkce nástroje, tak aby nedošlo k jeho poškození.

4.2.1 Pevnostní výpočty

Výpočet střižníku na tlak (pro průměr 8 mm) podle vztahu (3.14)

Pro průměr 8 mm

$$F_{s1} = n \cdot l \cdot s \cdot \tau_{ps} = 1{,}2 \cdot 25{,}13 \cdot 3 \cdot 432 = 39082{,}176N \quad (4.40)$$

$$\sigma_d = \frac{F_s}{S} = \frac{F_s}{\frac{\pi \cdot d_1^2}{4}} < \sigma_{dov} \quad (4.41)$$

$$\sigma_d = \frac{39082{,}176}{50{,}265} < \sigma_{dov}$$

$$\sigma_d = 777{,}52 < 2000 \Rightarrow \textit{střižník vyhovuje}$$

Kde

σ_{dov} – dovolené namáhání v tlaku [2000 - 2500 MPa]
F_{s1} – střižná síla pro průměr 8mm [N]
S – plocha průřezu střižníku 8mm [mm^2]

Volba opěrné kalené desky (pro osazení průměru 10 mm) podle vztahu (3.15)

$$\sigma_d = \frac{F_s}{S} < \sigma_{dov} \tag{4.42}$$

$$\sigma_d = \frac{39082{,}176}{78{,}54} < \sigma_{dov}$$

$$\sigma_d = 497{,}6 > 180 \Rightarrow podmínka\ nevyhovuje\ je\ nutné\ volit\ opěrnou\ desku$$

Kde

σ_{dov} – dovolené namáhání v tlaku [180 MPa]
S – plocha průřezu osazení [mm^2]

Výpočet střižníku na vzpěr pro vedený střižník podle vztahu (3.17)

$$l_k = \sqrt{\frac{4 \cdot \pi^2 \cdot E \cdot \mathrm{I}}{k_b \cdot F_{s1}}} = \sqrt{\frac{4 \cdot \pi^2 \cdot 2{,}15 \cdot 10^5 \cdot 20{,}48}{2 \cdot 39082{,}176}} = 47{,}14\ mm \tag{4.43}$$

Střižník nesmí přesáhnout vypočtenou délku 47,14 mm

Kde

l_k - kritická délka střižníku [mm]
E - modul pružnosti oceli [MPa]
I - moment setrvačnosti průřezu $I=0{,}005d^4$ [mm^4]
k_b - koeficient bezpečnosti (1,5-2) [-]
F_{s1} - střižná síla [N]

Kontrola tloušťky střižnice na ohyb podle vztahu (3.18)

$$H = \sqrt[3]{0{,}1 \cdot F_s} = \sqrt[3]{0{,}1 \cdot 2863278{,}72} = 65{,}9mm \tag{4.44}$$

Nejmenší tloušťka střižnice může být 65,9 mm, volím tloušťku 70 mm.

4.2.2 Stanovení rozměrů nástroje

Stanovení rozměrů funkčních částí nástroje (střižník a střižnice) je stanoveno podle normy ČSN 22 6015. Nároky na přesnost součásti se pohybují ve zvýšené třídě přesnosti IT8, tolerance střižných nástrojů bývá zpravidla nižší. Podle literatury 28 a tabulky 6 je IT 5 až IT6.

REV….rozměr střižnice při vystřihování
RAV…rozměr střižníku při vystřihování
RED….rozměr střižnice při děrování
RAD…rozměr střižníku při děrování
JR…….jmenovitý rozměr součásti
v……...střižná vůle
TS……tolerance jmenovitého rozměru
P…….. přípustná míra opotřebení
TE……výrobní tolerance střižnice
TA……výrobní tolerance střižníku

Děrování průměru 8 mm

JR = 8 mm
TS = 0,022 mm
P = 0,022 mm
TA = 0,006 mm
TE = 0,009 mm
v = 0,015 mm

$$RED = (JR + P/2 + v) + TE = (8 + 0{,}011 + 0{,}015) + 0{,}009 = 8{,}026^{+0{,}009} \quad (4.45)$$

$$RAD = \left(JR + \frac{P}{2}\right) - TA = \left(8 + \frac{0{,}022}{2}\right) - 0{,}012 = 8{,}011_{-0{,}006} \quad (4.46)$$

Děrování průměru 87 mm

JR = 87 mm
TS = 0,054 mm
P = 0,054 mm
TA = 0,015 mm
TE = 0,022 mm
v = 0,015 mm

$$RED = (JR + P/2 + v) + TE = (87 + 0{,}027 + 0{,}015) + 0{,}022 = 87{,}042^{+0{,}022} \quad (4.46)$$

$$RAD = \left(JR + \frac{P}{2}\right) + TA = \left(87 + \frac{0{,}054}{2}\right) - 0{,}015 = 87{,}027_{-0{,}015} \quad (4.47)$$

Vystřihování tvaru zubu

Rádius rozměru R42,78mm

JR = 42 mm
TS = 0,039 mm
P = 0,039 mm
TA = 0,011 mm
TE = 0,016 mm
v = 0,015 mm

$$REV = \left(JR - \frac{P}{2}\right) + TE = (42{,}78 - 0{,}0195) + 0{,}016 = 42{,}761^{+0{,}016} \quad (4.48)$$

$$RAV = \left(JR - \frac{P}{2} - v + TA\right) - TA = \left(42{,}78 - \frac{0{,}039}{2} - 0{,}015 + 0{,}011\right) - 0{,}011 =$$

$$= 42{,}757_{-0{,}011} \quad (4.49)$$

Rádius rozměru R3,91mm

JR = 3,91 mm
TS = 0,018 mm
P = 0,018 mm
TA = 0,005 mm
TE = 0,008 mm
v = 0,015 mm

$$REV = \left(JR - \frac{P}{2}\right) + TE = (3{,}91 - 0{,}0195) + 0{,}008 = 9{,}891^{+0{,}008} \quad (4.50)$$

$$RAV = \left(JR - \frac{P}{2} - v + TA\right) - TA = \left(3{,}91 - \frac{0{,}039}{2} - 0{,}015 + 0{,}005\right) - 0{,}005 =$$
$$= 3{,}881_{-0{,}005} \quad (4.51)$$

Vystřihování rozměru 1,56 mm

JR = 1,56 mm
TS = 0,014 mm
P = 0,014 mm
TA = 0,005 mm
TE = 0,007 mm
v = 0,015 mm

$$REV = \left(JR - \frac{P}{2}\right) + TE = (1{,}56 - 0{,}007) + 0{,}007 = 1{,}553^{+0{,}007} \quad (4.52)$$

$$RAV = \left(JR - \frac{P}{2} - v + TA\right) - TA = \left(1{,}56 - \frac{0{,}014}{2} - 0{,}015 + 0{,}005\right) - 0{,}005 =$$
$$= 1{,}543_{-0{,}005} \quad (4.53)$$

4.3 NÁVRH STROJE [17]

Pro přesné stříhání ve velkosériové výrobě se většinou volí lisy hydraulické trojčinné. To, že je lis trojčinný, znamená, že pohyb beranu, přidržovače a vyhazovače je realizován nezávisle na sobě. Pro vhodné určení stroje je důležité vycházet z vypočtených silových poměrů na přidržovači, střižníku a vyhazovači. K těmto vypočteným hodnotám se proti přetížení stroje přičítá bezpečnostní kvocient, který tvoří podle literatury 17. 20% vypočtené síly. Další důležitá informace k určení stroje je upínací plocha nástroje, velikost rozevření nástroje a způsob upínání nástroje. Všechny tyto podmínky splňuje lis HF 7000 plus (obr.47) od Švýcarské firmy Feintool. Podrobná data o velikosti lisu, silových poměrech, upínacím stole jsou uvedena v příloze 6. Základní parametry jsou vidět v tabulce 14.

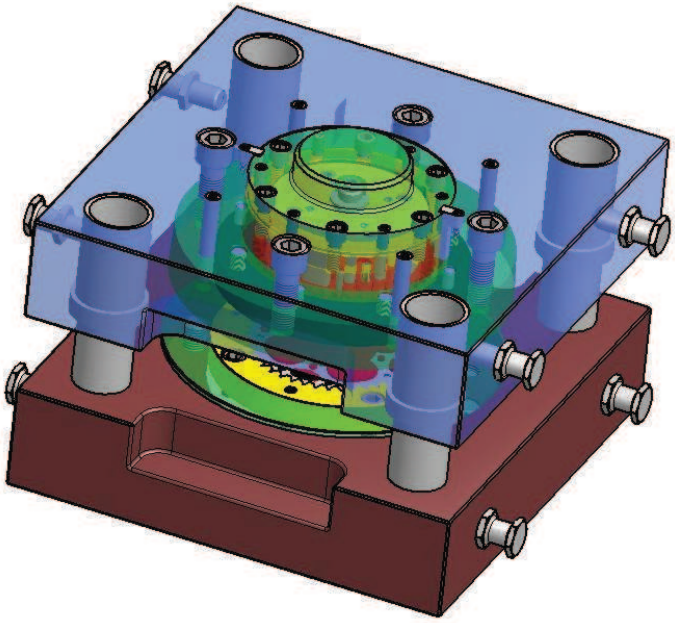
Obr.47 Lis HF 7000 plus od firmy Feintool[10]

Tab.14 Technické parametry výrobce [10]

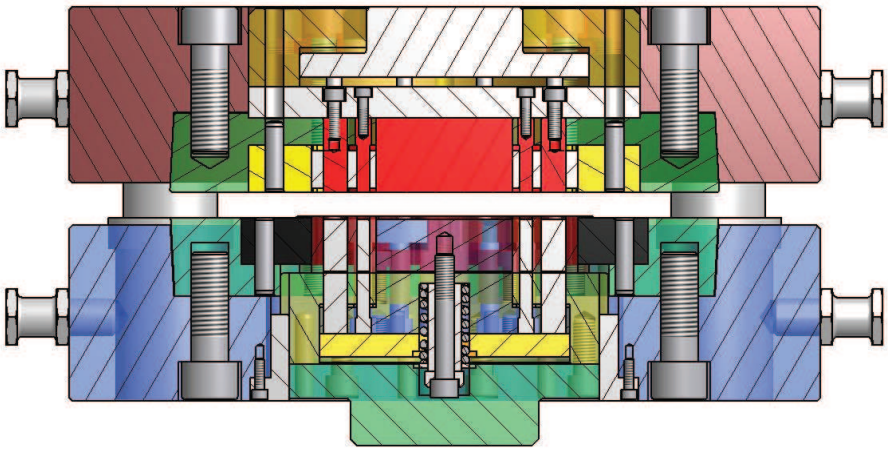
Technické údaje	HF 7000 plus	MJ
Celková síla	4675-7000	kN
Střižná síla	320-3200	kN
Síla na přidržovači	160-1600	kN
Síla vyhazovače	520	kN
Výška nástroje	150-230	mm
Zdvih střižníků	40	mm
Zdvih vyhazovače	40	mm
Střižná rychlost	5-70	mm/s
Uzavírací rychlost	200	mm/s
Rozsah kroku	1-999	mm
Přesnost kroku	0,1	mm
Šířka materiálu	40-450	mm
Tloušťka materiálu	16	mm
Hmotnost	41000	kg
Upínací plocha	900x900	mm

4.4 NÁVRH NÁSTROJE

Návrh nástroje vychází z literární studie v kapitole (3.3). Pro symetrickou součást o tloušťce plechu 3 mm se jeví jako nejvýhodnější systém s pohyblivým střižníkem a pevným přidržovačem. Základ nástroje je postaven na sloupovém vodícím stojánku od firmy Fibro. Taktéž všechny normálie pro návrh nástroje, jako jsou pružiny, systém kuličkového vedení, upínací prvky, broušené desky a lišty, jsou voleny od této firmy. Specifické části (střižník, střižnice vyhazovač, přidržovač) jsou navrženy dle zásad literární studie o nástrojích a pomocí konstrukčních výpočtů. Navržený nástroj je vidět na obrázku 48. Podrobný popis všech částí nástroje je uveden v přiložené technické dokumentaci.



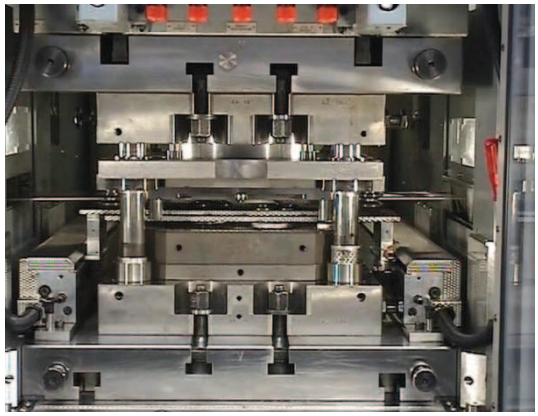
Obr. 48 Sestava střižného nástroje



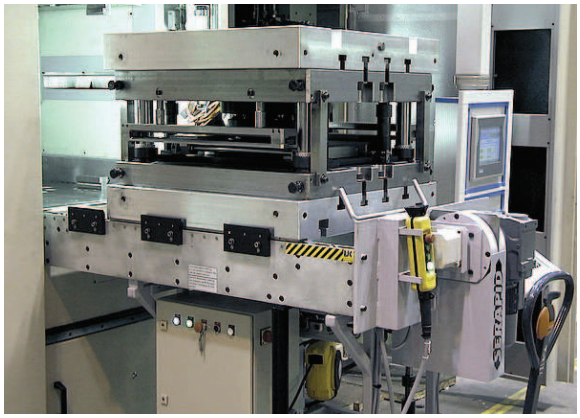
Obr. 49 Řez nástrojem v jeho ose

4.4.1 **Systém upnutí nástroje** [10]

Pro výrobu zadané součásti byl zvolen hydraulický lis od firmy Feintool HF 7000plus. Tento stroj umožňuje velice rychlou výměnu nástroje. Systém je založen na vysunutí horní i spodní upínací desky (obr.51). K upínacím deskám se nástroj obvykle připevní pomocí šroubů vedených v T drážkách nebo klasickými upínkami. Následně se celá sestava zasune do pracovního prostoru lisu a připevní se k upínacím elementům stolu a horní desky lisu, které jsou ovládány hydraulicky.



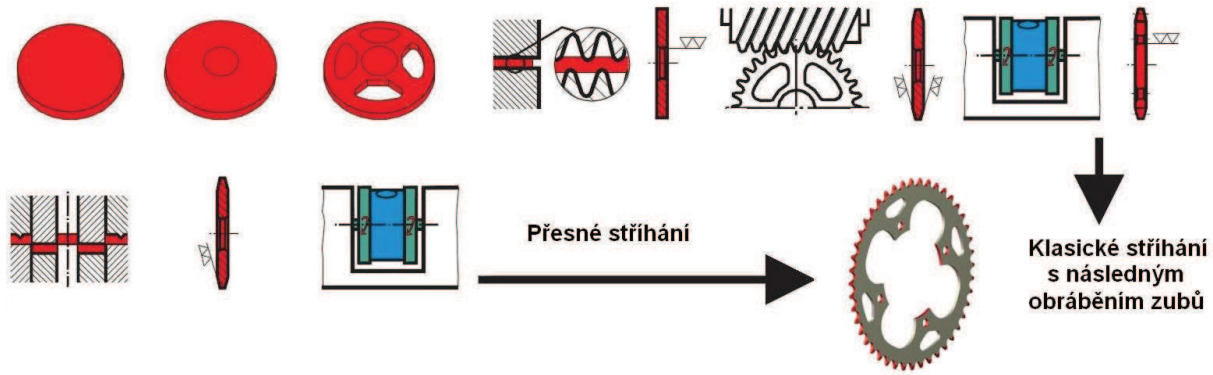
Obr.50 Ustavení nástroje na lis [10]



Obr.51 Systém výměny nástroje [10]

5 EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ

Ekonomikou se rozumí hospodaření určitého subjektu, v tomto případě výrobního podniku. Návrh a správné nastavení ekonomiky výroby je velice důležité a ovlivňuje konečnou cenu výrobku a konkurenceschopnost firmy. Již v počátku vývoje musí docházet ke spolupráci mezi konstrukcí, volbou technologie a ekonomií. Pokud by nedocházelo k určité vzájemné interakci mezi vývojovými pracovišti, nikdy nelze dosáhnout optimálního výrobku, který by byl funkční, estetický a ekonomicky rentabilní. Na začátku této práce v kapitole 2 je proto soustředěna pozornost na optimální návrh výroby. Součásti řetězového kolečka lze vyrábět několika metodami, avšak z ekonomického hlediska je vhodná pouze technologie přesného stříhání s tlačnou hranou. Ekonomické výhody přesného stříhání na rozdíl od klasického stříhání s následným obráběním funkčních rozměrů jsou zcela zřejmé (obr.52). Klasickým stříháním a následným obráběním je součást vyrobena v devíti operacích, přesným stříháním se tohoto výsledku dosáhne už během dvou operací. Také důležité kritérium pro tuto volbu je množství vyráběných kusů. Pokud by série nepřesáhla množství 20000 kusů, zvolená metoda se nevyplatí.



Obr.52 Ekonomická vhodnost technologie [4]

Pro výpočet korektních výsledků ekonomiky součásti, je zapotřebí vycházet z určité sumy vstupních hodnot (tab.15). Náklady na stříhací linku (stroj, odvíjecí zařízení, rovnací zařízení aj.) nejsou zahrnuty v ekonomickém zhodnocení, protože toto zařízení je již ve vlastnictví podniku.

Tab. 15 Vstupní hodnoty

Životnost nástroje	T_S = 3 roky
Výrobní dávka	Q = 600 000 ks/rok
Jednicové mzdy	J_M = 100 %
Výrobní režie	V_R = 440 %
Správní režie	S_R = 120 %
Ostatní přímé náklady	OPN = 25 %

Zpracovatelská režie:

$$Z_R = J_M + V_R + S_R + OPN \quad (5.1)$$

$$Z_R = 100+ 440+120+25$$

$$Z_R = 685\ \%$$

Hodnocení pracovních tříd na výrobu nářadí:

TTK6 = 110,00 Kč/hod.

TTK7 = 130,00 Kč/hod.

5.1 NÁKLADY NA MATERIÁL [11][24][35]

Náklady na materiál ovlivňuje několik faktorů a vhodnou volbou lze konečnou cenu výrobku významnou měrou minimalizovat. Těmito faktory jsou:

Volba polotovaru
Pro výrobu součásti z plechu jsou dvě možnosti volby polotovaru. První je možnost výroby z tabulí plechu, druhou ze svitku plechu. Vzhledem k velké sérii 600000 ks je výhodnější volit výrobu ze svitku. Hlavním důvodem je úspora času s manipulací a přípravou plechu.

Rozvržení výstřižků na pásu plechu
V této práci se uvažuje s rozvržením kruhových výstřižků, jak je vidět v kapitole 4.2.1. Výstřižky lze uložit na pás plechu buď v jedné řadě, nebo pro lepší využití materiálu ve dvou a více řadách. Obecně však platí, že s druhou řadou roste využití zhruba o 8%. Obě dvě varianty budou propočteny a vyvozeny výsledky.

Vstupní hodnoty materiálu
Cena materiálu svitku je určena z internetových stránek firmy Ferona k datu 8.5.2012 a pohybuje se okolo 680EU za 1t, při kurzu eura vůči jedné koruně je cena za 1kg materiálu 17,1Kč.

Výpočet pro uspořádání výstřižků v jedné řadě

Tab.16 Vstupní hodnoty materiálu pro jednu řadu [11]

Materiál – polotovar - norma	ČSN 11500, svitek 3x194x300000
Cena za 1Kg materiálu	c_p = 17,10 Kč
Cena za 1Kg odpadu	C_{ODP} = 5.50 Kč
Procentuální využití jednoho svitku	η = 65,5 %
Plocha jednoho svitku	S_s = 58 200 000 mm^2
Plocha jednoho výstřižku	S_v = 10996,58 mm^2
Počet výstřižků z jednoho svitku	n_s =1568 ks

Hmotnost svitku

$$m_s = \rho \cdot V_s = \rho \cdot S_s \cdot s \qquad (5.2)$$

$$m_s = 7850 \cdot 58{,}2 \cdot 0{,}003$$

$$m_s = 1370{,}61\text{kg}$$

Kde

m_s – hmotnost svitku
V_s – objem svitku
S_s – plocha pásu plechu

Počet svitků na roční dávku

$$n_p = \frac{Q}{n_s} = \frac{600000}{1568} = 382\text{ks} \qquad (5.3)$$

Kde

n_p – počet svitků za rok

n_s – počet výstřižků z jednoho svitku

Q – výrobní dávka za období jednoho roku

Hmotnost spotřebovaného plechu za rok

$$m_P = m_s \cdot n_p \tag{5.4}$$

$$m_P = 1370{,}61 \cdot 382$$

$$m_P = 523\,573{,}02\ kg\ = 523{,}573\ tuny$$

Kde

m_p – hmotnost materiálu

Hmotnost výstřižku v roční dávce

$$m_V = \rho_0 \cdot S_V \cdot s \cdot Q \tag{5.5}$$

$$m_V = 7850 \cdot 0{,}01099658 \cdot 0{,}003 \cdot 600000$$

$$m_V = 155\,381{,}67\ kg$$

Hmotnost odpadu za rok

$$m_O = m_P - m_V \tag{5.6}$$

$$m_O = 523\,573{,}02\ - 155\,381{,}67$$

$$m_O = 368191{,}35\ kg$$

Nákupní cena materiálu

$$C_P = m_p \cdot c_p \tag{5.7}$$

$$C_P = 523\,573{,}02\ \cdot 17{,}1$$

$$C_P = 8953098{,}642\ K\check{c}$$

Kde

C_P - cena roční spotřeby na materiál [Kč]

c_p - cena za1kg materiálu [Kč]

Cena odpadu na sérii

$$C_O = m_O \cdot c_o \tag{5.8}$$

$$C_O = 368191{,}35\ \cdot 5{,}5$$

$$C_O = 2025052{,}425 K\check{c}$$

Cena materiálu série

$$N_M = C_P - C_O \tag{5.9}$$

$$N_M = 8953098{,}642\ - 2025052{,}425$$

$$N_M = 6928046{,}217\ K\check{c}$$

Kde

N_M – náklady na materiál v dávce [Kč]

Cena materiálu součásti

$$n_m = \frac{N_M}{Q} \tag{5.10}$$

$$n_m = \frac{6928046{,}217}{600000}$$

$$n_m = 11{,}55 \text{ Kč}$$

Výpočet pro uspořádání výstřižků ve dvou řadách

Tab.14 Vstupní hodnoty materiálu [11]

Materiál – polotovar - norma	**ČSN 11500, svitek 3x356x300000**
Cena za 1Kg materiálu	c_p = 17,10 Kč
Cena za 1Kg odpadu	C_{ODP} = 5.50 Kč
Procentuální využití jednoho svitku	η = 71,3 %
Plocha jednoho svitku	S_s = 106800000 mm^2
Plocha jednoho výstřižku	S_v = 10996,58 mm^2
Počet výstřižků z jednoho svitku	n_s = 3135 ks

Hmotnost svitku

$$m_s = \rho \cdot V_s = \rho \cdot S_s \cdot s \tag{5.11}$$

$$m_s = 7850 \cdot 106{,}8 \cdot 0{,}003$$

$$m_s = 2515{,}14$$

Počet svitků na roční dávku

$$n_p = \frac{Q}{n_s} = \frac{600000}{3135} = 192\text{ks} \tag{5.12}$$

Hmotnost spotřebovaného plechu za rok

$$m_P = m_s \cdot n_p \tag{5.13}$$

$$m_P = 2515{,}14 \cdot 192$$

$$m_P = 482906{,}88\ kg\ = 482{,}90688 tuny$$

Hmotnost výstřižku v roční dávce

$$m_V = \rho_0 \cdot S_V \cdot s \cdot Q \tag{5.14}$$

$$m_V = 7850 \cdot 0{,}01099658 \cdot 0{,}003 \cdot 600000$$

$$m_V = 155\,381{,}67\ kg$$

Hmotnost odpadu za rok

$$m_O = m_P - m_V \tag{5.15}$$

$$m_O = 482906{,}88\ - 155\,381{,}67$$

$$m_O = 327525{,}21\ kg$$

Nákupní cena materiálu

$$C_P = m_p \cdot c_p \tag{5.16}$$

$$C_P = 482906{,}88 \ \cdot 17{,}1$$

$$C_P = 8257707{,}648\ Kč$$

Cena odpadu na roční dávku

$$C_O = m_O \cdot c_o \tag{5.17}$$

$$C_O = 327525{,}21 \ \cdot 5{,}5$$

$$C_O = 1801388{,}655 Kč$$

Cena materiálu série

$$N_M = C_P - C_O \tag{5.18}$$

$$N_M = 8257707{,}648 \ - 1801388{,}655$$

$$N_M = 6456318{,}993\ Kč$$

Cena materiálu součásti

$$\mathrm{n_m} = \frac{\mathrm{N_M}}{\mathrm{Q}} \tag{5.19}$$

$$\mathrm{n_m} = \frac{6928046{,}217}{600000}$$

$$\mathrm{n_m} = 10{,}76\ \mathrm{Kč}$$

Z výpočtů je patrný finanční rozdíl mezi výstřižky uspořádanými na pásu plechu v jedné řadě a ve dvou řadách. Tento rozdíl činí v sérii 600000 ks okolo 471 727 Kč. Toto číslo není zanedbatelné, avšak v této práci je zvolena varianta s jednou řadou výstřižků na pásu plechu. Důvodem je jednodušší nástroj a menší nároky na strojní park tvářecí linky.

5.2 NÁKLADY NA NÁSTROJ

Čas na výrobu	VČ = 400 Nh v TTK 7
Hmotnost nástroje	m_{nas} = 70kg

Tab.15 Vstupní hodnoty

Náklady na jednicové mzdy

$$J_M = V\check{C} \cdot TTK\ 7 \tag{5.20}$$

$$J_M = 400 \cdot 130$$

$$J_M = 52\ 000\ Kč$$

Zpracovatelské náklady

$$Z_N = J_M \cdot Z_R \tag{5.21}$$

$$Z_N = 52\ 000 \cdot 685\%$$

$$Z_N = 356\ 200\ Kč$$

Kde

Z_N – zpracovatelské náklady [kč]

Zisk nářaďovny

Zisk nářaďovny je přibližně 20 % zpracovatelských nákladů.

$$Z = 20\% \cdot Z_N \tag{5.22}$$
$$Z = 20\% \cdot 356\,200$$
$$Z = 71\,240\ Kč$$

Kde

Z – zisk nářaďoven [kč]

Cena materiálu nástroje

Podle internetových stránek firmy Ferona se pohybuje cena za 1kg nástrojové oceli od 70-200 Kč, cena za 1kg konstrukční oceli na stojánky a upínací prvky se pohybuje 20-50 Kč. Vzhledem k tomu, že na nástroji tvoří 60% konstrukční materiál a zbylých 40% materiál vyšší jakosti (nástrojová ocel) volím průměrnou cenu za 1kg materiálu 80 Kč.

$$C_{Mnas} = m_{nas} \cdot 80 \tag{5.23}$$
$$C_{Mnas} = 70 \cdot 80$$
$$C_{Mnas} = 5600kč$$

Náklady na nástroj

$$N = Z_N + Z + materiál \tag{5.24}$$
$$N = 356\,200 + 71\,240\ + 5600$$
$$N = 433\,040\ Kč$$

5.3 NÁKLADY NA PŘÍMÉ MZDY

Výpočet se opírá o čas T_A=3s potřebný na vystřižení jednoho kusu součásti a o mzdu pracovníků, která je v TTK 6 = 110 Kč. Výpočet je samozřejmě orientační, jelikož nezahrnuje časy na výměnu a zavádění svitků, údržbu stroje, opravy atd.

Čas na výrobu série 600000 ks

$$T_S = T_A \cdot 600000 \tag{5.25}$$
$$T_S = 3 \cdot 600000$$
$$T_S = 1800000s = 500h$$

Stanovení nákladů na mzdy v dávce 600000 ks

$$N_{Mz} = T_S \cdot TTK6 \tag{5.26}$$
$$N_{Mz} = 500 \cdot 110$$
$$N_{Mz} = 55000\ Kč$$

5.4 VÝPOČET VÝROBNÍ CENY SOUČÁSTI

$$N_{KS} = \frac{T_S \cdot N_{Mz} + N}{V_D \cdot T_S} + \mathrm{n_m} \qquad (5.27)$$

$$N_{KS} = \frac{3 \cdot 55000 + 433\,040}{600000 \cdot 3} + 11{,}55$$

$$N_{KS} = 11{,}88\ K\check{c}$$

Úvahy a závěry

Z ekonomických propočtů vyplývá, že náklady na roční spotřebu matriálu činí 6928046,2 Kč, náklady na zhotovení nástroje 433040 Kč, náklady na přímé mzdy 55000 Kč. Výsledkem je cena jednoho kusu výstřižku v dávce 600 000 ks. Jeden výstřižek (řetězové kolečko) po vystřižení stojí 11,88 Kč.

6 ZÁVĚR

Tato práce byla zaměřena na výrobu řetězového kolečka u horského kola, které bylo navrženo z uhlíkové konstrukční oceli značky ČSN 11 500 o tloušťce plechu 3 mm v roční dávce 600 000 ks.

Ze studie stávající technologie a rozboru možných variant výroby byla jako nejoptimálnější varianta zvolena, na základě přesnosti, jakosti střižné plochy a ekonomické efektivity, technologie přesného stříhání s tlačnou hranou.

Návrh výroby součásti byl založen na provedení technologických a konstrukčních výpočtů. Jako první byly určeny technologické výpočty, jako je minimální velikost zubu řetězového kola, střižná síla a střižná práce. U konstrukčních výpočtů se řešily pevnostní a toleranční poměry na funkčních částech střihadla.

Návrh stroje byl vybrán na základě vypočtených střižných sil na střižníku, vyhazovači a přidržovači. Pro tuto konkrétní celkovou sílu se určil lis od firmy Feintool. Nástroj byl zvolen na základě všeobecných zkušeností a zásad pro návrh nástrojů a je postaven na systému pohyblivý střižník – pevný přidržovač.

Ekonomické zhodnocení zahrnuje výpočet nákladů na materiál součásti, nákladů na nástroj a mzdy pracovníků. Kalkulací těchto hodnot s dalšími proměnnými, jako je velikost série a životnost nástroje, se dospělo k ceně jednoho kusu součásti, která činní 11,88Kč.

Na základě tohoto zhodnocení můžu prohlásit, že zadaná součást je vyrobitelná přesným stříháním s tlačnou hranou za přijatelnou cenu v předepsané přesnosti a jakosti.

SEZNAM LITERATURY

1. Akademie tváření: stříhání. FINDA, Luděk a Roman HALTUF. [online]. [cit. 2012-03-19]. Dostupné z: http://www.mmspektrum.com/clanek/akademie-tvareni-strihani.html
2. *AVDK Asociace výrobců a dovozců kol* [online]. [cit. 2012-01-18]. Dostupné z: http://www.avdk.cz/index.htm
3. BARTOŠ, Josef. *Strojní součásti*: *převody řetězového a ozubenými koly*. 1. vyd. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1953.
4. BIRZER, *Franz. Forming and fineblanking: cost effective manufacture of accurate sheetmetal parts*. Landsberg/Lech: Verlag Moderne Industrie, c1997, 70 p. ISBN 34-789-3161-4.
5. BOHÁČ, Jaroslav a Bedřich KAREIS. *Jízdní kolo*. 1. vyd. Praha: SNTL, 1989, 157 s. Polytechnická knižnice. ISBN 80-030-0070-X.
6. BŘICHNÁČ, Pavel. Plazmové technologie. [online]. 2004, roč. 2, č. 20 [cit. 2012-03-19]. ISSN 1214-1674. Dostupné z: http://www.aldebaran.cz/bulletin/2004_20_plt.html Dostupný z WWW: <http://ust.fme.vutbr.cz/tvareni/opory_soubory/technologie_vyroby_I__tvareni__gajdos.pdf>
7. DVOŘÁK, Milan. *Technologie tváření*: *návody do cvičení*. 2. vyd. Brno: CERM, 2005, 103 s. ISBN 80-214-2881-3.
8. DVOŘÁK, Milan. *Technologie tváření*: *plošné a objemové tvaření*. 2. vyd. Brno: CERM, 2007, 169 s. ISBN 978-80-214-3425-7.
9. FAJKUS, M., HOŘEJŠ, S., BLÁHOVÁ, O., BURŠÍKOVÁ, V. *HODNOCENÍ VLASTNOSTÍ TENKÝCH VRSTEV PRO APLIKACE NA NÁSTROJE* [online]. 2007 [cit. 2009-02-11]. Dostupný z WWW: <http://www.povrchovauprava.cz/uploads/assets/casopisy/pu-2007-03.pdf>.
10. FEINTOOL. [online]. [cit. 2012-05-17]. Dostupné z: http://www.feintool.com/
11. FERONA a.s.. *Specifikace výrobku* [online]. 2004-2012 [cit. 2012-05-08]. Dostupný z WWW: < http://www.ferona.cz/cze/katalog/detail.php?id=30464>.
12. FOREJT, Milan. *Teorie obrábění, tváření a nástroje*. 1. vyd. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2006, 225 s. ISBN 80-214-2374-9.
13. FOREJT, Milan. *Teorie tváření*. 1. vyd. Brno: CERM, 2004, 167 s. ISBN 80-214-2764-7.
14. Frézování. *Wikipedie* [online]. San Francisco, 9. 2. 2012 [cit. 2012-03-20]. Dostupné z: http://cs.wikipedia.org/wiki/Fr%C3%A9zov%C3%A1n%C3%AD
15. FÜRBACHER, Ivan; MACEK, Karel; STEIDL, Josef. *Lexikon Technických materiálů*. Praha : Verlag Dashöfer, 2001. 620 s. ISBN 80-86229-02-5
16. GAJDOŠ, František. *Technologie tváření kovů* [online]. [2003] [cit. 2008-02-07].
17. GUIDI, A. *Přistřihování a přesné stříhání*. 1. vyd. Praha : SNTL, 1969. 138 s.
18. CHPS S.R.O. *Řezání laserem* [online]. [cit. 2012-03-19]. Dostupné z: http://www.chps.cz/rezani-laserem/technologie.html
19. *Kontura Tools s.r.o. : Přesný střih* – více než jen výrobní metoda [online]. Dostupný z WWW: <http://www.konturatools.cz/aktualita001.html>.
20. KOTOUČ, J., et al. *TVÁŘECÍ NÁSTROJE*. [s.l.] : [s.n.], 1993. 349. ISBN 80-01-01003-1.

21. KŘÍŽ, A; CHLAN, M. OVLIVNĚNÍ KVALITY GALVANICKÉ VRSTVY AUTOMOBILOVÉHO KLÍČE VÝCHOZÍ STRUKTUROU MATERIÁLU. *Ateam* [online]. 2005, [cit. 2011-03-30]. Dostupný z WWW: <http://www.ateam.zcu.cz/prispevek_Value.pdf>.

22. Laser. [online]. [cit. 2012-03-19]. Dostupné z: http://cs.wikipedia.org/wiki/Laser

23. LEINVEBER, Jan a Pavel VÁVRA. *Strojnické tabulky*: *pomocná učebnice pro školy technického zaměření*. 5., upr. vyd. Úvaly: Albra, 2011, 927 s. ISBN 978-807-3610-814.

24. *London metal exchange* [online]. London, 2003, 2012 [cit. 2012-02-05]. Dostupné z: http://www.lme.com/steel/index.asp

25. MÁDL, Jan, Jindřich KAVKA a Martin VRABEC. *Technologie obrábění*: *3. díl*. Praha: ČVUT, 2000, 79 s. ISBN 80-010-2091-6.

26. MAŇKOVÁ, Ildikó. *Progresívne technológie*. 1. vyd. Košice: Vienala, 2000, 275 s. ISBN 80-709-9430-4.

27. *Metal forming handbook*. Berlin: Springer, 1998, 563 s. ISBN 35-406-1185-1.

28. NOVOTNÝ, Josef. Stříhání a další způsoby dělení kovových materiálů. 1. vyd. Praha: SNTL Redakce báňské a strojírenské literatury, 1980. 216 s. L 13–B3-IV- 41/22674.

29. NOVOTNÝ, Karel. Tvářecí nástroje. 1. vyd. Brno: Nakladatelství VUT v Brně, 1992. 186 s. ISBN 80-214-0401-9.

30. NOVOTNÝ, Karel; MACHÁČEK, Zdeněk. *Speciální technologie I : Plošné a objemové tváření.* 2. vyd. Brno: Nakladatelství VUT v Brně, 1992. 171 s.

31. *Řezání vodním paprskem*[online]. [cit. 2012-03-19]. Dostupné z: http://www.mmspektrum.com/clanek/rezani-vodnim-paprskem.html

32. *Shimano* [online]. 2007 [cit. 2011-04-25]. Spare parts list for after market. Dostupné z WWW: <http://techdocs.shimano.com/media/techdocs/content/cycle/EV/bikecomponents/FC/EV-FC-MC20-1959_v1_m56577569830612821.pdf>.

33. STANĚK, J. Základy stavby výrobních strojů tvářecí stroje. Západočeská univerzita v Plzni, 2004. 120s. ISBN 80-7082-738-6.

34. TECHNICKÁ UNIVERZITA LIBEREC. *Technologie plošného tváření - stříhání* [online]. 2005 [cit. 2009-05-04]. Dostupný z WWW: <http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta_tkp/sekce/06.htm>.

35. *Worldsteelprices.com* [online]. [cit. 2012-02-05]. Dostupné z: http://www.worldsteelprices.com/

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ

a	mezera mezi střižníkem a střižnicí	[mm]
Ac	celková práce	[J]
Ap	práce přidržovače	[J]
As	střižná práce	[J]
Av	práce vyhazovače	[J]
AVDK	asociace výrobců a dovozců kol	[-]
B	šířka pásu	[mm]
b_2	velikost postranního odpadu	[mm]
cca	přibližně	[-]
C_{Mnas}	cena materiálu nástroje	[Kč]
CNC	počítačem řízený stroj	[-]
C_O	cena odpadu v sérii	[Kč]
C_{ODP}	cena za 1kg odpadu	[Kč]
C_p	cena roční spotřeby materiálu	[Kč]
c_p	cena za 1kg materiálu	[Kč]
ČSN	česká státní norma	[-]
DIN	německá norma	[-]
D_s	vnější průměr svitku	[mm]
d_s	vnitřní průměr svitků	[mm]
E	modul pružnosti v tahu	[MPa]
EN	evropská norma	[-]
F_p	síla přidržovače	[N]
F_s	střižná síla	[N]
F_v	síla vyhazovače	[N]
H	tloušťka střižnice	[mm]
h	výška tlačné hrany	[mm]
I	moment setrvačnosti	[mm^4]
IT	toleranční stupeň	[-]
J_M	jednicové mzdy	[Kč]
k	odpor materiálu proti vtlačení tlačné hrany	[-]
K	velikost kroku	[mm]
k_b	koeficient bezpečnosti	[-]
k_y	konstanta uchycení dislokací v zrně	[-]
l_{cel}	délka křivky střihu	[mm]
L_h	délka tlačné hrany	[mm]
L_p	délka tabule	[mm]
l_s	délka svitku	[mm]
m_{nas}	hmotnost nástroje	[kg]
m_o	hmotnost odpadu za rok	[kg]
m_p	hmotnost spotřebovaného materiálu za rok	[kg]
m_s	hmotnost svitku	[kg]
m_v	hmotnost výstřižků za rok	[kg]
N	náklady na materiál	[Kč]
n	koeficient zahrnující různé vlivy	[-]
N_{KS}	výrobní cena	[Kč]
n_m	cena materiálu součásti	[Kč]
N_M	náklady na materiál	[Kč]
N_{MZ}	náklady na mzdy	[Kč]
n_p	počet svitků za rok	[ks]
n_s	počet výstřižků ze svitku	[ks]

n_s	počet výstřižků ze svitku	[ks]
OPN	ostatní přímé náklady	[%]
P_k	výrobní tolerance střižníku	[mm]
P_M	minimální cena jednoho výrobku	[Kč]
P_p	počet pásů tabule	[ks]
P_p	počet pásů z tabule	[ks]
P_S	výrobní tolerance střižnice	[mm]
P_U	dovolená úchylka výstřižku	[mm]
P_v	počet výstřižků z pásu	[ks]
P_{VC}	počet výstřižků z tabule	[ks]
R	zaoblení střižné hrany	[mm]
Ra	drsnost povrchu	[μm]
Re	mez kluzu	[MPa]
Rm	mez pevnosti	[MPa]
S	plocha střihu	[mm^2]
s	tloušťka plechu	[mm]
S_o	plocha odpadu z výstřižků	[mm^2]
S_p	funkční plocha součásti	[mm^2]
S_R	správní režie	[mm^2]
S_s	plocha jednoho svitku	[mm^2]
S_t	plocha tabule	[mm^2]
Sv	plocha střižné součásti	[mm^2]
$Š_t$	šířka tabule	[mm]
T_s	čas na výrobu série	[hod]
T_s	životnost nástroje	[rok]
U_h	horní úchylka tolerance	[mm]
U_S	spodní úchylka tolerance	[mm]
v	střižná vůle	[mm]
VČ	čas na výrobu nástroje	[Nh]
V_D	výrobní dávka	[ks]
V_S	objem svitku	[m^3]
Z	zisk nářaďoven	[Kč]
Z_N	zpracovatelské náklady	[Kč]
Z_R	zpracovatelská režie	[%]
α	úhel	[°]
$\Delta\sigma_3$	přídavné tlakové napětí	[MPa]
η	procentuální využití svitku	[%]
ρ	hustota oceli	[$kg.m^3$]
σ_i	napěťové vyjádření odporu krystalové mřížky	[MPa]
σ_n	normálové napětí	[MPa]
τ_{max}	maximální napětí ve střihu	[MPa]
τ_{PS}	pevnost materiálu ve střihu	[MPa]

SEZNAM PŘÍLOH

Příloha 1 – Technologické rozměry

Příloha 2 – Graf pro určení minim. rádiusů

Příloha 3 – Graf pro určení minim. vzdálenosti otvorů

Příloha 4 – Graf pro určení střižné vůle

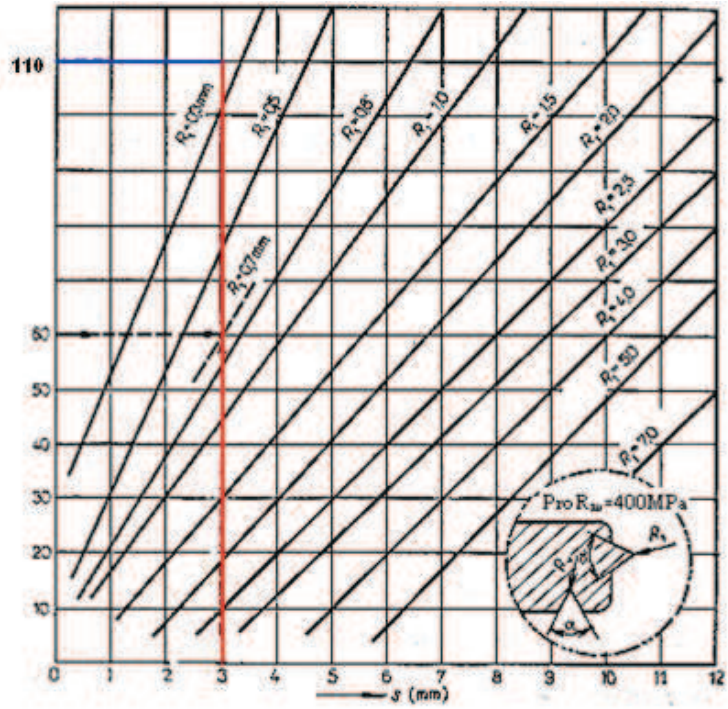
Příloha 5 – Velikost svitků

Příloha 5 – Parametry stroje od firmy Feintool

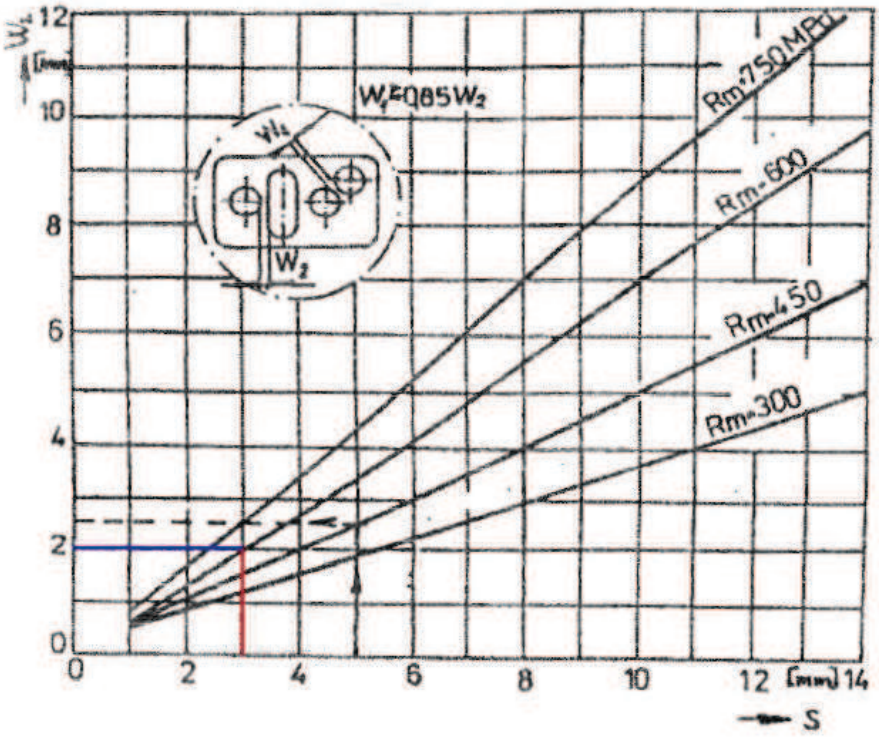
Příloha 1

Tloušťka plechu s	Minimální průměr otvoru d	Minimální šířka drážky b
do 3 mm	60% s	65% s
nad 3 mm	70% s	80% s

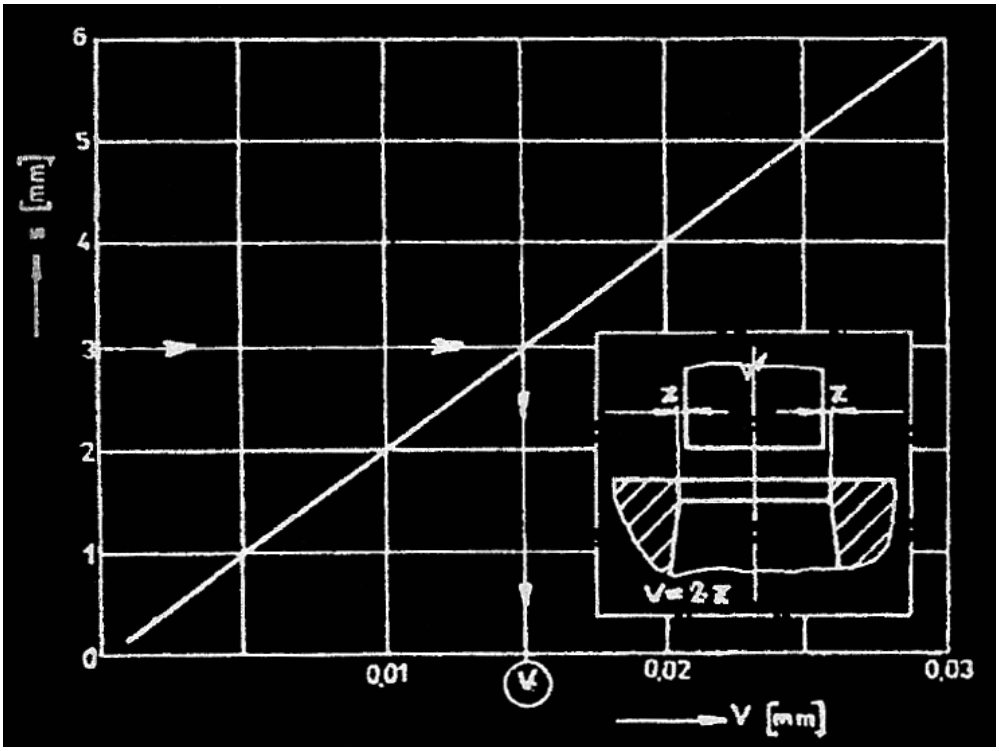
Příloha 2



Příloha 3



Příloha 4



Příloha 5

Vyráběné rozměry

Šířka [2]	Tloušťka podélně děleného pásu [2]							Parametry svitků		
	1.5 až < 1.6	≥ 1.6 až < 1.8	≥ 1.8 až < 2.5	≥ 2.5 až ≤ 5.0	> 5.0 až ≤ 6.0	> 6.0 až ≤ 7.0	> 7.0 až ≤ 8.0	Vnitřní ř svitků	Vnější ř svitků	Specifická hmotnost svitků [1]
mm	mm							mm		
≥ 20 < 120								cca 600	max. 1 350	Dle požadované šířky 7.0 – 9.0 kg/mm
≥ 120 < 200								cca 600 (nebo cca 762)	max. 2 100	Dle požadované šířky 18 – 21 kg/mm šířky pásu (max. 33 tun)
≥ 200 ≤ 1 030										
≥ 200 ≤ 1 180										
≥ 200 ≤ 1 230										
≥ 200 ≤ 1 530										

[1] Po dohodě s výrobním závodem je možné dodávat úzké podélně dělené pásy nebo široké pásy s ostřiženými hranami (v rozmezí šířek 120 až 1530 mm) ve svitcích se specifickou hmotností 9.0 – 10.5 kg/mm šířky pásu.

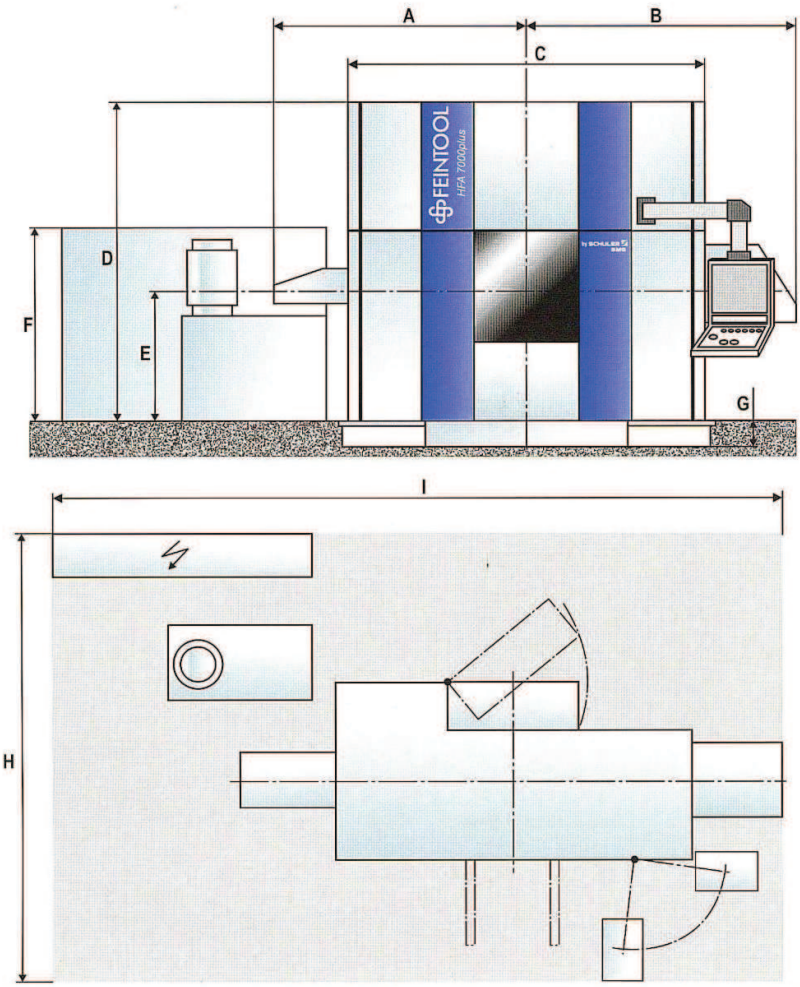
[2] Rozměrová nabídka platí pro konstrukční oceli a oceli pro tváření za studena ze základní nabídky jakostí ocelí. Pro ostatní skupiny ocelí platí další omezení. Konkrétní možnosti dodávek pásů válcovaných za tepla je nutné konzultovat s výrobním závodem a pracovníky obchodního úseku.

Příloha 6

FEINTOOL
Fineblanking Technology

Feinschneidpresse Typ			HFA 3200*plus*	HFA 4500*plus*	HFA 7000*plus*	HFA 8800*plus*	HFA 11000*plus*
Kräfte							
Gesamtkraft	min. - max.	kN	2000 - 3200	3000 - 4500	4675 - 7000	5850 - 8800	7400 - 11000
Ringzackenkraft	min. - max.	kN	140 - 1400	200 - 2000	320 - 3200	400 - 4000	500 - 5000
Gegenhalterkraft	min. - max.	kN	70 - 700	100 - 1000	160 - 1600	200 - 2000	250 - 2500
Ausstosserkraft	max.	kN	225	365	520	800	800
Abstreifkraft	max.	kN	240	520	520	800	800
Abfalltrenner-Scherkraft		kN	310	310	310	750	750
Hübe							
Stösselhub bei max./min. Werkzeughöhe		mm	100/180	150/230	150/230	200/305	200/305
Ringzackenhub	max.	mm	25	40	40	40	40
Gegenhalterhub	max.	mm	25	40	40	40	40
Hubzahl (teileabhängig)	bis	n/min	85	80	70	60	50
Geschwindigkeiten							
Schnittgeschwindigkeit	min.-max.	mm/s	5 - 70	5 - 70	5 - 70	5 - 70	5 - 70
Schliessgeschwindigkeit		mm/s	200	200	200	200	200
Rücklaufgeschwindigkeit		mm/s	200	200	200	200	200
Vorschübe							
Vorschubschritt	min.-max.	mm	1-999.9	1-999.9	1-999.9	1-999.9	1-999.9
Vorschubschritt-Wegauflösung		mm	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
Streifenlänge	min.	mm	2600	3400	3700	3950	4200
Materialbreite	min.-max.	mm	40 - 350	40 - 350	40 - 450	40 - 450	40 - 450
Materialdicke	max.	mm	16	16	16	16	16
Anschlussleistung							
Gesamtanschlusswert	50Hz/60Hz ca.	kW	97/112	118/135	140/160	192/220	290/275
Hauptantrieb	50Hz/60Hz	kW	90/104	110/127	132/152	160/184	250/230
Hydraulik Aggregat							
Öl-Systeminhalt	ca.	Liter	2000	2000	2000	3000	3000
Gewichte							
Gesamtgewicht der betriebsbereiten Presse	ca.	kg	20 000	33 000	41 000	62 000	74 000

Technische Daten Baureihe HFA*plus*



Abmessungen der Presse		HFA 3200*plus*	HFA 4500*plus*	HFA 7000*plus*	HFA 8800*plus*	HFA 11000*plus*
A	mm	2360	2560	2660	2785	2910
B	mm	2320	2520	2680	2930	3330
C	mm	3250	3600	3850	4200	5220
D	mm	3530	3530	3630	4040	4400
E min. - max.	mm	1530-1650	1580-1700	1580-1700	1680-1820	1680-1820
F	mm	2200	2200	2200	2200	2200
G	mm	245	360	520	775	890
H	mm	5700	5800	6000	7300	8000
I	mm	7400	8000	8200	9300	9800

Technische Änderungen und Verbesserungen im Rahmen der Modellpflege vorbehalten.