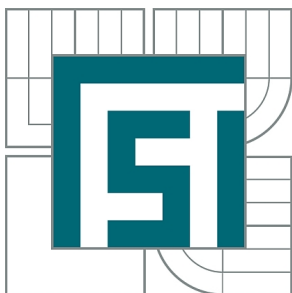


VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE
FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING
INSTITUTE OF MANUFACTURING TECHNOLOGY

NÁVRH VÝROBY KRYTU SENZORU VYRÁBĚNÉHO TECHNOLOGIÍ PŘESNÉHO STŘÍHÁNÍ

MANUFACTURING OF SENSOR COVER BY FINEBLANKING TECHNOLOGY

DIPLOMOVÁ PRÁCE
MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

Bc. TOMÁŠ KOSÍŘ

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

Ing. EVA PETERKOVÁ, Ph.D.

BRNO 2014

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Ústav strojírenské technologie

Akademický rok: 2013/2014

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

student(ka): Bc. Tomáš Kosíř

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

obor: **Strojírenská technologie a průmyslový management (2303T005)**

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:

Návrh výroby krytu senzoru vyráběného technologií přesného stříhání

v anglickém jazyce:

Manufacturing of sensor cover by fineblanking technology

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Jedná se o návrh výroby krytu senzoru ABS u automobilu. Součást je vyráběna z plechu tloušťky 4 mm a je opatřena několika otvory. Pro výrobu bude použita technologie přesného stříhání a na tuto problematiku bude také zaměřena literární studie a potřebné výpočty.

Cíle diplomové práce:

Provedení aktuální literární studie se zaměřením na technologii přesného stříhání. Zhodnocení současného stavu. Návrh technologie výroby součásti a vypracování postupu výroby. Provedení technologických a kontrolních výpočtů, volba stroje a návrh vhodného nástroje pro výrobu zadané součásti. Práce bude završena technicko-ekonomickým hodnocením a závěry.

Seznam odborné literatury:

TSCHAETSCH, Heinz. Metal Forming Practise: Process - Machines - Tools. New York: Springer Berlin Heidelberg, 2006. ISBN 3-540-33216-2.

SCHULER GmbH. Handbuch der Umformtechnik. Berlin: Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 1996. ISBN 3-540-61099-5.

SUCHY, Ivana. Handbook of Die Design. 2. ed. New York: McGraw-Hill, 1998. ISBN 0-07-146271-6.

LIDMILA, Zdeněk. Teorie a technologie tváření I. 1. vyd. Brno: Vydavatelské oddělení UO, 2008. ISBN 978-80-7231-579-6.

BIRZER, Franz. Forming and Fineblanking: Cost-effective manufacture of accurate sheetmetal parts. Landsberg am Lech: Verlag moderne industrie, 1997. ISBN 3-478-93161-4.

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

Vedoucí diplomové práce: Ing. Eva Peterková, Ph.D.

Termín odevzdání diplomové práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2013/2014.

V Brně, dne 14.11.2013

L.S.

prof. Ing. Miroslav Píška, CSc.
Ředitel ústavu

prof. RNDr. Miroslav Doupovec, CSc., dr. h. c.
Děkan fakulty

ABSTRAKT

KOSÍŘ Tomáš: Návrh výroby krytu senzoru vyráběného technologií přesného stříhání

Projekt diplomové práce vypracovaný v rámci magisterského studia předkládá návrh výroby krytu senzoru vyráběného technologií přesného stříhání. Kryt senzoru je vyráběn ze svitku plechu o tloušťce 4 mm. Materiálem součásti je mikrolegovaná ocel S355MC. Roční výrobní dávka je 800 000 ks. Na základě literární studie bylo navrženo několik možných způsobů výroby součásti a vzhledem k požadované přesnosti, kvalitě povrchu střížné plochy a výrobní dávce byla navržena výroba technologií přesného stříhání s tlačnou hranou. Byly provedeny technologické a kontrolní výpočty. Na základě technologických výpočtů byl stanoven trojčinný hydraulický lis HFA 4500 plus od firmy Feintool s jmenovitou silou 4500 kN. Konstrukce střížného nástroje byla navržena s pohyblivým střížníkem.

Klíčová slova: přesné stříhání, mikrolegované ocel S355MC, střížník, tlačná hrana

ABSTRACT

KOSÍŘ Tomáš: Manufacturing of sensor cover by fineblanking technology

Master's thesis project elaborated within the scope of Master's degree submits a proposal of manufacturing of sensor cover by fineblanking technology. Sensor cover is manufactured from 4 mm roll of sheet metal. The material component is microalloyed steel S355MC. Annual production batch is 800 000 pieces. Based on the literature study, several possible methods of production parts are described. After evaluation of the required accuracy, surface quality and annual production, the technology of fineblanking using V-ring has been chosen. On the basis of technological and control calculations was chosen the triple action hydraulic press HFA 4500 plus, made by Feintool with a rated power 4500 kN. Design of cutting tool has been designed with moving punch.

Keywords: fineblanking, microalloyed steel S355MC, punch, V-ring

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

KOSÍŘ, Tomáš. *Návrh výroby krytu senzoru vyráběného technologií přesného stříhání*. Brno, 2014. 61s, 4 výkresy, 3 přílohy, CD. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství. Ústav strojírenské technologie, Odbor technologie tváření kovů a plastů. Vedoucí práce Ing. Eva Peterková, Ph.D.

ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

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

V Brně dne 30.5.2014

.....
Podpis

PODĚKOVÁNÍ

Tímto děkuji vážené paní Ing. Evě Peterkové, Ph.D. za cenné připomínky a rady týkající se zpracování diplomové práce.

OBSAH

Zadání

Abstrakt

Bibliografická citace

Čestné prohlášení

Poděkování

Obsah

ÚVOD	10
1 ZHODNOCENÍ SOUČASNÉHO STAVU	11
1.1 Varianty výroby	12
1.1.1 Řezání laserovým paprskem	12
1.1.2 Řezání vodním paprskem	13
1.1.3 Řezání plazmovým paprskem	14
1.1.4 Postupové stříhání	15
1.1.5 Přesné stříhání	16
1.1.6 Zhodnocení jednotlivých variant výroby	17
2 TECHNOLOGIE PŘESNÉHO STŘÍHÁNÍ	18
2.1 Metody technologie přesného stříhání	18
2.1.1 Stříhání se zaoblenou střižnou hranou	18
2.1.2 Stříhání se zkoseným přidržovačem	18
2.1.3 Přistřihování	19
2.1.4 Kalibrování	20
2.1.5 Přesné stříhání s tlačnou hranou	20
2.1.6 Zhodnocení jednotlivých metod přesného stříhání	20
2.2 Přesné stříhání s tlačnou hranou	21
2.2.1 Rozbor stavu napjatosti	21
2.2.2 Síly působící při přesném stříhání	23
2.2.3 Celková střižná práce	24
2.2.4 Střižná vůle a střižná mezera	25
2.2.5 Tvar, poloha a rozměry tlačné hrany	26
2.2.6 Velikost postranního odpadu a šířky můstku	28
2.2.7 Technologičnost tvaru součásti	29
2.2.8 Vady výstřížků při přesném stříhání a jejich odstranění	30
2.2.9 Nástroje pro přesné stříhání	33
3 NÁVRH TECHNOLOGIE VÝROBY SOUČÁSTI	36
3.1 Kontrola vhodnosti součásti	36
3.1.1 Kontrola poloměrů rohů a hran součásti	36

3.1.2	Kontrola minimálního průměru otvoru a minimální šířky drážky	36
3.1.3	Kontrola minimální vzdálenosti mezi otvory a drážkami	37
3.2	Technologické a kontrolní výpočty	37
3.2.1	Velikost postranního odpadu a šířky můstku	37
3.2.2	Tvar a rozměry tlačné hrany	37
3.2.3	Určení plochy součásti, délky křivky stříhu a délky křivky tlačné hrany	38
3.2.4	Uspořádání výstřížků na páse	40
3.2.5	Nástřihový plán	43
3.2.6	Výpočet sil při přesném stříhání	44
3.2.7	Výpočet prací při přesném stříhání	45
3.2.8	Výpočet střížné vůle a střížné mezery	46
3.2.9	Kontrolní výpočty funkčních částí nástroje	46
3.2.10	Určení rozměrů a tolerancí střížníků a střížnice	47
3.3	Návrh lisu	51
3.4	Výrobní linka	51
3.5	Popis střížného nástroje	52
4	TECHNICKO-EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ	54
4.1	Přímé náklady	54
4.1.1	Náklady na materiál	54
4.1.2	Náklady na mzdy	56
4.1.3	Náklady na energii	57
4.2	Nepřímé náklady	58
4.2.1	Náklady na správní režie	58
4.2.2	Náklady na výrobní režie	58
4.2.3	Náklady na výrobu nástroje	58
4.3	Celkové náklady	59
4.4	Cena součásti	59
4.5	Stanovení bodu zvratu	59
5	ZÁVĚRY	61

Seznam použitých zdrojů

Seznam použitých symbolů a zkratk

Seznam příloh

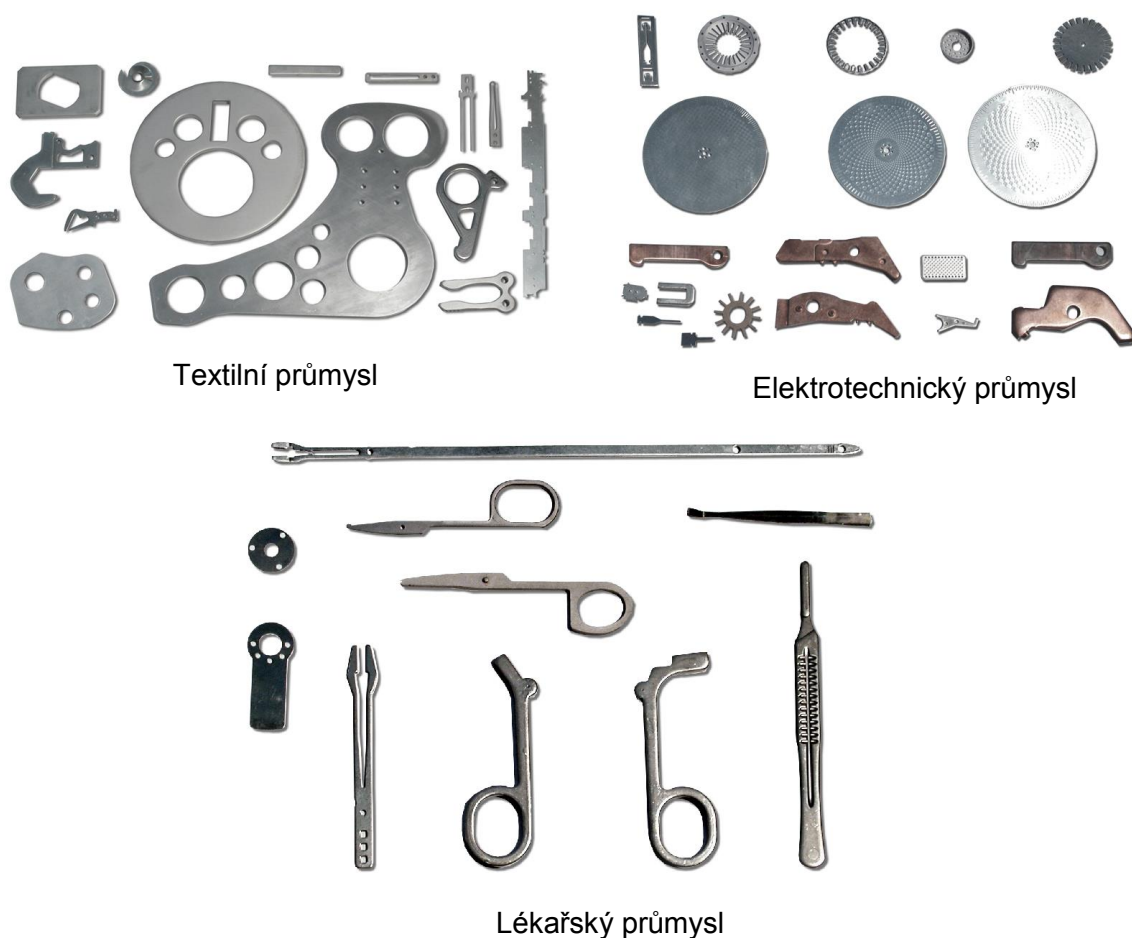
ÚVOD [25,35]

Do oblasti strojírenské technologie zabývající se výrobou a zpracováním materiálu (polotovaru) na hotový výrobek patří především technologie tváření, obrábění, svařování, povrchových úprav a slévárenské technologie. Mezi nejrozšířenější technologie patří obrábění a tváření. Při obrábění dochází k úběru materiálu a vzniku odpadu ve formě třísky a při tváření je materiál působením vnějších sil a zatížení uveden do plastického stavu, ve kterém mění svůj tvar a vlastnosti bez porušení soudržnosti. Výhodou technologie tváření je vysoká produktivita, kterou několikanásobně předčí ostatní strojírenské technologie [25].

Technologii tváření lze rozdělit na plošné a objemové tváření. Diplomová práce je zaměřena na technologii přesného stříhání, která spadá do plošného tváření. Přesné stříhání je jednou z nejrozšířenějších metod, kterou se dosahuje vysoké přesnosti stříhané součásti s minimálním dokončením. Této technologii se využívá v mnoha odvětvích, jako je například automobilový, letecký nebo elektrotechnický průmysl.

Cílem diplomové práce je navržení výroby součásti kryt senzoru technologií přesného stříhání a její technicko-ekonomické zhodnocení.

Na obr. 1 jsou uvedeny některé příklady výrobků zhotovených technologií přesného stříhání.

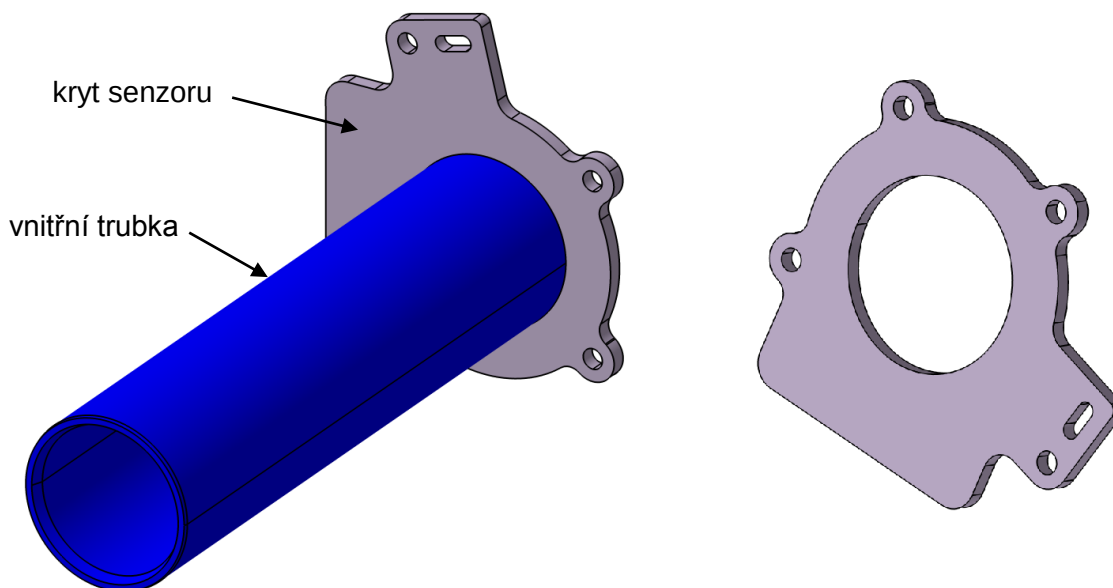


Obr. 1 Příklad výrobků zhotovených technologií přesného stříhání [33]

1 ZHODNOCENÍ SOUČASNÉHO STAVU [1]

Řešenou součástí je kryt senzoru, který je součástí řízení u automobilů značky Volkswagen, používaný v modelech Polo 6. generace a Up 2. generace. Kryt senzoru je při montáži svařen s trubicí, viz obr. 2 a přišroubován k palubní desce automobilu. Součást bude vyráběna technologií přesného stříhání s roční výrobní sérií 800 000 ks/rok.

V současné době je součást vyráběna ve dvou nástrojích. V prvním nástroji jsou postupovým stříháním zhotoveny otvory a následně je vystřižena součást. V druhém nástroji jsou zhotoveny prolisy.

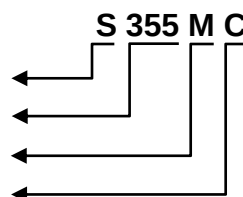


Obr. 2 Model krytu senzoru

Součást je vyráběna z mikrolegované oceli S355MC (dle ČSN EN 10149-2), která má široké využití především ve strojírenství v automobilovém průmyslu. Jedná se o ocel s vyšší pevností a mezí kluzu při současném dosažení vysokých hodnot tažnosti, určenou pro tváření za studena [1].

Význam symbolů značení materiálu:

ocel pro ocelové konstrukce
minimální mez kluzu 355 MPa
termomechanicky válcováno
se zvláštní tvářitelností za studena



Mechanické vlastnosti a chemické složení jsou uvedeny v tab. 1 a 2.

Tab. 1 Mechanické vlastnosti oceli S355MC (ČSN EN 10149-2) [1]

Mechanické vlastnosti oceli S355MC (ČSN EN 10149-2)		
Mez kluzu R_e [MPa]	Mez pevnosti v tahu R_m [MPa]	Tažnost A (pro tloušťku 4 mm) [%]
min 355	430 - 550	min 23

Tab. 2 Chemické složení oceli S355MC (ČSN EN 10149-2) [1]

Chemické složení oceli S355MC (ČSN EN 10149-2) [v hmotnostních %]					
C	Si	Mn	P	S	Al _{celk.}
max 0,12	max 0,5	max 1,5	max 0,025	max 0,015	max 0,015
Nb	V	Ti			
max 0,09	max 0,2	max 0,15			

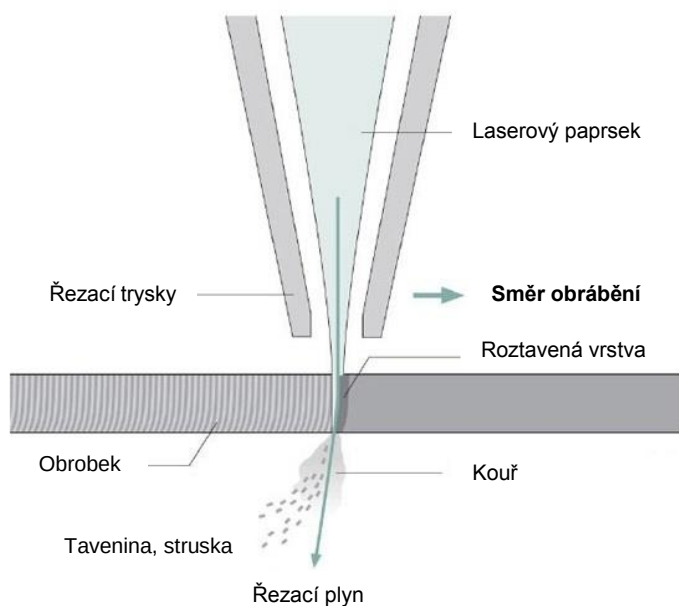
1.1 VARIANTY VÝROBY

Zadanou součást lze vyrábět řadou technologií, mezi které patří metody postupového nebo přesného stříhání a dále nekonvenční metody jako jsou řezání laserovým, vodním nebo plazmovým paprskem.

1.1.1 Řezání laserovým paprskem [2,3,4,5,6]

LASER je zkratkou počátečních písmen anglického **L**ight **A**mplification by **S**timulated **E**mission of **R**adiation (zesilování světla stimulovanou emisí záření). Je označován jako optický zesilovač generující elektromagnetické záření (světlo) pomocí procesu stimulované emise fotonů, které je z laseru vyzařováno ve formě úzkého svazku [2].

Princip řezání spočívá v dopadu fokusovaného laserového paprsku na obrobek, jehož materiál se zahřeje tak silně, že se roztaví nebo odpaří. Jakmile pronikne paprsek skrz obrobek, začíná proces řezání. Laserový paprsek se pohybuje podél obrysu součásti a plynule roztavuje materiál, který je většinou vyfukován proudem plynu směrem dolů ze štěrbinu řezu. Schéma a ukázka procesu řezání laserovým paprskem je uvedena na obr. 3 a 4 [4].



Obr. 3 Schéma řezání laserem [4]



Obr. 4 Řezání laserovým paprskem [5]

Výhody [3,6]:

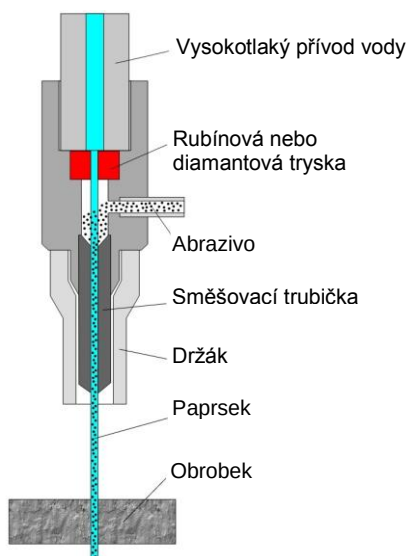
- vysoká přesnost řezaných dílů u slabých a středních tloušťek materiálu,
- schopnost řezání složitých tvarů a různých materiálů,
- vysoká řezná rychlost u tenkých materiálů,
- řezání velmi malých otvorů, úzkých pásků, tvarů s ostrými úhly,
- řezání probíhá bez dotyku nástroje a materiálu,
- malý prořez (vysoké využití polotovaru),
- velmi malé přivedené teplo, žádné deformace obráběného materiálu,
- pravoúhlá řezná hrana,
- úzká řezná spára (0,2 - 0,5 mm),
- velmi dobrá automatizace.

Nevýhody [6]:

- vysoké investiční (zařízení) a provozní (velká spotřeba plynů) náklady,
- omezené tloušťky materiálů,
- přesné řízení vzdálenosti k povrchu obrobku.

1.1.2 Řezání vodním paprskem [3,6,7,8,9]

Technologie řezání vodním paprskem využívá k dělení materiálu vysokotlaký vodní paprsek, který má dostatek energie, aby dokázal efektivně řezat materiály všech druhů (s vysokou pevností, měkké, křehké i houževnaté). Při řezání měkkých materiálů (plasty, dřevo, guma, aj.) se používá čistý vodní paprsek, pro ostatní materiály paprsek vody s příměsí abraziva (přírodní olivín nebo granát). Vysokotlaké zařízení (čerpadlo) umožňuje stlačit vodu až na 450 MPa (speciální stroje i 650 MPa) v řezací hlavě ukončené řezací tryskou, z které následně vychází paprsek vody. Ve směšovací komoře je do vodního paprsku přimíseno abrazivo. Schéma a ukázka procesu řezání vodním paprskem je uvedena na obr. 5 a 6 [7,8,9].



Obr. 5 Schéma řezání vodním paprskem [9]



Obr. 6 Řezání vodním paprskem [8]

Výhody [6,7,9]:

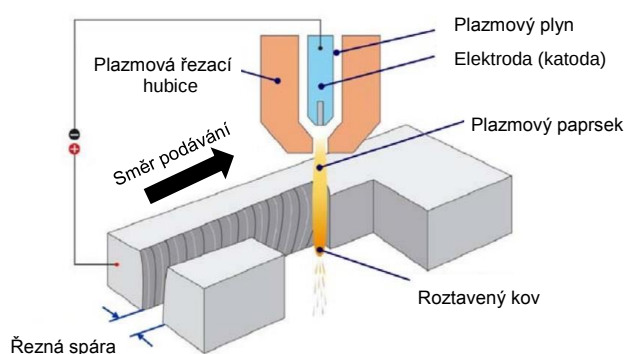
- řezání bez tepelného ovlivnění řezaného materiálu (materiál nevykazuje fyzikální, chemické nebo mechanické změny),
- řezání probíhá bez dotyku nástroje a materiálu,
- univerzálnost – řezání všech materiálů při velkém rozsahu tloušťek,
- malý prořez (vysoké využití polotovaru),
- řezná hrana většinou nepotřebuje další opracování,
- nedojde k porušení povrchové úpravy materiálu (leštění, broušení),
- bez škodlivých emisí,
- velmi dobrá automatizace.

Nevýhody [3,6,7]:

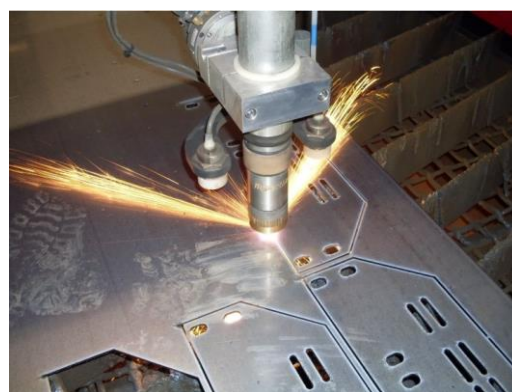
- nevyhnutelný kontakt s vodou i s abrazivním materiálem (bez okamžitého vhodného ošetření rychlý nástup koroze, delší vysoušení u nasákových materiálů, možnost změny barvy, znečištění),
- vysoké investiční a provozní náklady.

1.1.3 Řezání plazmovým paprskem [6,10,11,12,13,14]

Princip řezání plazmovým paprskem spočívá ve vytvoření elektrického oblouku a současném dodávání plazmového plynu (argon, dusík, vodík, kyslík a jejich směsi) mezi netavící se elektrodou (katodou) vyrobenou z wolframu a řezaným materiálem nebo tělesem hořáku (anodou). Plazma může při úniku z trysky dosahovat teploty až 20 000 °C a proudit až rychlostí zvuku. Proto je tryska chlazena kolující vodou a v některých případech může být i řezaný materiál ponořen do vody. Při řezání je materiál taven a tavenina je vyfukována z řezné spáry pryč, proces je tedy založen na tepelné a kinetické energii plazmatu. Schéma a ukázka procesu řezání plazmovým paprskem je uvedena na obr. 7 a 8 [10,11,12].



Obr. 7 Schéma řezání plazmovým paprskem [11]



Obr. 8 Řezání plazmovým paprskem [13]

Výhody [6,14]:

- provoz jednoho nebo více hořáků podle série,
- řezání všech elektricky vodivých materiálů,

- velmi malé tepelné ovlivnění řezaného materiálu díky možnosti řezání plazmou pod vodou a také snížení hladiny hluku, prašnosti a UV záření v okolí pracoviště,
- vysoká řezná rychlost (až 10x vyšší než autogenní),
- minimální ztrátový čas,
- velmi dobrá automatizace.

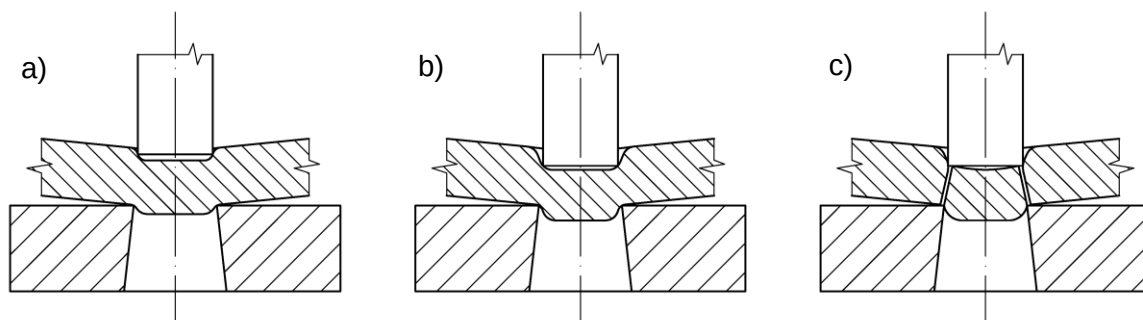
Nevýhody [6,11,14]:

- širší řezná spára,
- vysoká hladina hluku (80 až 100 dB),
- velká prašnost,
- intenzita UV záření,
- vysoké pořizovací náklady.

1.1.4 Postupové stříhání [15,16,17,18,19,20]

Operace stříhání začíná dosednutím střížníku na stříhaný materiál, který leží na střížnici a končí oddělením materiálu, ke kterému dochází pomocí dvojice protilehlých nástrojů (střížníku a střížnice) podél křivky stříhu, která je tvořena obvodem výstřížku, střížníku nebo střížnice [15,16,17].

Proces stříhání lze rozdělit do tří základních fází, obr. 9



Obr. 9 Základní fáze procesu stříhání [16]

V první fázi (obr. 9a) dochází ke vzniku pružné deformace u stříhaného materiálu, který se stlačuje, ohýbá a vtlačuje do otvoru střížnice. Hloubka vniku střížníku do stříhaného materiálu závisí na mechanických vlastnostech materiálu a bývá 5 až 8 % jeho tloušťky [16,18].

V druhé fázi (obr. 9b) se střížník vtlačuje do stříhaného materiálu a ten do otvoru střížnice, napětí překračuje mez kluzu a dochází k trvalé plastické deformaci. Hloubka vniku střížníku do stříhaného materiálu bývá 10 až 25 % tloušťky materiálu a je závislá na jeho mechanických vlastnostech [16,18].

Ve třetí fázi (obr. 9c) dochází ke vzniku trhlin, které se rozšiřují, až dojde k utržení materiálu v důsledku jeho namáhání nad mez pevnosti ve stříhu. Hloubka vniku střížníku bývá 10 až 60 % tloušťky stříhaného materiálu a závisí na velikosti střížné mezery a druhu materiálu [16,18].

Při postupovém stříhání se jediným nástrojem provádějí dvě nebo více za sebou následujících pracovních úkonů stejného druhu, například v prvním kroku dochází

k děrování a v dalším k vystřížení obvodu součásti. Při vkládání nového stříhaného materiálu (plechu) se používají načínací dorazy a k zajištění jeho polohy v průběhu stříhání pevné koncové dorazy [18,19].

Výhody:

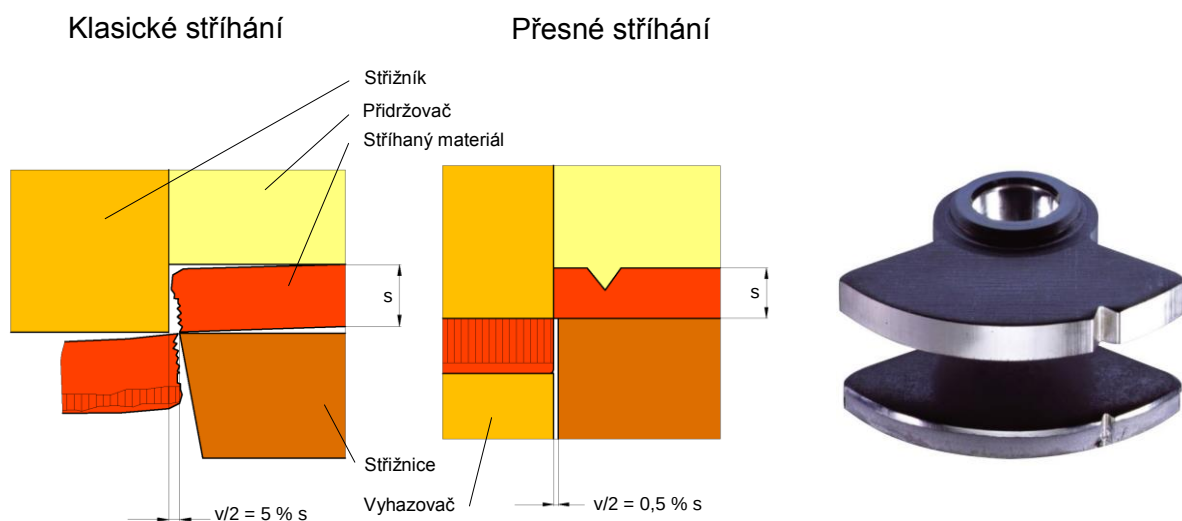
- jednoduché a levné nástroje,
- snadná údržba nástroje.

Nevýhody [20]:

- horší jakost povrchu $R_a = 3,2$ až $6,3 \mu\text{m}$,
- horší rozměrová přesnost IT12 až IT14 u materiálů tloušťky do 4 mm,
- nízká produktivita.

1.1.5 Přesné stříhání [16,17,18,21]

Technologie přesného stříhání využívá sloučená stříhadla, kdy dochází k vystřížení vnějšího i vnitřního tvaru současně. Dosahuje se drsnosti povrchu $R_a = 0,4$ až $1,6 \mu\text{m}$ a rozměrové přesnosti vystřížených součástí IT6 až IT9, překračující hodnoty dosahované běžnými technologiemi stříhání. Na kvalitu výstřížku má velký vliv střížná vůle (v) mezi střížníkem a střížnicí. U klasického stříhání se volí střížná vůle 5 % tloušťky stříhaného materiálu (s) a u přesného stříhání 0,5 % tloušťky. Na obr. 10 je ukázka porovnání kvality stříhu klasického a přesného stříhání [16,17].



Obr. 10 Kvalita stříhu klasického a přesného stříhání [18,21]

U všech výše uvedených metod je potřeba použití druhého nástroje ke zhotovení prolisů na vyráběné součásti.

1.1.6 Zhodnocení jednotlivých variant výroby

Nekonvenčními metodami, jako jsou řezání laserovým, vodním nebo plazmovým paprskem lze řezat tvarově složité součásti s vysokou rozměrovou přesností. Mezi největší nevýhody těchto technologií patří vysoké pořizovací a provozní náklady.

Další možností výroby je postupové stříhání, kterým ale není možné dosáhnout požadované rozměrové přesnosti a drsnosti povrchu výstřižku.

Ze všech navržených variant výroby vyšla tedy nejlépe metoda přesného stříhání s tlačnou hranou, kde se v daném nástroji současně zhotoví prolisy a bude stříhat součást. Dosáhne se požadované rozměrové přesnosti, kvality povrchu výstřižku a metoda je vhodná i vzhledem k roční výrobní sérii 800 000 ks/rok.

Na základě vyhodnocení neoptimálnější varianty výroby bude následující kapitola zaměřena na **přesné stříhání s tlačnou hranou**.

2 TECHNOLOGIE PŘESNÉHO STŘÍHÁNÍ

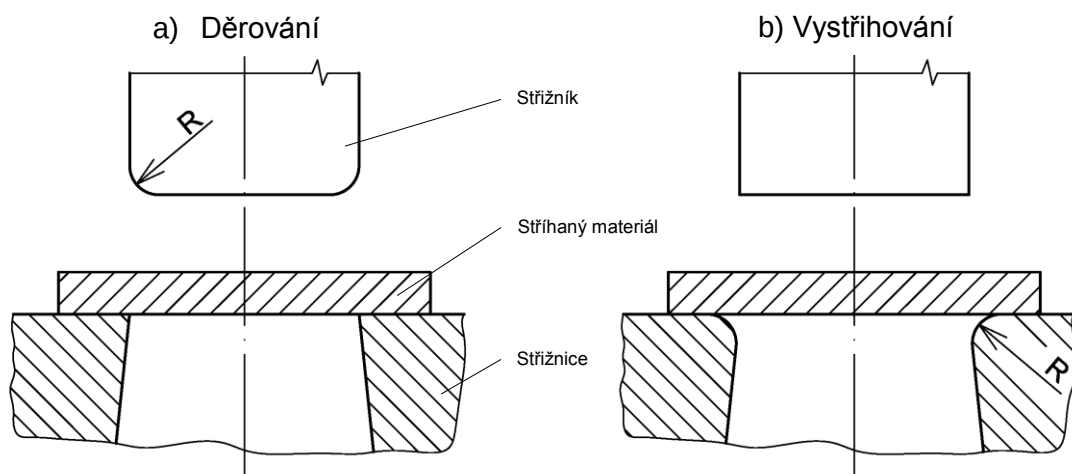
Technologií přesného stříhání se dosahuje součástí s vysokou rozměrovou přesností a jakostí stříhané plochy při vysoké produktivitě.

2.1 METODY TECHNOLOGIE PŘESNÉHO STŘÍHÁNÍ

- stříhání se zaoblenou střížnou hranou,
- stříhání se zkoseným přidržovačem,
- přistříhování,
- kalibrování,
- přesné stříhání s tlačnou hranou.

2.1.1 Stříhání se zaoblenou střížnou hranou [19,20,22]

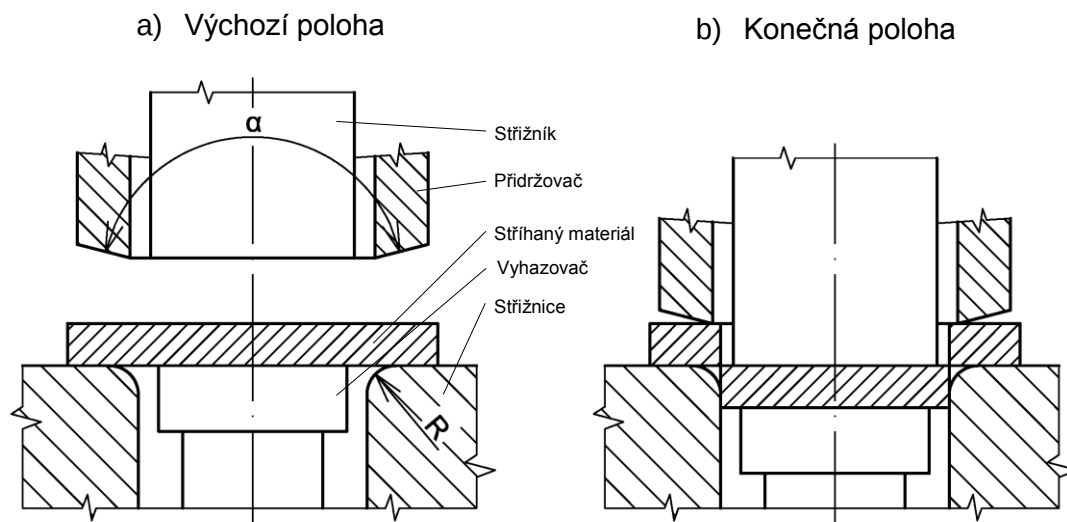
Při vystříhování se zaoblenými střížnými hranami střížníku nebo střížnice (obr. 11) nedochází ke vzniku střížné trhliny ve stříhaném materiálu. Doporučený poloměr zaoblení střížné hrany se pohybuje mezi 15 až 20 % tloušťky stříhaného materiálu a v případě tvarově složitější součásti (zářezy, ostré přechody) se volí 25 %. Tato technologie je vhodná pro materiály s dobrou tvářitelností, jako jsou měkké oceli, mosaz, hliník a jeho slitiny. U výstřížků se dosahuje rozměrové přesnosti IT9 až IT12 a drsnosti povrchu $R_a = 0,4$ až $0,8 \mu\text{m}$ [19,20,22].



Obr. 11 Stříhání se zaoblenými střížnými hranami [22]

2.1.2 Stříhání se zkoseným přidržovačem [19,22]

Jde o poměrně málo používanou metodu přesného stříhání, která má na rozdíl oproti běžnému stříhání zkosený přidržovač (obr. 12), který při stříhání vyvozuje dvojosý stav napjatosti. Vrcholový úhel přidržovače je $\alpha = 178^\circ 30'$ a poloměr zaoblení střížné hrany střížnice je $R \leq 0,01 \text{ mm}$ [19,22].



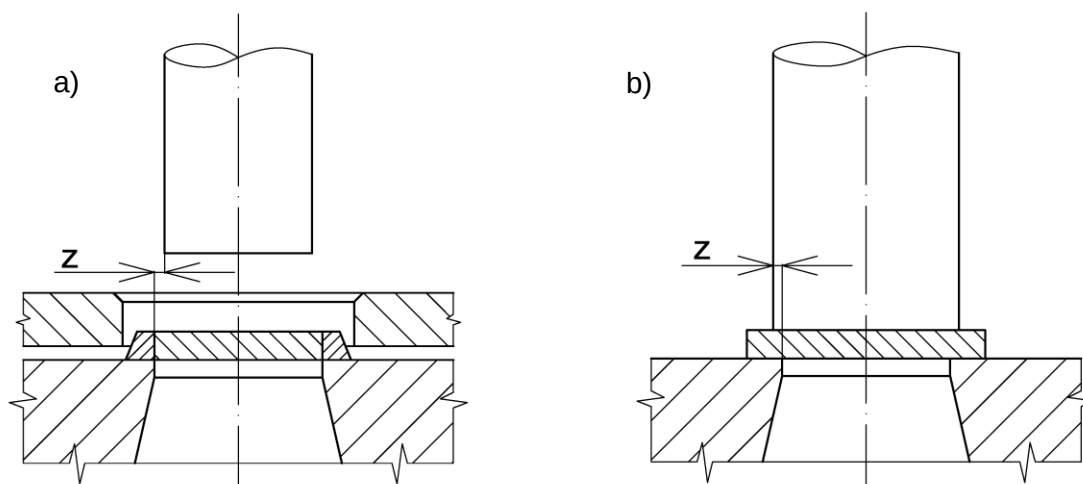
Obr. 12 Stříhání se zkoseným přidržovačem [19]

2.1.3 Přistříhování [16,19,20,22]

Princip přistříhování spočívá v oddělování malého množství kovu (tloušťky 0,1 až 0,5 mm) ze střížné plochy, za účelem dosažení větší rozměrové přesnosti IT6 až IT9 a drsnosti povrchu $R_a = 0,8 - 1,6 \mu\text{m}$ stříhané součásti. Většinou se používá jedna přistříhovací operace, u tlustších nebo velmi přesných součástí více operací [16,19].

Podle vzájemné velikosti střížníku a střížnice lze přistříhování rozdělit na:

- přistříhování s kladnou vůlí (obr. 13a),
- přistříhování se zápornou vůlí (obr. 13b).

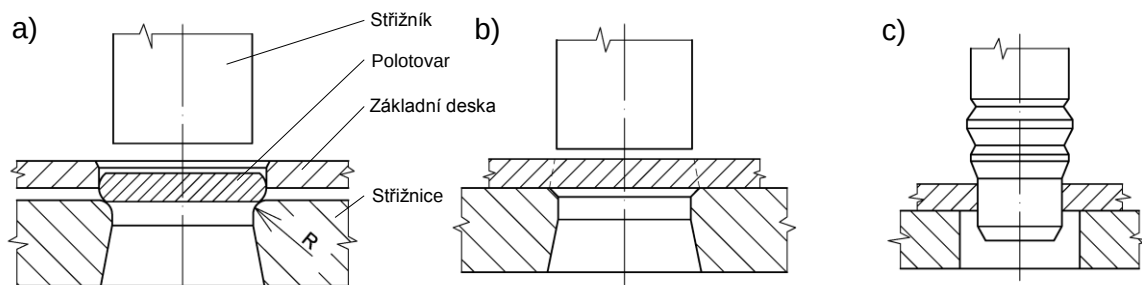


Obr. 13 Způsoby přistříhování [22]

Pro přistříhování jsou vhodné tvrdé a polotvrdé nelegované oceli, méně vhodné jsou měkké a chromované oceli a nevhodné jsou chrommolybdenové. Tato metoda přesného stříhání se nehodí pro velkosériovou výrobu [19,20].

2.1.4 Kalibrování [15,22,24]

Kalibrování se používá ke zlepšení rozměrové přesnosti a kvality povrchu na vnějším obrysu nebo otvoru výstřižku. Princip kalibrování vnějšího obrysu spočívá v protlačování výstřižku přes střížnici se zaoblenou (obr. 14a) nebo sraženou (obr. 14b) hranou a v případě vnitřního obrysu je trn protlačován otvorem (obr. 14c) [22,24].



Obr. 14 Kalibrování vnějšího obrysu a otvoru [24]

Kalibrování v porovnání s přistřihováním je méně přesné vlivem odpružení po kalibraci, je potřeba větší síla a povrch kalibrované plochy je zpevněný [15].

2.1.5 Přesné stříhání s tlačnou hranou [16,19]

Jedná se o nejpoužívanější metodu přesného stříhání, jejíž princip spočívá ve vyvolání trojosého stavu napjatosti v oblasti stříhu, který vede ke vzniku střížných ploch bez trhlin. Výsledkem je kvalitní a přesná střížná plocha s drsností povrchu $R_a = 0,4$ až $1,6 \mu\text{m}$ (výjimečně $R_a = 0,1 \mu\text{m}$) a maximální rozměrová přesnost součástí IT6. Plechy s tloušťkou do 4 mm dosahují přesnosti IT8 až IT9. Technologie je vhodná pro větší výrobní série (min. 25 000 ks) [16,19].

2.1.6 Zhodnocení jednotlivých metod přesného stříhání [19]

Každá z výše popsaných metod má své uplatnění v určité výrobě. Technologie přesného stříhání se zaoblenou střížnou hranou a stříhání se zkoseným přidržovačem se hodí pro výrobu součástí z materiálu tloušťky do 3 mm v malosériové výrobě.

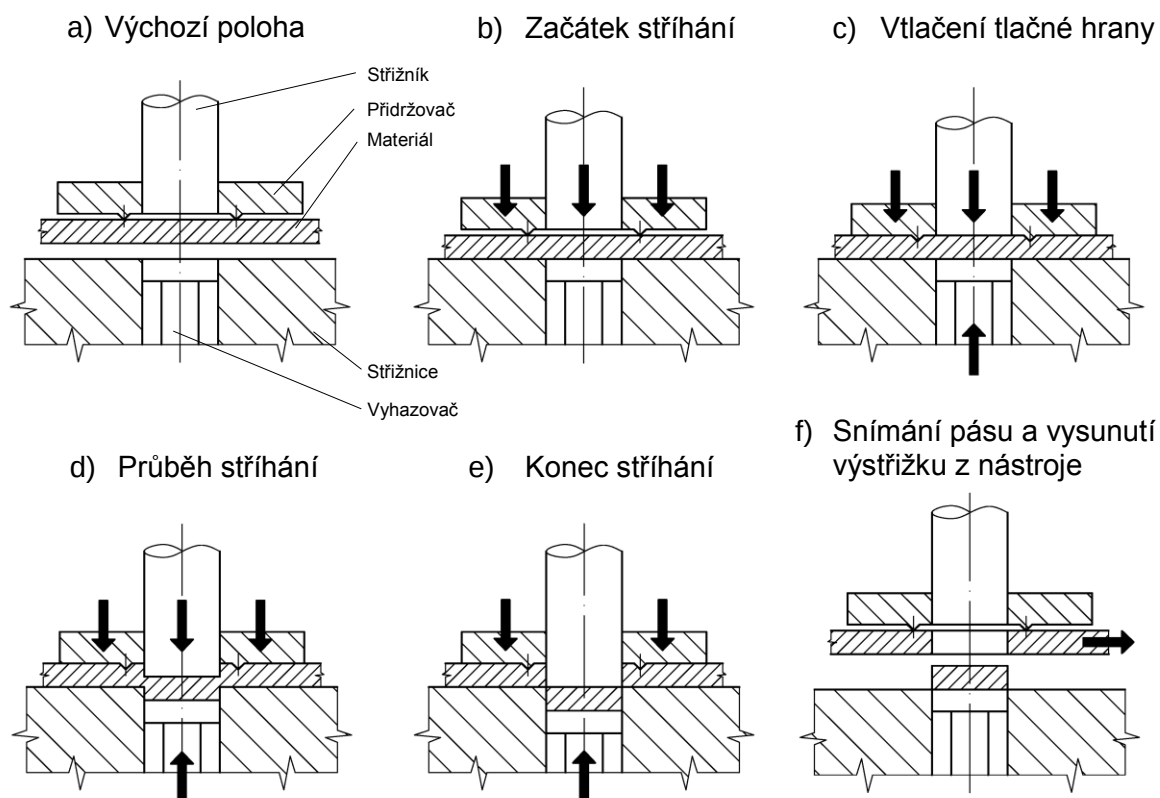
Přistřihování a kalibrování jsou používány jako dodatečné operace ke zvýšení rozměrové přesnosti a kvality povrchu stříhané součásti v malosériové výrobě [19].

Přesné stříhání s tlačnou hranou je nejrozšířenější metodou a je vhodné pro výrobu zadané součásti v hromadné výrobě.

Vzhledem k zaměření diplomové práce na výrobu součástí přesným stříháním s tlačnou hranou, bude tato technologie podrobněji rozebrána v následující kapitole.

2.2 PŘESNÉ STŘÍHÁNÍ S TLAČNOU HRANOU [17,19,20]

Stříhaný materiál (pás plechu) procházející nástrojem je v počáteční fázi vně křivky stříhu sevřen mezi přidržovačem a střížnicí, takže tlačná hrana na přidržovači (popř. i na střížnici) je vtlačena do materiálu ještě před vlastním stříhem. Poloha tlačné hrany je volena mimo křivku stříhu. Uvnitř křivky stříhu je materiál sevřen mezi střížníkem a vyhazovačem. Vlivem sevření se stříhaný materiál nemůže prohnut a tlačná hrana zachycuje jeho radiální složku pružení, která vznikla jako následek plastické deformace v oblasti stříhu. Postup přesného stříhání s tlačnou hranou je ukázán na obr. 15 [19,20].

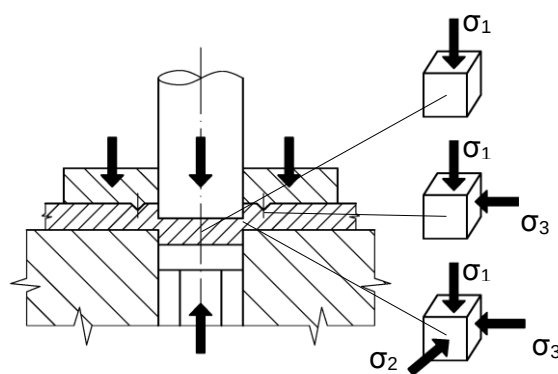


Obr. 15 Postup přesného stříhání s tlačnou hranou [17]

2.2.1 Rozbor stavu napjatosti [19,23,25]

Při přesném stříhání se pásmo plastického stříhu rozšiřuje přes celou tloušťku materiálu. Platí, že se vzrůstajícím podílem tlakových napětí roste schopnost materiálu plasticky se deformovat a naopak větší tahová napětí vedou k porušení soudržnosti materiálu a vzniku trhlin [19].

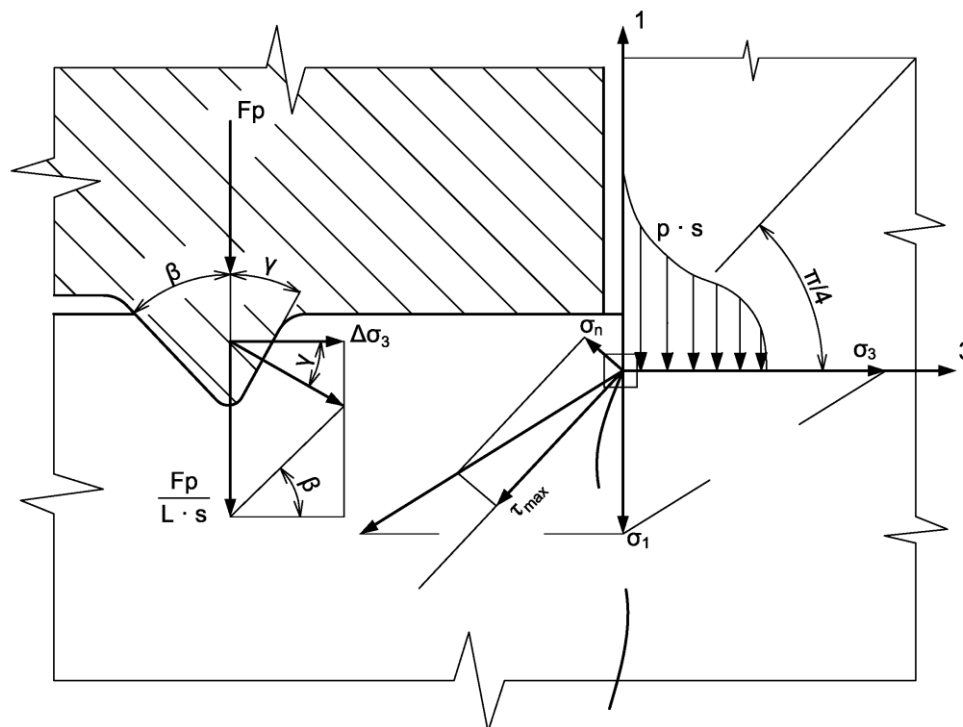
V materiálu vznikají při přesném stříhání tři oblasti s různými schématy napjatosti, viz obr. 16. Nejvýhodnější rozložení hlavních napětí je právě v oblasti stříhu, kde vzniká tříosá tlaková napjatost. Tato oblast



Obr. 16 Zobrazení trojosého stavu napjatosti [19]

všestranného tlaku, zabraňuje vzniku trhlin a podporuje průběh čistě plastického stříhu [19].

Použitím přidržovače s tlačnou hranou se vytvoří přídavné tlakové napětí $\Delta\sigma_3$ zvyšující tlakové napětí σ_3 . Přídavné tlakové napětí $\Delta\sigma_3$ výrazně změní poměry v rovinné napjatosti uzavřeného stříhu. Důsledkem této změny je dosažení záporné hodnoty normálního napětí σ_n , které uzavírá trhliny vznikající v materiálu i při jejich šíření ve směru τ_{max} . Zadržením lomu se zvýší kritické přetvoření a plastický stříh se rozšíří na celou tloušťku materiálu a sníží se střížná síla. Výsledkem přesného stříhání je zvýšená kvalita povrchu střížné plochy a přesnost stříhu IT6 až IT12. Znárodnění tlakové napjatosti pod střížnou hranou je na obr. 17 [23,25].



Obr. 17 Schéma napjatosti při přesném stříhání [25]

Z geometrie tlačné hrany lze stanovit průmět funkční plochy přidržovače [25]:

$$S_{př} = L \cdot h \cdot (\operatorname{tg}\gamma + \operatorname{tg}\beta) \quad (2.1)$$

Potřebná síla přidržovače na plastické zatlačení hrany [25]:

$$F_p = S_p \cdot R_e = L \cdot h \cdot (\operatorname{tg}\gamma + \operatorname{tg}\beta) \cdot R_e \quad (2.2)$$

Přídavná složka tlakového napětí bude [25]:

$$\Delta\sigma_3 = \frac{F_p}{L \cdot s} \cdot \frac{1}{(\operatorname{tg}\gamma + \operatorname{tg}\beta)} \quad (2.3)$$

Celkové tlakového napětí na břitu střížné hrany bude [25]:

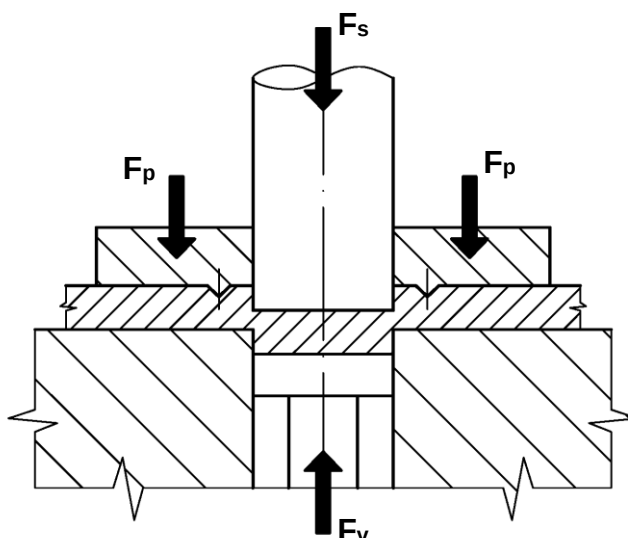
$$\sigma_{3C} = \sigma_3 + \Delta\sigma_3 \quad (2.4)$$

kde:	F_p	[N]	–	síla přidržovače,
	$S_{př}$	[mm ²]	–	plocha přidržovače,
	L	[mm]	–	délka křivky tlačné hrany,
	h	[mm]	–	výška tlačné hrany,
	s	[mm]	–	tloušťka stříhaného materiálu,
	R_e	[MPa]	–	mez kluzu,
	σ_3	[MPa]	–	tlakové napětí,
	$\Delta\sigma_3$	[MPa]	–	přídavné tlakové napětí,
	σ_{3C}	[MPa]	–	celkové hlavní tlakové napětí,
	β	[°]	–	vnější úhel přitlačné hrany,
	γ	[°]	–	vnitřní úhel přitlačné hrany.

Pro plechy tloušťky do 4 mm se používá tlačná hrana pouze na přidržovači a u tlouštěk 3 až 7 mm se používá tlačná hrana na přidržovači i střížnici [25].

2.2.2 Síly působící při přesném stříhání [17,22]

V technologii přesného stříhání s tlačnou hranou působí na stříhaný materiál následující tři síly, uvedené na obr. 18.



Obr. 18 Síly působící při přesném stříhání [22]

Střížná síla [22]:

- síla působící k oddělení materiálu

$$F_s = S \cdot n \cdot \tau_s = l \cdot s \cdot n \cdot 0,8 \cdot R_m \quad (2.5)$$

kde:	F_s	[N]	–	střížná síla,
	S	[mm ²]	–	plocha stříhu,
	s	[mm]	–	tloušťka stříhaného materiálu,
	l	[mm]	–	celková délka křivky stříhu,
	τ_s	[MPa]	–	mez pevnosti ve stříhu ($\tau_s = 0,8 \cdot R_m$),
	n	[-]	–	koeficient vlivu vnějších podmínek ($n = 1,2$).

Síla přidržovače [22]:

- síla působí na zatlačení tlačné hrany a sevření materiálu kolem křivky stříhu přidržovačem a střížnicí [17]

$$F_p = 4 \cdot R_m \cdot L \cdot h \quad (2.6)$$

kde:	F_p	[N]	–	síla přidržovače,
	L	[mm]	–	délka křivky tlačné hrany,
	h	[mm]	–	výška tlačné hrany,
	R_m	[MPa]	–	mez pevnosti v tahu.

Síla vyhazovače [22]:

- síla k sevření materiálu mezi střížníkem a vyhazovačem [17]

$$F_v = S_v \cdot p \quad (2.7)$$

$$F_v = 0,2 \cdot F_s \quad (2.8)$$

kde:	F_v	[N]	–	síla vyhazovače,
	F_s	[N]	–	střížná síla,
	S_v	[mm ²]	–	plocha výstřížku,
	p	[MPa]	–	měrný tlak bývá v rozmezí (30 až 70 MPa).

Celková síla [22]:

- je rovna součtu síly střížné, přidržovače a vyhazovače

$$F_c = F_s + F_p + F_v \quad (2.9)$$

kde:	F_c	[N]	–	celková síla,
	F_s	[N]	–	střížná síla,
	F_p	[N]	–	síla přidržovače,
	F_v	[N]	–	síla vyhazovače.

2.2.3 Celková střížná práce [17]

Celková střížná práce je rovna součtu následujících prací:

Střížná práce [17]:

$$A_s = \frac{0,48 \cdot l \cdot R_m \cdot s^2}{1000} \quad (2.10)$$

kde:	A_s	[J]	–	střížná práce,
	s	[mm]	–	tloušťka stříhaného materiálu,
	l	[mm]	–	celková délka křivky stříhu,
	R_m	[MPa]	–	mez pevnosti v tahu.

Práce přidržovače [17]:

$$A_p = \frac{2 \cdot R_m \cdot L \cdot h^2}{1000} \quad (2.11)$$

kde: A_p [J] – práce přidržovače,
 L [mm] – délka křivky tlačné hrany,
 h [mm] – výška tlačné hrany,
 R_m [MPa] – mez pevnosti v tahu.

Práce vyhazovače [17]:

$$A_v = \frac{S_v \cdot p \cdot s}{1000} \quad (2.12)$$

kde: A_v [J] – práce vyhazovače,
 S_v [mm²] – plocha výstřižku,
 s [mm] – tloušťka stříhaného materiálu,
 p [MPa] – měrný tlak.

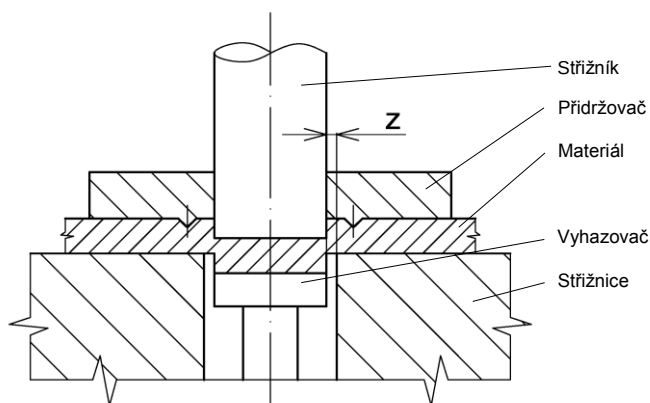
Celková střížná práce [17]:

$$A_c = A_s + A_p + A_v \quad (2.13)$$

kde: A_c [J] – celková střížná práce,
 A_s [J] – střížná práce,
 A_p [J] – práce přidržovače,
 A_v [J] – práce vyhazovače.

2.2.4 Střížná vůle a střížná mezera [16,26,27]

Střížná vůle u přesného stříhání je přibližně 10x menší než u běžného stříhání. Její velikost má největší vliv na kvalitu střížné plochy, rozměry výstřižku a životnost nástroje, protože ovlivňuje směr smykového napětí, které způsobuje oddělení materiálu. Na velikost střížné vůle má největší vliv druh a tloušťka stříhaného materiálu. Při nerovnoměrném rozložení střížné vůle (rozdílné střížné mezery) po obvodě vznikají povrchové vady, ostřiny a střížná plocha je nekvalitní [26,27].



Obr. 19 Schéma střížné mezery [16]

Střížná vůle [16]:

$$v = 2 \cdot z \quad (2.14)$$

kde: v [mm] – střížná vůle,
 z [mm] – střížná mezera.

Pro běžnou praxi se volí vůle jako 0,5% z tloušťky stříhaného materiálu.

Výpočet střížné mezery pro plechy $s \leq 3$ mm [16,26]:

$$z = c \cdot s \cdot 0,32 \cdot \sqrt{\tau_s} \quad (2.15)$$

Výpočet střížné mezery pro plechy $s > 3$ mm [16,26]:

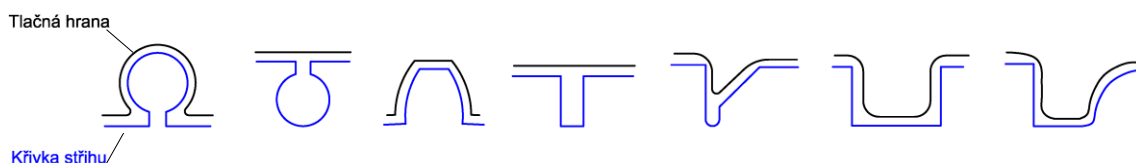
$$z = (1,5 \cdot c \cdot s - 0,0015) \cdot 0,32 \cdot \sqrt{\tau_s} \quad (2.16)$$

kde: z [mm] – střížná mezera,
 s [mm] – tloušťka stříhaného materiálu,
 c [-] – koeficient pro přesné stříhání ($c = 7 \cdot 10^{-4}$),
 τ_s [MPa] – mez pevnosti ve stříhu.

2.2.5 Tvar, poloha a rozměry tlačné hrany [16,17,19,22,26]

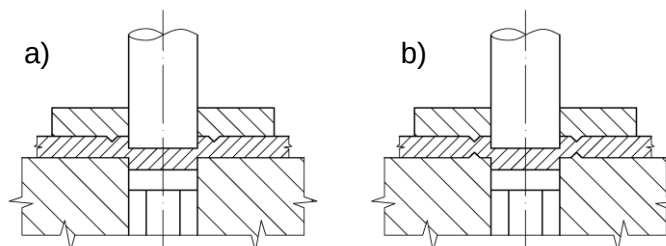
Mezi parametry tlačné hrany, které ovlivňují kvalitu střížné plochy a životnost nástroje patří její tvar, poloha a rozměry. Příliš velká vzdálenost tlačné hrany od křivky stříhu má za následek velkou spotřebu materiálu a snižuje účinek tlačné hrany, naopak malá vzdálenost omezuje vliv tlačné hrany a tímto snižuje kvalitu střížné plochy [19].

Tlačná hrana musí sledovat tvar výstřížku. Její průběh se nejjednodušeji navrhuje podle zaoblení výstřížku. V místech s velkým zaoblením musí tlačná hrana probíhat souběžně s křivkou stříhu a v místech s malým zaoblením probíhá ve větší vzdálenosti od křivky stříhu. Typické příklady jsou uvedeny na obr. 20 [17,19].



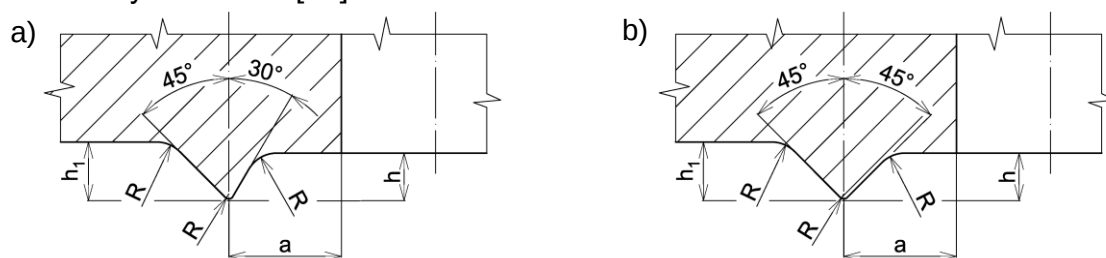
Obr. 20 Umístění tlačné hrany při členitém obrysu výstřížku [16]

Při stříhání materiálu tloušťky do 4 mm se používá tlačná hrana jen na přidržovači (obr. 21a) a pro tloušťky nad 4 mm se používá tlačná hrana na přidržovači a střížnici (obr. 21b) [19].



Obr. 21 Umístění tlačné hrany [16]

Tloušťka stříhaného materiálu ovlivňuje také tvar tlačné hrany. Na obr. 22a je uveden průřez tvaru tlačné hrany pro materiál tloušťky $s \leq 4$ mm a na obr. 22b pro tloušťky $s > 4$ mm [22].



Obr. 22 Tvar a rozměry tlačné hrany [22]

Rozměry tlačné hrany lze vypočítat dle následujících vztahů, nebo určit z tab. 3.

Tab. 3 Tabulka hodnot pro tlačnou hranu [26]

Tloušťka mat. [mm]	a [mm]	h [mm]	h ₁ [mm]	R [mm]	Tloušťka mat. [mm]	a [mm]	h [mm]	h ₁ [mm]	R [mm]
0,5	0,5	0,2	0,25	0,04	2,2	1,5	0,4	0,45	0,08
0,8	0,6	0,25	0,3	0,05	2,5	1,75	0,4	0,45	0,08
1,0	0,7	0,3	0,35	0,06	3,0	2,1	0,45	0,5	0,09
1,2	0,8	0,3	0,35	0,06	3,5	2,5	0,45	0,5	0,09
1,5	1,0	0,35	0,4	0,07	4,0	2,8	0,5	0,55	0,1
1,8	1,2	0,4	0,45	0,08	4,5	3,2	0,5	0,55	0,1
2,0	1,4	0,4	0,45	0,08	5,0	3,7	0,55	0,6	0,11

Výška tlačné hrany [22]:

$$h = \frac{1}{6} \cdot s \quad (\text{pro málo tvárné materiály}) \quad (2.17)$$

$$h = \frac{1}{3} \cdot s \quad (\text{pro tvárné materiály}) \quad (2.18)$$

kde: h [mm] – výška tlačné hrany,
s [mm] – tloušťka stříhaného materiálu.

Vzdálenost tlačné hrany od křivky stříhu [22]:

$$a = (0,6 \div 1,2) \cdot h \quad (2.19)$$

kde: a [mm] – vzdálenost tlačné hrany od křivky stříhu,
h [mm] – výška tlačné hrany.

Výška odlehčení za tlačnou hranou [22]:

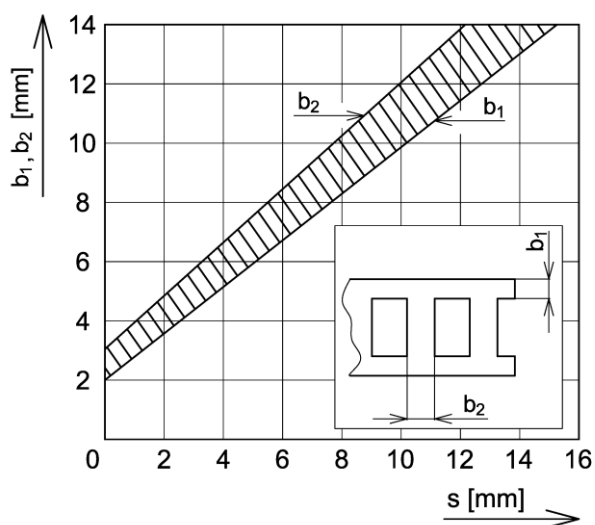
$$h_1 = h + 0,05 \quad (2.20)$$

kde: h_1 [mm] – výška odlehčení za tlačnou hranou,
 h [mm] – výška tlačné hrany.

2.2.6 Velikost postranního odpadu a šířky můstku [19,26]

Při přesném stříhání musí být postranní odpad (b_1) a šířka můstku (b_2) větší než při běžném stříhání, protože je potřeba prostor pro zatlačení tlačné hrany do stříhaného materiálu. U tvrdých materiálů je požadována větší šířka postranního odpadu a můstku než u měkkých materiálů, neboť jinak nelze vyvodit dostatečný tříosý stav napjatosti. Podmínkou je také tuhost okraje plechu. Velikost postranního odpadu a můstku je přímo závislá na kvalitě střížných ploch. Obecně platí, že šířka pásu nebo pruhu plechu je rovna šířce součásti zvětšené o 3 až 4 tloušťky plechu [19,26].

Minimální velikost postranního odpadu (b_1) a šířky můstku (b_2) lze určit odečtením hodnot z diagramu na obr. 23 (pro materiály s mezí pevnosti $R_m = 400$ MPa) nebo pomocí tab. 4 dané výrobcem.



Obr. 23 Velikost postranního odpadu a můstku [19]

Tab. 4 Velikost postranních odpadů a můstků podle firmy Hydrel [26]

Tloušťka mat. [mm]	b_2 [mm]	b_1 [mm]	Tloušťka mat. [mm]	b_2 [mm]	b_1 [mm]
0,5	2	1,5	4	6,5	6
1	3	2	5	7	7
1,5	4	2,5	6	8	7,5
2	4,5	3	8	10	9
2,5	5	4	10	12	10
3	5,5	4,5	12,5	15	11
3,5	6	5	15	18	14

2.2.7 Technologičnost tvaru součástí [19,22]

Součást vyráběná přesným stříháním musí vyhovovat nejen požadavkům, které jsou dány použitím a provozními podmínkami, ale také technologičností konstrukce. Technologičnost konstrukce součásti zaručuje výrobu součásti při minimálních nákladech a lze ji zajistit dodržováním tvaru součásti dle následujících konstrukčních parametrů [19]:

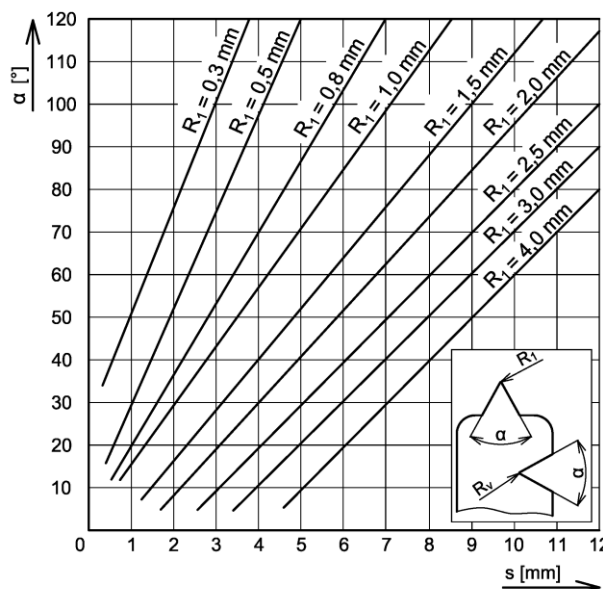
- optimální poloměry rohů a hran vystřihovaných částí,
- minimální průměr otvoru a minimální šířka drážky,
- minimální vzdálenost mezi otvory a drážkami.

Nedodržení některého z parametrů má za následek snížení kvality střížné plochy a snížení životnosti funkčních částí nástroje [22].

Optimální poloměry rohů a hran vystřihovaných částí

Při návrhu konstrukce součásti vyráběné přesným stříháním je nutné volit optimální velikost poloměrů rohů a hran, především u vyčnívajících částí. Ostré rohy a hrany součásti snižují životnost nástroje, kvalitu střížných ploch a v místech ostrých rohů vznikají ve střížných plochách trhlinky. Optimální velikost poloměrů rohů a hran závisí na vrcholovém úhlu, tloušťce plechu a na pevnosti materiálu [19].

Na obr. 24 je uveden diagram pro určení optimálního poloměru zaoblení částí u materiálů s mezí pevnosti v tahu $R_m = 400$ MPa. Pro materiály s jinou pevností se poloměry přepočítají v daném poměru. Minimální vnější poloměry (R_1) se zjistí odečtením přímo z diagramu a vnitřní (R_v) se volí jako 60 % velikosti poloměru vnějšího [19].



Obr. 24 Optimální velikost poloměrů rohů a hran [19]

Minimální průměr otvoru a minimální šířka drážky

Přesným stříháním lze vystřihovat otvory a drážky menší, než je tloušťka materiálu. To je umožněno tuhou konstrukcí nástroje, pomalu probíhajícím střížným procesem a vyhozením odpadu po každém zdvihu. Limitující při vystřihování minimálních otvorů a drážek je především životnost nástroje [19].

Minimální průměr otvoru (d_{min}) a minimální šířku drážky (b_{min}) lze stanovit dle tab. 5, určené pro materiály s mezí pevnosti v tahu $R_m = 400$ MPa. U materiálů s jinou pevností se hodnoty přepočítávají stejně jako při určování poloměrů rohů a hran vystřihovaných částí [19].

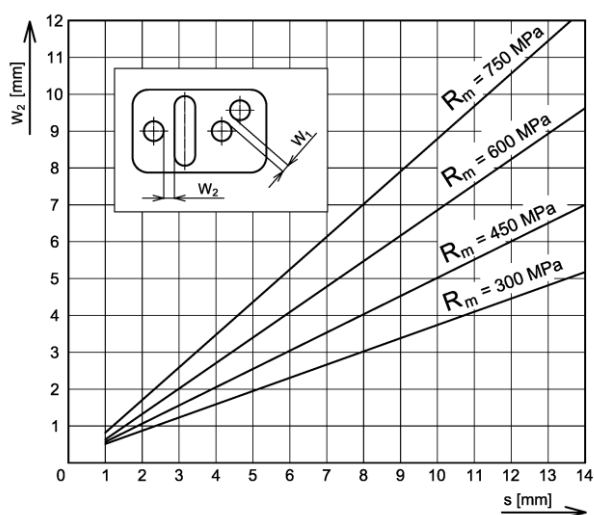
Tab. 5 Minimální průměr otvoru $d_{\min}$ a minimální šířka drážky $b_{\min}$ [19]

Tloušťka materiálu s [mm]	Minimální průměr otvoru $d_{\min}$ [mm]	Minimální šířka drážky $b_{\min}$ [mm]
do 3	$60\% \cdot s$	$65\% \cdot s$
nad 3	$70\% \cdot s$	$80\% \cdot s$

Minimální vzdálenost mezi otvory a drážkami

Při přesném stříhání členitých součástí s mnoha otvory a drážkami je nutné správně zvolit vzdálenosti mezi jednotlivými otvory a drážkami. Při zvolení příliš malé vzdálenosti dochází ke zhoršení kvality stříhu a snížení životnosti nástroje. Minimální vzdálenost závisí na pevnosti a tloušťce materiálu [19].

Minimální vzdálenost mezi otvorem a drážkou (W_2) lze stanovit z diagramu na obr. 25 a následně dopočítat dle vztahu 2.21 minimální vzdálenost mezi otvory (W_1):



Obr. 25 Minimální vzdálenost mezi otvory a drážkami [19]

Minimální vzdálenost mezi otvory [19]:

$$W_1 \geq 0,85 \cdot W_2 \quad (2.21)$$

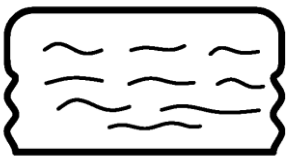
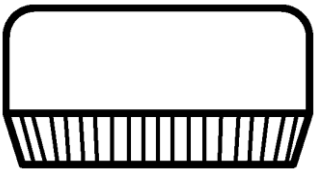
kde: W_1 [mm] – minimální vzdálenost mezi otvory,
 W_2 [mm] – minimální vzdálenost mezi otvorem a drážkou.

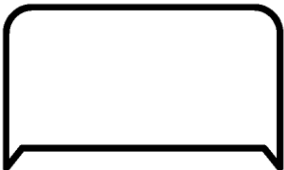
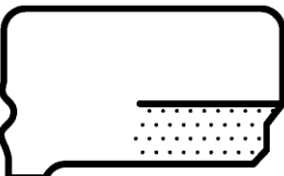
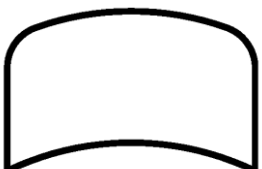
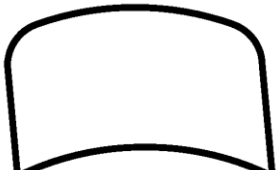
2.2.8 Vady výstřižků při přesném stříhání a jejich odstranění [19]

V tab. 6 jsou uvedeny nejčastější vady, které vznikají při přesném stříhání, jejich příčiny a možnosti odstranění [19].

Tab. 6 Vady při přesném stříhání [19]

Tvar výstřižku	Příčina vady	Odstranění vady
Stav střížné plochy		
 dobrý	-	-

Tvar výstřižku Stav střižné plochy	Příčina vady	Odstranění vady
 špatný	- nevhodný materiál - velká drsnost střižnice - nedostatečné mazání - příliš malé a nepravidelné zaoblení střižnice	- vyžítat nebo změnit materiál - přebrousit střižnici, pokud to střižná vůle dovolí - mazat vhodným mazadlem - opravit zaoblení střižnice
 trhlina	- nízký tlak přidržovače - malé zaoblení střižnice - nevhodný materiál	- zvětšit tlak přidržovače - zvětšit zaoblení střižnice - vyžítat nebo změnit materiál
 odtržený okraj	- střižná vůle je velká	- vyrobit nový střižník
 kuželovité střižné plochy	- zaoblení střižnice je velké	- přebrousit a méně zaoblit střižnici
 střižná plocha zvlněná a kuželovitá	- malá střižná vůle	- zvětšit střižnou vůli
 střižná plocha zvlněná, odtržený okraj	- zaoblení střižnice je velké, střižná vůle je velká	- přebrousit střižnici, zmenšit zaoblení

Tvar výstřižku Stav střižné plochy	Příčina vady	Odstranění vady
 příliš velká ostřina	- střižná vůle je malá, střižník je opotřebovaný	- zvětšit střižnou vůli, přebrousit střižník
 na jedné straně odtržený okraj, na druhé zvlněná střižná plocha a po obvodu vypouklá	- rozdílná střižná vůle - vedení střižníku má velkou vůli	- znovu vystředit střižník - opravit vůli ve vedení střižníku
 velký poloměr	- zaoblení střižnice je velké - malý protitlak	- přebrousit střižnici na menší poloměr, změna konstrukce: tlačnou hranu umístit na střižnici - zvýšit protitlak
 plocha je vypouklá	- malý protitlak - příliš mnoho oleje na pásu	- zvýšit protitlak - vybrousit více drážek na přidržovači k odvodu oleje
 výstřižek je podélně prohnutý	- napětí v materiálu	- použít polotovár s odstraněným pnutím, použít rovnačku nebo součásti rovnat
 výstřižek je zkroucený	- napětí v materiálu - poloha výstřižku v pásu - nesoučasné vyhazování výstřižku u vícedílného vyhazovače	- vyžít k odstranění pnutí - změna polohy výstřižku - zkontrolovat tloušťku a souměrnost vyhazovaných výstřižků a délku vyhazovacích kolíků

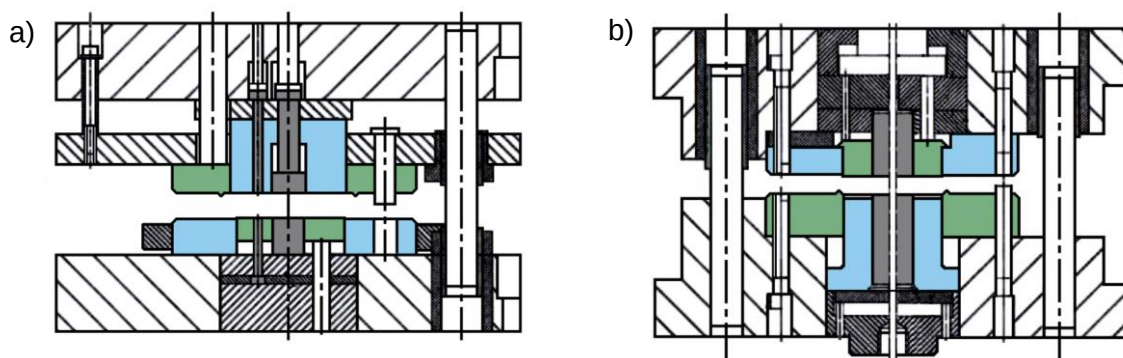
2.2.9 Nástroje pro přesné stříhání [16,17,19,28,29,30,31]

Nástroje pro přesné stříhání jsou charakteristické [17,28]:

- mezi střižníkem a střižnicí je minimální střižná vůle, která musí být zachována i po několika demontážích, čehož se dosáhne dokonalým, tuhým stojánkem a přesně ustředěné funkční části nástroje,
- nástroje jsou namáhány 1,5 až 2,5 krát většími silami, než u běžného stříhání, proto jednotlivé části nástroje vyžadují tuhou, robustní a přesnou konstrukci,
- přidržovač s tlačnou hranou slouží k sevření materiálu vně křivky stříhu spolu se střižnicí a ke stírání plechu ze střižníku,
- vyhazovač slouží k vyhazování vystřižené součásti ze střižnice a svírá materiál uvnitř křivky stříhu spolu se střižníkem.

Z konstrukčního hlediska lze nástroje pro přesné stříhání rozdělit do dvou základních skupin [19,16]:

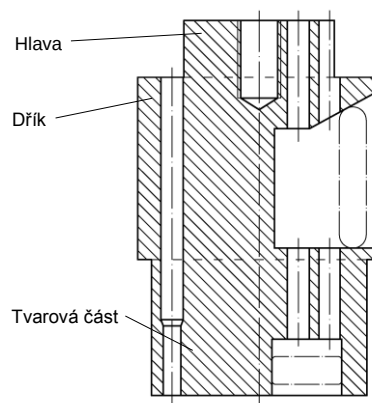
- **nástroje s pevným střižníkem a pohyblivým přidržovačem** (obr. 26a) vhodné k výrobě velkých, dlouhých a nesymetrických součástí s mnoha otvory o tloušťce plechu nad 5 mm,
- **nástroje s pohyblivým střižníkem a pevným přidržovačem** (obr. 26b) jsou používány k výrobě drobných, symetrických součástí tloušťky do 5 mm.



Obr. 26 Schéma střižného nástroje [29]

Funkční části nástroje:

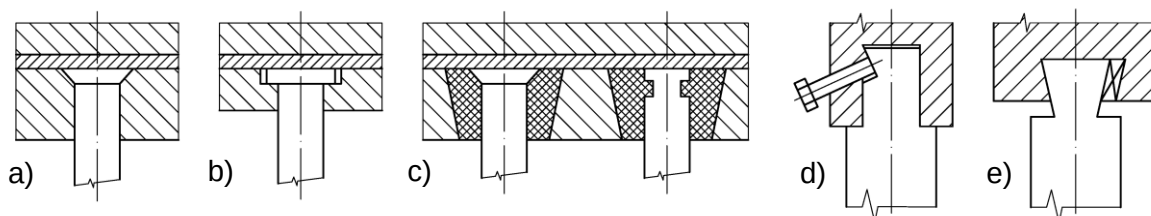
Střižník je v porovnání s klasickým stříháním více namáhán, protože má uvnitř otvory a vybrání pro vyhazovače, které značně komplikují jeho konstrukci. Na střižníku můžeme rozlišit tři části (obr. 27): tvarovou (profilovou) část, hlavu a dřík. Tvarová část odpovídá tvaru výstřižku a v dříku jsou otvory a vybrání pro vyhazovače (popř. pro jiné pomocné pohybové části) [19].



Obr. 27 Schéma střižníku [17]

Střížníky lze rozdělit [30]:

- podle tvaru průřezu – kruhové, obdélníkové, čtvercové, tvarové, atd.
- podle způsobu upínání – roznýtováním (obr. 28a) nebo osazením (obr. 28b) jeho horní části, zalitím pryskyřicí (obr. 28c), šroubem (obr. 28d), klínem (obr. 28e), za přírubu, atd.



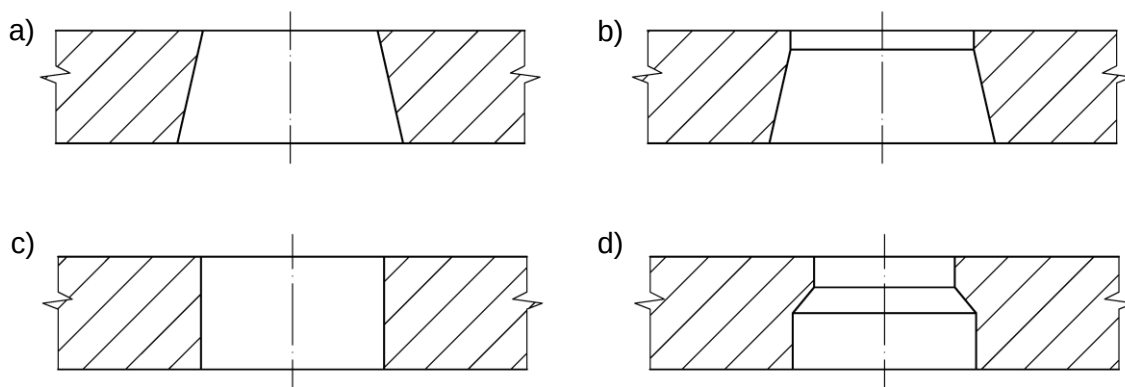
Obr. 28 Způsoby upínání střížníku [30]

Střížník musí být [19]:

- dostatečně dlouhý na ostření,
- kolmý a zalícovaný ve vyhazovači,
- zalícovaný v kotevní desce a zajištěný proti pootočení,
- odmagnetizovaný,
- souosý (zejména otvory pro vyhazovač).

Střížnice má rozhodující vliv na přesnost tvaru a jakost povrchu výstřížku. S ohledem na tvar výstřížku může mít tvar obdélníkový nebo kruhový a podle složitosti tvaru střížnice může být z jednoho nebo několika kusů (skládáná). Důležité je dokonalé ustavení střížnice vůči střížníku s ohledem na malou střížnou vůli, jejich vzájemná poloha se nesmí porušit ani po několika demontážích a montážích [19,28].

Na obr. 29 jsou uvedeny používané geometrické tvary střížných otvorů ve střížnici:



Obr. 29 Geometrické tvary střížnice [30]

- Obr. 29a – používá se pro střední série, při vystřihování malých součástí se střední přesností [30].
- Obr. 29b – nejpoužívanější střížný otvor s tzv. fazetkou, pro velké série s vysokou kvalitou výstřížku [30].
- Obr. 29c – používá se při stříhání velkých součástí nebo při použití vyhazovače.
- Obr. 29d – použití při děrování průměrů nad 5 mm [30].

Střížnice musí být [19]:

- vyrobena bez přechodů a broušená,
- ve vodícím stojánku zalícována se správným předpětím,
- v zeslabených místech podepřena zespodu tvarovými vložkami,
- konstruována s odvzdušňovací drážkou,
- konstruována s ochrannými ploškami proti poškození tlačné hrany,
- konstruována s tlačnými hranami.

Přidržovač vede střížník a spolu se střížnicí svírá stříhaný materiál. K docílení vhodného stavu napjatosti se zhotovuje na přidržovači tlačná hrana. Stejně jako střížnice může být přidržovač obdélníkový nebo kruhový a z jednoho nebo několika kusů. Na vnějším obvodu má úkos. Výjimečně jsou na čelní ploše přidržovače konstruovány drážky k odtoku oleje [19,28].

Při konstrukci je nutno dbát na [19]:

- geometrii tvaru tlačných hran,
- na správné předpětí,
- nutnost ochranných plošek proti poškození tlačných hran.

Vyhazovač spolu se střížníkem svírá stříhaný materiál z vnitřní strany křivky stříhu, rovná výstřižek a vyhazuje ho ze střížnice. Slouží k vedení děrovacích střížníků [28].

Vyhazovač musí být [19]:

- lícovaný do střížnice suvně,
- zajištěný proti pootočení a vypadnutí,
- ustavený ve střížnici tak, aby nad ní přečníval o 0,1 až 0,2 mm.

Materiály funkčních částí střížných nástrojů

V tab. 7 jsou uvedeny nejpoužívanější materiály střížných nástrojů a jejich tepelné zpracování.

Tab. 7 Materiály střížných nástrojů a jejich tepelné zpracování [31]

Funkční část nástroje	Materiál dle ČSN	Materiál dle EN	Tepelné zpracování
Střížník tvarový	19 437	X210CrW12	60 až 62 HRC
Střížník kruhový	19 421	115CrV3	64 HRC
Střížnice	19 437 19 572 19 824 19 830	X210CrW12 X165CrMoV12 HS18-0-1 HS6-5-2	62 až 63 HRC
Přidržovač	19 437	X210CrW12	58 až 59 HRC
Vyhazovač	19 437	X210CrW12	58 až 59 HRC

3 NÁVRH TECHNOLOGIE VÝROBY SOUČÁSTI

Zadanou součást je nejprve nutné zkontrolovat, zda je její konstrukce vhodná k použití technologie přesného stříhání s tlačnou hranou. Poté následují technologické výpočty a konstrukční kontrola funkčních částí nástroje. Na základě technologických výpočtů se zvolí vhodný lis, který se zařadí do výrobní linky s dalšími vhodnými zařízeními a navrhne se konstrukce střížného nástroje.

3.1 KONTROLA VHODNOSTI SOUČÁSTI

V této kapitole bude zadaná součást zkontrolována, zda ji lze vyrobit přesným stříháním s tlačnou hranou. Tato problematika byla probrána v kapitole 2.2.7.

3.1.1 Kontrola poloměrů rohů a hran součásti

Nejmenší poloměr rohů je na vnějším obrysu součásti a má velikost 2 mm s vrcholovým úhlem $\alpha = 90^\circ$. Pomocí vrcholového úhlu α a tloušťky stříhané součásti $s = 4$ mm určíme z diagramu na obr. 24 minimální vnější poloměr rohů $R_1 = 0,6$ mm. Protože v diagramu z obr. 24 jsou hodnoty poloměrů pouze pro součásti s mezí pevností $R_m = 400$ MPa a mez pevnosti materiálu zadané součásti je $R_m = 550$ MPa, je nutno minimální vnější poloměr součásti přepočítat v daném poměru.

$$R_{\min} = \frac{550}{400} \cdot R_1 = \frac{550}{400} \cdot 0,6 = 0,825 \text{ mm} \quad (3.1)$$

$$r_{\min} = 0,6 \cdot R_{\min} = 0,6 \cdot 0,825 = 0,495 \text{ mm} \quad (3.2)$$

kde: R_1 [mm] – minimální vnější poloměr rohů,
 $R_{\min}$ [mm] – minimální vnější poloměr rohů součásti,
 $r_{\min}$ [mm] – minimální vnitřní poloměr rohů součásti.

Zadaná součást má minimální vnější poloměr 2 mm a minimální vnitřní poloměr 4 mm, obě hodnoty jsou tedy vyšší než minimální hodnoty kontrolních výpočtů a proto zadaná součást **vyhovuje**.

3.1.2 Kontrola minimálního průměru otvoru a minimální šířky drážky

Pro zadanou součást tloušťky $s = 4$ mm určíme minimální průměr otvoru $d_{\min}$ a minimální šířku drážky $b_{\min}$ pomocí tab. 5. Tyto hodnoty jsou určeny pro materiály s mezí pevností $R_m = 400$ MPa, proto je nutné hodnoty přepočítat v daném poměru.

$$d_{\min} = \frac{550}{400} \cdot 0,7 \cdot s = \frac{550}{400} \cdot 0,7 \cdot 4 = 3,85 \text{ mm} \quad (3.3)$$

$$b_{\min} = \frac{550}{400} \cdot 0,8 \cdot s = \frac{550}{400} \cdot 0,8 \cdot 4 = 4,4 \text{ mm} \quad (3.4)$$

kde: s [mm] – tloušťka stříhaného materiálu,
 $d_{\min}$ [mm] – minimální průměr otvoru součásti,
 $b_{\min}$ [mm] – minimální šířka drážky součásti.

Zadaná součást má minimální průměr otvoru 5,3 mm, tedy větší než minimální hodnota kontrolního výpočtu. Minimální průměr otvoru na stříhané součásti tedy **vyhovuje**.

Minimální šířka drážky na součásti je 4 mm, tedy menší než minimální hodnota kontrolního výpočtu. Minimální šířka drážky na stříhané součásti tedy **nevyhovuje**. Při výpočtu byly uvažovány horší podmínky (tzn. horní hranice meze pevnosti), ve skutečnosti však může mít zadaný materiál hodnotu meze pevnosti nižší a navržená šířka 4 mm by tedy mohla vyhovovat. Navržená šířka by vyhovovala pro materiály s mezí pevnosti ≤ 500 MPa. Proto by bylo dobré spojit se se zákazníkem a dohodnout případnou konstrukční úpravu (zvětšení) drážky na 4,5 nebo 5 mm, popř. změnu materiálu (s menší mezí pevnosti).

Pro další řešení diplomové práce bude uvažována konstrukční úprava šířky drážky na 5 mm.

3.1.3 Kontrola minimální vzdálenosti mezi otvory a drážkami

Z diagramu na obr. 25 lze pro zadanou součást tloušťky $s = 4$ mm a meze pevnosti $R_m = 550$ MPa určit minimální vzdálenost mezi otvorem a drážkou, která je $W_2 = 2,5$ mm. Ze vzdálenosti W_2 se dle rovnice 2.21 určí hodnota minimální vzdálenosti mezi otvory W_1 .

$$W_1 \geq 0,85 \cdot W_2 = 0,85 \cdot 2,5 = 2,125 \text{ mm} \quad (3.5)$$

kde: W_1 [mm] – minimální vzdálenost mezi otvory,
 W_2 [mm] – minimální vzdálenost mezi otvorem a drážkou.

Minimální vzdálenost mezi otvory i mezi otvory i drážkami zadané součásti jsou větší než minimální vypočítané hodnoty. Vzdálenosti mezi otvory i otvory a drážkami **vyhovují**.

3.2 TECHNOLOGICKÉ A KONTROLNÍ VÝPOČTY

Technologické výpočty slouží k určení přesných rozměrů nástroje, k volbě vhodného stroje a určení množství polotovaru.

Kontrolní výpočty se provádějí u funkčních částí nástroje (střížníku a střížnice).

3.2.1 Velikost postranního odpadu a šířky můstku

Velikost postranního odpadu b_1 a šířky můstku b_2 lze určit z diagramu na obr. 23 nebo z tab. 4. Volím hodnoty z tab. 4, protože hodnoty z diagramu jsou určeny pro materiály s mezí pevnosti $R_m = 400$ MPa a bylo by potřeba přepočtu.

Pro materiál tloušťky $s = 4$ mm volím: $b_1 = 6$ mm
 $b_2 = 6,5$ mm

3.2.2 Tvar a rozměry tlačné hrany

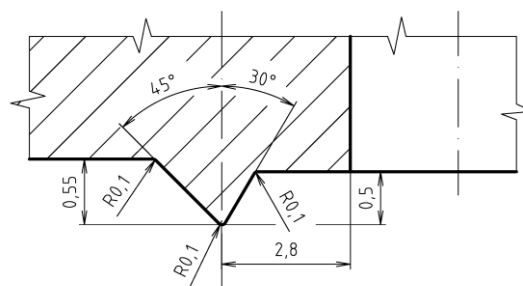
Součást bude stříhána z materiálu o tloušťce $s = 4$ mm, proto bude tlačná hrana umístěna jen na přidržovači.

Úhly budou mít dle obr. 22a hodnoty $\beta = 45^\circ$ a $\gamma = 30^\circ$.

Ostatní rozměry tlačné hrany volím dle tab. 3:

$a = 2,8 \text{ mm}$
 $h = 0,5 \text{ mm}$
 $h_1 = 0,55 \text{ mm}$
 $R = 0,1 \text{ mm}$

Na obr. 30 jsou uvedeny rozměry a tvar tlačné hrany.

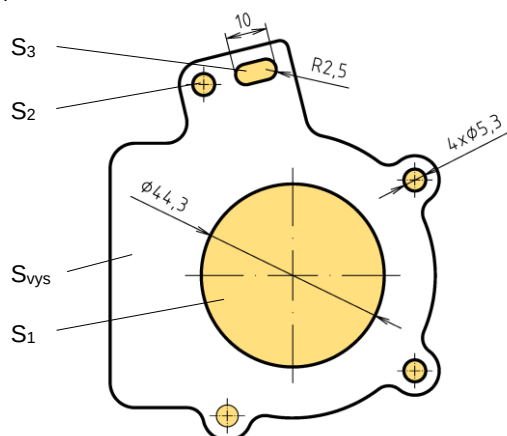


Obr. 30 Konstrukce tlačné hrany

3.2.3 Určení plochy součásti, délky křivky stříhu a délky křivky tlačné hrany

Určení plochy součásti

Plocha výstřižku S_v (obr. 31) byla určena pomocí programu Solid Edge a její hodnota je $S_v = 3927,69 \text{ mm}^2$.



Obr. 31 Plochy výstřižku

Výpočet plochy odpadu z výstřižku

Celková plocha odpadu z výstřižku je dána součtem jednotlivých ploch odpadu S_1 , S_2 , a S_3 vyznačených na obr. 31 barevně.

$$S_1 = \frac{\pi \cdot 44,3^2}{4} = 1541,336 \text{ mm}^2 \quad (3.6)$$

$$S_2 = \frac{\pi \cdot 5,3^2}{4} = 22,062 \text{ mm}^2 \quad (3.7)$$

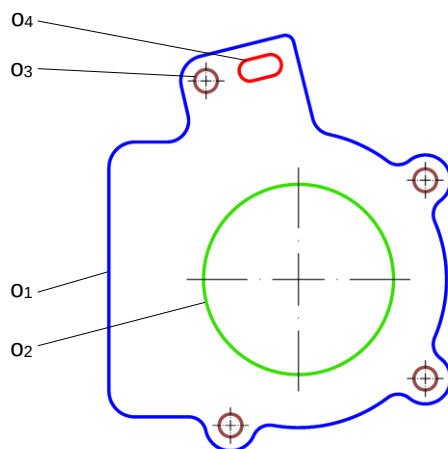
$$S_3 = \pi \cdot 2,5^2 + 5 \cdot 5 = 44,635 \text{ mm}^2 \quad (3.8)$$

$$S_c = S_1 + 4 \cdot S_2 + S_3 = 1541,336 + 4 \cdot 22,062 + 44,635 = 1674,22 \text{ mm}^2 \quad (3.9)$$

kde: S_1 [mm²] – plocha odpadu otvoru $\varnothing 44,3 \text{ mm}$,
 S_2 [mm²] – plocha odpadu otvoru $\varnothing 5,3 \text{ mm}$,
 S_3 [mm²] – plocha odpadu drážky,
 S_c [mm²] – celková plocha odpadu z výstřižku.

Výpočet celkové délky křivky stříhu

Celková délka křivky stříhu je dána součtem jednotlivých křivek stříhu o_1 , o_2 , o_3 a o_4 vyznačených barevně na obr. 32. Velikosti křivek stříhu jsou určeny pomocí programu Solid Edge.



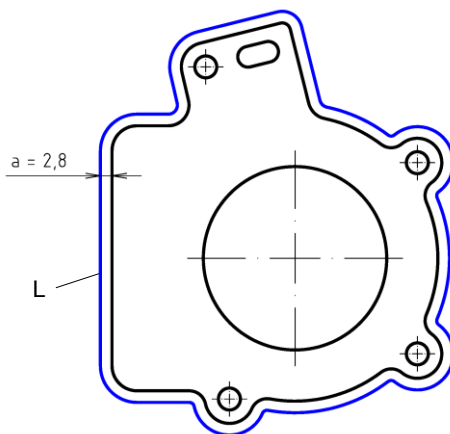
Obr. 32 Délky jednotlivých křivek stříhu

$$l = o_1 + o_2 + 4 \cdot o_3 + o_4 \quad (3.10)$$
$$l = 319,76 + 139,17 + 4 \cdot 16,65 + 25,71 = 551,24 \text{ mm}$$

kde:	o_1	[mm]	–	vnější délka křivky stříhu,
	o_2	[mm]	–	délka křivky stříhu otvoru $\varnothing 44,3$ mm,
	o_3	[mm]	–	délka křivky stříhu otvoru $\varnothing 5,3$ mm,
	o_4	[mm]	–	délka křivky stříhu drážky,
	l	[mm]	–	celková délka křivky stříhu.

Výpočet délky křivky tlačné hrany

Tlačná hrana bude kopírovat tvar zadané součásti zvětšený o hodnotu $a = 2,8$ mm (obr. 33) zvolenou z tab. 3.



Obr. 33 Křivka tlačné hrany

Délka křivky tlačné hrany L byla určena pomocí programu Solid Edge a její velikost je $L = 337,35$ mm.

3.2.4 Uspořádání výstřížků na páse

Výpočet délky pásu plechu navinutého do svitku

Výstřížek bude stříhán ze svitku plechu, který bude upnut na odvíjáku typu JO 200/3100 firmy MASTR s.r.o., který má maximální nosnost 3100 kg, minimální vnitřní průměr $d_b = 460$ mm a maximální vnější průměr $D_b = 1400$ mm. Ostatní parametry jsou uvedeny v příloze č. 1.

Výpočet délky pásu plechu vzhledem k maximální možné navinuté délce na bubnu:

$$l_p = \frac{D_b^2 - d_b^2}{4 \cdot s} \cdot \pi = \frac{1,4^2 - 0,46^2}{4 \cdot 0,004} \cdot \pi = 334,3 \text{ m} \quad (3.11)$$

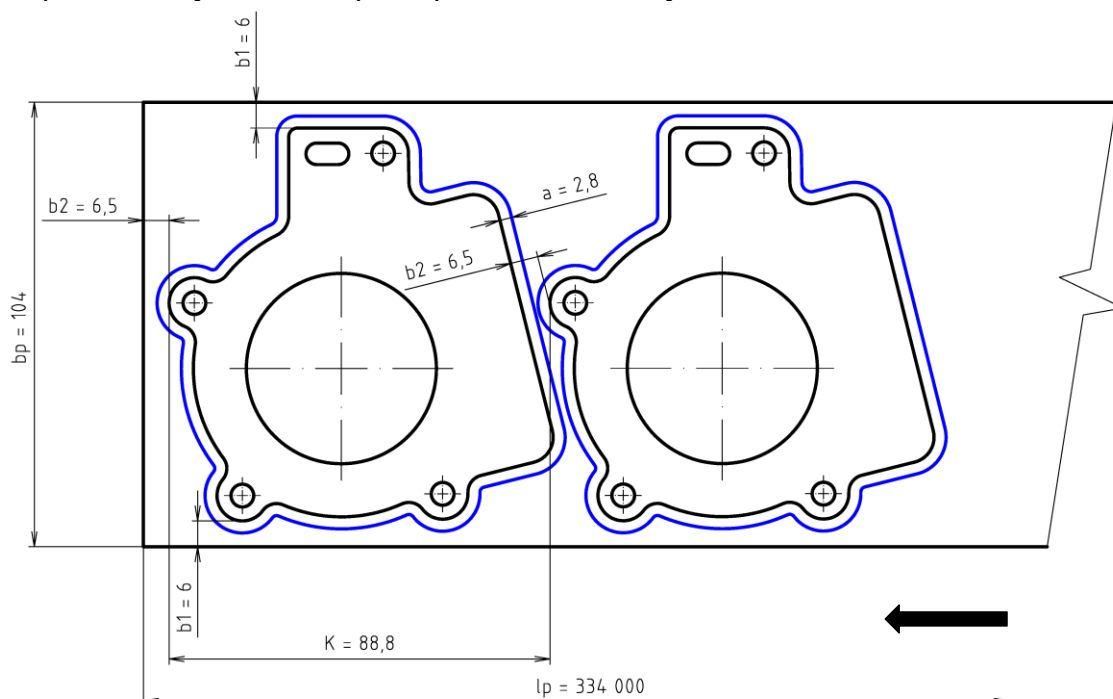
kde: D_b [mm] – maximální vnější průměr bubnu,
 d_b [mm] – minimální vnitřní průměr bubnu,
 s [mm] – tloušťka stříhaného materiálu,
 l_p [mm] – délka pásu plechu.

Dle výpočtu objednáme svitek plechu o délce 334 m.

Níže jsou uvedeny varianty uspořádání výstřížků na páse, výpočet jejich využití materiálu, následné porovnání a výběr varianty s největším využitím materiálu.

VARIANTA A

Uspořádání výstřížků na páse plechu znázorňuje obr. 34.



Obr. 34 Uspořádání výstřížků na páse – varianta A

Plocha pásu plechu:

$$S_p = l_p \cdot b_p = 334000 \cdot 104 = 34736000 \text{ mm}^2 = 34,736 \text{ m}^2 \quad (3.12)$$

kde: S_p [mm²] – plocha pásu plechu,
 l_p [mm] – délka pásu plechu,
 b_p [mm] – šířka pásu plechu.

Počet výstřížků z pásu plechu:

$$n_v = \frac{l_p - l_o - 2 \cdot b_2}{K} = \frac{334000 - 100 - 2 \cdot 6,5}{88,8} = 3759,99 = 3759 \text{ ks} \quad (3.13)$$

kde: l_p [mm] – délka pásu plechu,
 l_o [mm] – délka zaváděcího odpadu,
 n_v [ks] – počet výstřížků z plechu,
 K [mm] – délka kroku.

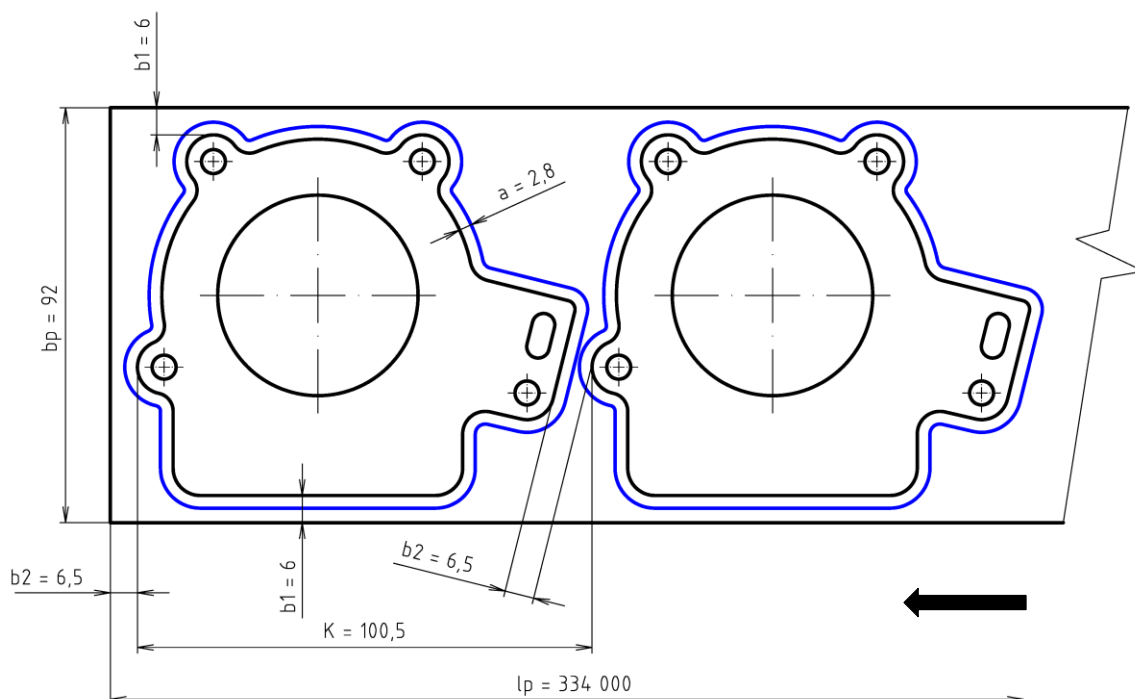
Využití materiálu:

$$k = \frac{(S_v + S_c) \cdot n_v}{S_p} \cdot 100 = \frac{(3927,69 + 1674,22) \cdot 3759}{34736000} \cdot 100 = 60,62 \% \quad (3.14)$$

kde: k [%] – využití materiálu,
 n_v [ks] – počet výstřížků z plechu,
 S_p [mm²] – plocha pásu plechu,
 S_c [mm²] – celková plocha odpadu z výstřížku (kapitola 3.2.3),
 S_v [mm²] – plocha výstřížku (kapitola 3.2.3).

VARIANTA B

Uspořádání výstřížků na pásu plechu znázorňuje obr. 35.



Obr. 35 Uspořádání výstřížků na páse – varianta B

Plocha pásu plechu:

$$S_p = l_p \cdot b_p = 334000 \cdot 92 = 30728000 \text{ mm}^2 = 30,728 \text{ m}^2 \quad (3.15)$$

Počet výstřížků z pásu plechu:

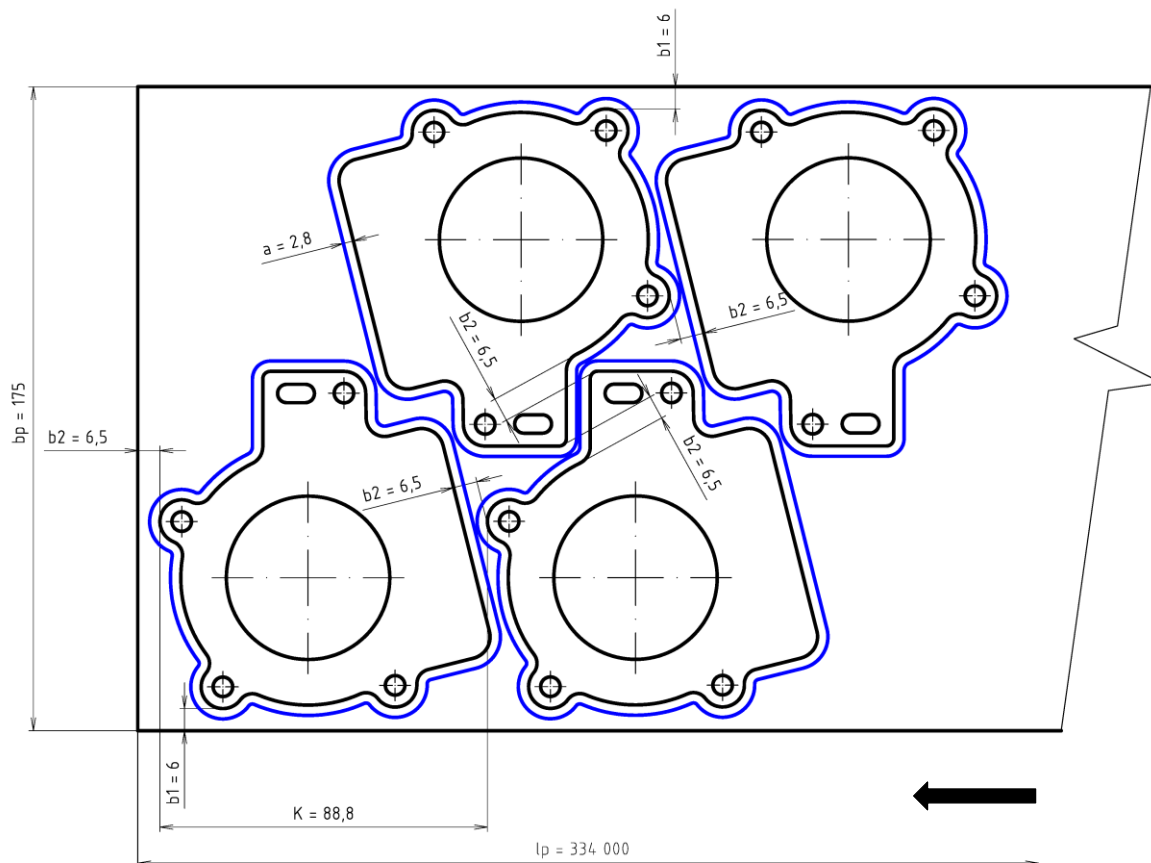
$$n_v = \frac{l_p - l_o - 2 \cdot b_2}{K} = \frac{334000 - 100 - 2 \cdot 6,5}{100,5} = 3322,26 = 3322 \text{ ks} \quad (3.16)$$

Využití materiálu:

$$k = \frac{(S_v + S_c) \cdot n_v}{S_p} \cdot 100 = \frac{(3927,69 + 1674,22) \cdot 3322}{30728000} \cdot 100 = 60,56 \% \quad (3.17)$$

VARIANTA C

Uspořádání výstřížků na pásu plechu znázorňuje obr. 36.



Obr. 36 Uspořádání výstřížků na páse – varianta C

Plocha pásu plechu:

$$S_p = l_p \cdot b_p = 334000 \cdot 175 = 58450000 \text{ mm}^2 = 58,45 \text{ m}^2 \quad (3.18)$$

Počet výstřížků z pásu plechu:

$$n_v = 2 \cdot \frac{l_p - l_o - 2 \cdot b_2}{K} - 1 \quad (3.19)$$

$$n_v = 2 \cdot \frac{334000 - 100 - 2 \cdot 6,5}{88,8} - 1 = 7518,98 = 7518 \text{ ks}$$

Využití materiálu:

$$k = \frac{(S_v + S_c) \cdot n_v}{S_p} \cdot 100 = \frac{(3927,69 + 1674,22) \cdot 7518}{58450000} \cdot 100 = 72,05 \% \quad (3.20)$$

Tab. 8 Srovnání využití plechu jednotlivých variant uspořádání výstřížků na páse

Varianta	A	B	C
Využití	60,62 %	60,56 %	72,05 %

V tab. 8 je uvedeno srovnání využití plechu jednotlivých variant uspořádání výstřížků na páse, z které je zřejmé, že variantou C, kdy jsou výstřížky umístěny ve dvou řadách, dosáhneme největšího využití materiálu. Proto je **varianta C** zvolena pro konstrukci nástroje.

Počet svitků plechu potřebných za rok (varianta C):

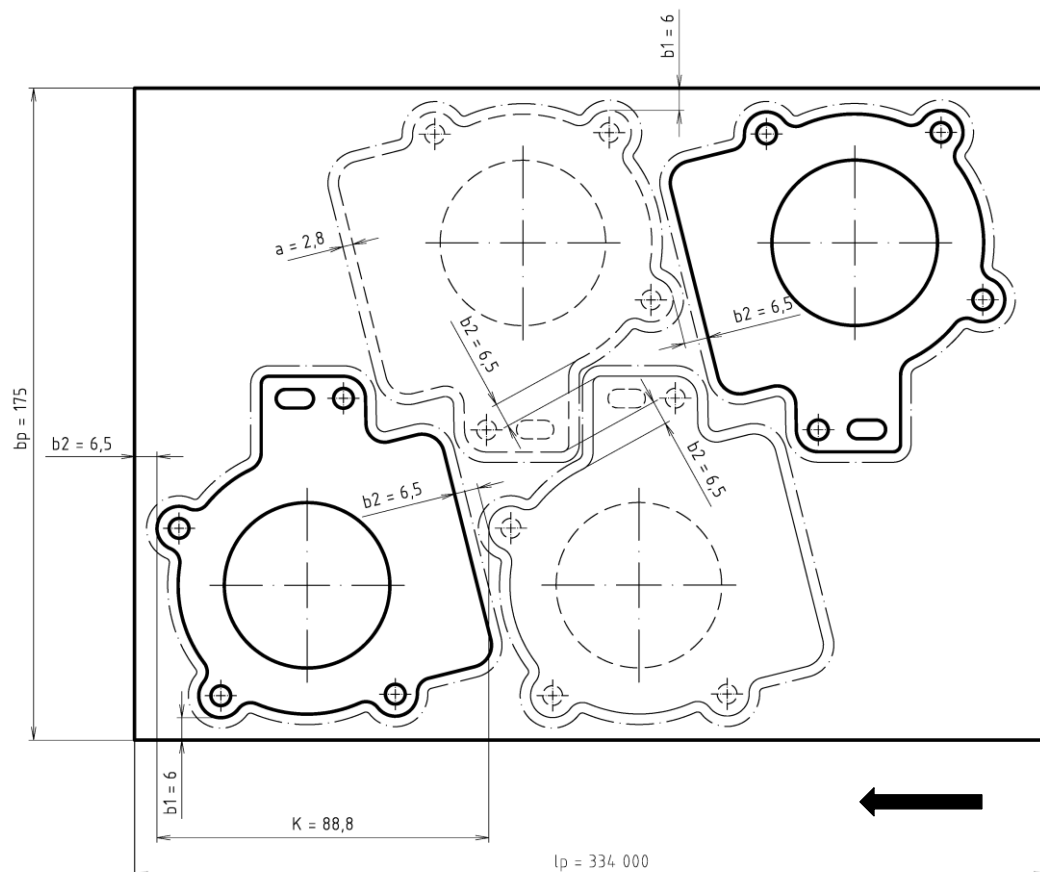
$$n_p = \frac{Q}{n_v} = \frac{800000}{7518} = 106,41 = 107 \text{ ks} \quad (3.21)$$

kde: n_p [ks] – počet svitků na roční dávku,
 n_v [ks] – počet výstřížků z plechu,
 Q [ks/rok] – roční výrobní dávka.

Dle výše uvedených výpočtů bude objednáno na roční dávku 107 svitků plechu o šířce 175 mm, délce 334 m a tloušťce 4 mm.

3.2.5 Nástřihový plán

Na základě analýzy jednotlivých variant uspořádání výstřížků na páse plechu vyšla jako nejlepší varianta C, kde budou stříhány dvě součásti najednou. Nástřihový plán pro tuto variantu je uveden na obr. 37.



Obr. 37 Nástřihový plán varianty C

3.2.6 Výpočet sil při přesném stříhání

Postup výpočtu sil při přesném stříhání je uveden v kapitole 2.2.2.

Střížná síla:

Střížná síla se vypočítá dle vzorce (2.5):

$$F_s = S \cdot n \cdot \tau_s = l \cdot s \cdot n \cdot 0,8 \cdot R_m = 551,24 \cdot 4 \cdot 1,2 \cdot 0,8 \cdot 550 = 1164,22 \text{ kN} \quad (3.22)$$

Síla přidržovače:

Síla přidržovače se vypočítá dle vzorce (2.6):

$$F_p = 4 \cdot R_m \cdot L \cdot h = 4 \cdot 550 \cdot 337,35 \cdot 0,5 = 371,09 \text{ kN} \quad (3.23)$$

Síla vyhazovače:

Síla vyhazovače se vypočítá dle vzorce (2.7 nebo 2.8):

$$F_v = 0,2 \cdot F_s = 0,2 \cdot 1164,22 = 232,84 \text{ kN} \quad (3.24)$$

Celková síla:

Celková síla se vypočítá dle vzorce (2.9):

$$F_{c1} = F_s + F_p + F_v = 1164,22 + 371,09 + 232,84 = 1768,15 \text{ kN} \quad (3.25)$$

Jelikož budou na jeden zdvih vystřiženy dvě součásti, je nutno uvažovat dvojnásobnou celkovou sílu:

$$F_c = 2 \cdot F_{c1} = 2 \cdot 1768,15 = 3536,3 \text{ kN} \quad (3.26)$$

3.2.7 Výpočet prací při přesném stříhání

Postup výpočtu prací při přesném stříhání je uveden v kapitole 2.2.3.

Střižná práce:

Střižná práce se vypočítá dle vzorce (2.10):

$$A_s = \frac{0,48 \cdot l \cdot R_m \cdot s^2}{1000} = \frac{0,48 \cdot 551,24 \cdot 550 \cdot 4^2}{1000} = 2328,44 \text{ J} \quad (3.27)$$

Práce přidržovače:

Práce přidržovače se vypočítá dle vzorce (2.11):

$$A_p = \frac{2 \cdot R_m \cdot L \cdot h^2}{1000} = \frac{2 \cdot 550 \cdot 337,35 \cdot 0,5^2}{1000} = 92,77 \text{ J} \quad (3.28)$$

Práce vyhazovače:

Práce vyhazovače se vypočítá dle vzorce (2.12)

$$A_v = \frac{S_v \cdot p \cdot s}{1000} = \frac{3927,69 \cdot 50 \cdot 4}{1000} = 785,54 \text{ J} \quad (3.29)$$

Celková střižná práce:

Celková střižná práce se vypočítá dle vzorce (2.13):

$$A_{c1} = A_s + A_p + A_v = 2328,44 + 92,77 + 785,54 = 3206,75 \text{ J} \quad (3.30)$$

Jelikož budou na jeden zdvih vystřiženy dvě součásti, je nutno uvažovat dvojnásobnou celkovou střižnou práci:

$$A_c = 2 \cdot A_{c1} = 2 \cdot 3206,75 = 6413,5 \text{ J} \quad (3.31)$$

3.2.8 Výpočet střížné vůle a střížné mezery

Postup výpočtu střížné vůle a střížné mezery je uveden v kapitole 2.2.4.

Střížná mezera se vypočítá dle vzorce (2.16) pro danou tloušťku stříhaného materiálu $s = 4$ mm:

$$z = (1,5 \cdot c \cdot s - 0,0015) \cdot 0,32 \cdot \sqrt{\tau_s} = (1,5 \cdot c \cdot s - 0,0015) \cdot 0,32 \cdot \sqrt{0,8 \cdot R_m} \quad (3.32)$$

$$z = (1,5 \cdot 7 \cdot 10^{-4} \cdot 4 - 0,0015) \cdot 0,32 \cdot \sqrt{0,8 \cdot 550} = 0,018 \text{ mm}$$

Střížná vůle se vypočítá dle vzorce (2.14):

$$v = 2 \cdot z = 2 \cdot 0,018 = 0,036 \text{ mm} \quad (3.33)$$

3.2.9 Kontrolní výpočty funkčních částí nástroje [16,19,30]

Kontrolní výpočty budou provedeny u střížníku s nejmenším průřezem, tedy pro děrovací střížník $\varnothing 5,3$ mm, kde se předpokládá největší namáhání na tlak a vzpěr.

Kontrola střížníku na namáhání v tlaku [16,30]:

$$\sigma = \frac{F_{s1}}{S_s} = \frac{n \cdot \pi \cdot d_1 \cdot s \cdot 0,8 \cdot R_m}{\frac{\pi \cdot d_1^2}{4}} = \frac{1,2 \cdot \pi \cdot 5,3 \cdot 4 \cdot 0,8 \cdot 550}{\frac{\pi \cdot 5,3^2}{4}} = 1593,96 \text{ MPa} \quad (3.34)$$

kde:	F_{s1}	[N]	–	střížná síla kontrolovaného otvoru $\varnothing 5,3$ mm,
	S_s	[mm ²]	–	plocha otvoru $\varnothing 5,3$ mm,
	s	[mm]	–	tloušťka stříhaného materiálu,
	d_1	[mm]	–	průměr střížníku,
	R_m	[MPa]	–	mez pevnosti v tahu,
	n	[-]	–	koefficient vlivu vnějších podmínek ($n = 1,2$).

Vypočítané tlakové napětí $\sigma = 1593,96$ MPa je menší než dovolené tlakové napětí, které může být maximálně $\sigma_d = 1600$ až 2000 MPa. Střížník z hlediska namáhání tlakem **vyhovuje**.

Kontrola střížníku na otláčení [30]:

$$\sigma = \frac{F_{s1}}{S_o} = \frac{n \cdot \pi \cdot d_1 \cdot s \cdot 0,8 \cdot R_m}{\frac{\pi \cdot d_2^2}{4}} = \frac{1,2 \cdot \pi \cdot 5,3 \cdot 4 \cdot 0,8 \cdot 550}{\frac{\pi \cdot 6,5^2}{4}} = 1059,75 \text{ MPa} \quad (3.35)$$

kde:	S_o	[mm ²]	–	plocha průměru osazení,
	d_2	[mm]	–	průměr dosedací hlavy střížníku.

Vypočítané tlakové napětí $\sigma = 1059,75$ MPa je větší než dovolené tlakové napětí $\sigma_d = 180$ MPa, střížník v kontrole na otláčení tedy **nevyhovuje**. Je nutné použít v upínací hlavici kalenou opěrnou desku, aby nedocházelo k otláčování plochy.

Kontrola střížníku na vzpěr (pro střížník vedený ve vodící desce) [16]:

$$l_{\text{krit}} = \sqrt{\frac{4 \cdot \pi^2 \cdot E \cdot I}{k_b \cdot F_{s1}}} = \sqrt{\frac{4 \cdot \pi^2 \cdot E \cdot \frac{\pi \cdot d_1^4}{64}}{k_b \cdot F_{s1}}} \quad (3.36)$$

$$l_{\text{krit}} = \sqrt{\frac{4 \cdot \pi^2 \cdot 2,1 \cdot 10^5 \cdot \frac{\pi \cdot 5,3^4}{64}}{1,5 \cdot 1,2 \cdot \pi \cdot 5,3 \cdot 4 \cdot 0,8 \cdot 550}} = 78,02 \text{ mm}$$

kde: F_{s1} [N] – střížná síla kontrolovaného otvoru Ø 5,3 mm,
 E [MPa] – modul pružnosti v tahu ($2,1 \cdot 10^5$),
 l_{krit} [mm] – kritická délka střížníku,
 I [mm⁴] – moment setrvačnosti průřezu,
 k_b [-] – koeficient bezpečnosti (1,5 až 2).

Délka střížníku by neměla přesáhnout 78,02 mm.

Stanovení minimální výšky střížnice [19]:

$$h_{\text{min}} = \sqrt[3]{0,1 \cdot F_s} = \sqrt[3]{0,1 \cdot 1164220} = 48,83 \text{ mm} \quad (3.37)$$

kde: F_s [N] – střížná síla,
 h_{min} [mm] – minimální výška střížnice.

Minimální výška střížnice pro stříhání dvou výstřížků najednou je 48,83 mm.

3.2.10 Určení rozměrů a tolerancí střížníků a střížnice

Rozměry a tolerance střížníků a střížnice se stanoví dle ČSN 22 6015.

DĚROVÁNÍ ROZMĚRU Ø 5,3±0,1 mm

JR [mm]	TS [mm]	P [mm]	TE [mm]	TA [mm]	v [mm]
5,3	± 0,1	0,09	0,032	0,023	0,036

$$\text{RAD} = \left(\text{JR} + \frac{P}{2} \right)_{-TA}^0 = \left(5,3 + \frac{0,09}{2} \right)_{-0,023}^0 = 5,345_{-0,023}^0 \text{ mm} \quad (3.38)$$

$$\text{RED} = (\text{RAD} + v - \text{TE})_0^{+TE} \quad (3.39)$$

$$\text{RED} = (5,345 + 0,036 - 0,032)_0^{+0,032} = 5,349_0^{+0,032} \text{ mm}$$

kde: JR [mm] – jmenovitý rozměr součásti,
TS [mm] – tolerance jmenovitého rozměru,
P [mm] – přípustná míra opotřebení,
TE [mm] – výrobní tolerance střížnice,
TA [mm] – výrobní tolerance střížníku,

v	[mm]	–	střížná vůle,
RAD	[mm]	–	rozměry střížníku při děrování,
RED	[mm]	–	rozměry střížnice při děrování.

DĚROVÁNÍ ROZMĚRU Ø 44,3±0,05 mm

JR [mm]	TS [mm]	P [mm]	TE [mm]	TA [mm]	v [mm]
44,3	± 0,05	0,045	0,016	0,011	0,036

$$RAD = \left(JR + \frac{P}{2} \right)_{-TA}^0 = \left(44,3 + \frac{0,045}{2} \right)_{-0,011}^0 = 44,323_{-0,011}^0 \text{ mm} \quad (3.40)$$

$$RED = (RAD + v - TE)_0^{+TE} \quad (3.41)$$

$$RED = (44,323 + 0,036 - 0,016)_0^{+0,016} = 44,343_0^{+0,016} \text{ mm}$$

DĚROVÁNÍ ROZMĚRU 5±0,2 mm

JR [mm]	TS [mm]	P [mm]	TE [mm]	TA [mm]	v [mm]
5	± 0,2	0,160	0,054	0,035	0,036

$$RAD = \left(JR + \frac{P}{2} \right)_{-TA}^0 = \left(5 + \frac{0,160}{2} \right)_{-0,035}^0 = 5,08_{-0,035}^0 \text{ mm} \quad (3.42)$$

$$RED = (RAD + v - TE)_0^{+TE} \quad (3.43)$$

$$RED = (5,08 + 0,036 - 0,054)_0^{+0,054} = 5,062_0^{+0,054} \text{ mm}$$

DĚROVÁNÍ ROZMĚRU 10±0,2 mm

JR [mm]	TS [mm]	P [mm]	TE [mm]	TA [mm]	v [mm]
10	± 0,2	0,160	0,054	0,035	0,036

$$RAD = \left(JR + \frac{P}{2} \right)_{-TA}^0 = \left(10 + \frac{0,160}{2} \right)_{-0,035}^0 = 10,08_{-0,035}^0 \text{ mm} \quad (3.44)$$

$$RED = (RAD + v - TE)_0^{+TE} \quad (3.45)$$

$$RED = (10,08 + 0,036 - 0,054)_0^{+0,054} = 10,062_0^{+0,054} \text{ mm}$$

VYSTŘIHOVÁNÍ ROZMĚRU R2±0,2 mm

JR [mm]	TS [mm]	P [mm]	TE [mm]	TA [mm]	v [mm]
2	± 0,2	0,160	0,054	0,035	0,036

$$REV = \left(JR - \frac{P}{2} \right)_0^{+TE} = \left(2 - \frac{0,160}{2} \right)_0^{+0,054} = 1,92_0^{+0,054} \text{ mm} \quad (3.46)$$

$$RAV = (REV - v + TA)_{-TA}^0 \quad (3.47)$$

$$RAV = (1,92 - 0,036 + 0,035)_{-0,035}^0 = 1,919_{-0,035}^0 \text{ mm}$$

kde: RAV [mm] – rozměry střížníku při vystřihování,
REV [mm] – rozměry střížnice při vystřihování.

VYSTŘIHOVÁNÍ ROZMĚRU R4±0,2 mm

JR [mm]	TS [mm]	P [mm]	TE [mm]	TA [mm]	v [mm]
4	± 0,2	0,160	0,054	0,035	0,036

$$REV = \left(JR + \frac{P}{2} \right)_{-TE}^0 = \left(4 + \frac{0,160}{2} \right)_{-0,054}^0 = 4,08_{-0,054}^0 \text{ mm} \quad (3.48)$$

$$RAV = (REV + v - TA)_0^{+TA} \quad (3.49)$$

$$RAV = (4,08 + 0,036 - 0,035)_0^{+0,035} = 4,081_0^{+0,035} \text{ mm}$$

VYSTŘIHOVÁNÍ ROZMĚRU R5±0,2 mm

JR [mm]	TS [mm]	P [mm]	TE [mm]	TA [mm]	v [mm]
5	± 0,2	0,160	0,054	0,035	0,036

$$REV = \left(JR + \frac{P}{2} \right)_{-TE}^0 = \left(5 + \frac{0,160}{2} \right)_{-0,054}^0 = 5,08_{-0,054}^0 \text{ mm} \quad (3.50)$$

$$RAV = (REV + v - TA)_0^{+TA} \quad (3.51)$$

$$RAV = (5,08 + 0,036 - 0,035)_0^{+0,035} = 5,081_0^{+0,035} \text{ mm}$$

VYSTŘIHOVÁNÍ ROZMĚRU R5,9±0,2 mm

JR [mm]	TS [mm]	P [mm]	TE [mm]	TA [mm]	v [mm]
5,9	± 0,2	0,160	0,054	0,035	0,036

$$REV = \left(JR - \frac{P}{2} \right)_0^{+TE} = \left(5,9 - \frac{0,160}{2} \right)_0^{+0,054} = 5,82_0^{+0,054} \text{ mm} \quad (3.52)$$

$$RAV = (REV - v + TA)_{-TA}^0 \quad (3.53)$$

$$RAV = (5,82 - 0,036 + 0,035)_{-0,035}^0 = 5,819_{-0,035}^0 \text{ mm}$$

VYSTŘIHOVÁNÍ ROZMĚRU R6±0,2 mm

JR [mm]	TS [mm]	P [mm]	TE [mm]	TA [mm]	v [mm]
6	± 0,2	0,160	0,054	0,035	0,036

$$REV = \left(JR - \frac{P}{2} \right)_0^{+TE} = \left(6 - \frac{0,160}{2} \right)_0^{+0,054} = 5,92_0^{+0,054} \text{ mm} \quad (3.54)$$

$$RAV = (REV - v + TA)_{-TA}^0 \quad (3.55)$$

$$RAV = (5,92 - 0,036 + 0,035)_{-0,035}^0 = 5,919_{-0,035}^0 \text{ mm}$$

VYSTŘIHOVÁNÍ ROZMĚRU R34,5±0,2 mm

JR [mm]	TS [mm]	P [mm]	TE [mm]	TA [mm]	v [mm]
34,5	± 0,2	0,160	0,054	0,035	0,036

$$REV = \left(JR - \frac{P}{2} \right)_0^{+TE} = \left(34,5 - \frac{0,160}{2} \right)_0^{+0,054} = 34,42_0^{+0,054} \text{ mm} \quad (3.56)$$

$$RAV = (REV - v + TA)_{-TA}^0 \quad (3.57)$$

$$RAV = (34,42 - 0,036 + 0,035)_{-0,035}^0 = 34,419_{-0,035}^0 \text{ mm}$$

VYSTŘIHOVÁNÍ ROZMĚRU 44,2±0,2 mm

JR [mm]	TS [mm]	P [mm]	TE [mm]	TA [mm]	v [mm]
44,2	± 0,2	0,160	0,054	0,035	0,036

$$REV = \left(JR - \frac{P}{2} \right)_0^{+TE} = \left(44,2 - \frac{0,160}{2} \right)_0^{+0,054} = 44,12_0^{+0,054} \text{ mm} \quad (3.58)$$

$$RAV = (REV - v + TA)_{-TA}^0 \quad (3.59)$$

$$RAV = (44,12 - 0,036 + 0,035)_{-0,035}^0 = 44,119_{-0,035}^0 \text{ mm}$$

VYSTŘIHOVÁNÍ ROZMĚRU 64±0,2 mm

JR [mm]	TS [mm]	P [mm]	TE [mm]	TA [mm]	v [mm]
64	± 0,2	0,160	0,054	0,035	0,036

$$REV = \left(JR - \frac{P}{2} \right)_0^{+TE} = \left(64 - \frac{0,160}{2} \right)_0^{+0,054} = 63,92_0^{+0,054} \text{ mm} \quad (3.60)$$

$$RAV = (REV - v + TA)_{-TA}^0 \quad (3.61)$$

$$RAV = (63,92 - 0,036 + 0,035)_{-0,035}^0 = 63,919_{-0,035}^0 \text{ mm}$$

3.3 NÁVRH LISU [33]

Pro výrobu součástí technologií přesného stříhání ve velkosériové výrobě se většinou volí trojčinné hydraulické lisy (tzn. pohyb beranu, přidržovače a vyhazovače probíhá nezávisle ne sobě). Při výběru konkrétního lisu se vychází z celkové síly, která je dána součtem síly střížné, přidržovače a vyhazovače. Při trvalém chodu nesmí být lis zatížen silou větší než 90% dovoleného zatížení stroje.

Pro výrobu součástí byl zvolen na základě vypočtené celkové síly (kapitola 3.2.4) $F_c = 3536,3 \text{ kN}$ trojčinný hydraulický lis HFA 4500 plus od firmy Feintool (obr. 38), která je jedním z největších výrobců lisů pro přesné stříhání.



Obr. 38 Hydraulický lis HFA 4500 plus [33]

V tab. 9 jsou uvedeny některé technické parametry lisu HFA 4500 plus, další parametry jsou uvedeny v příloze č. 2.

Tab. 9 Technické parametry lisu [33]

TECHNICKÉ PARAMETRY	HFA 4500 plus
Celková síla [kN]	3000 – 4500
Síla přidržovače [kN]	200 – 2000
Síla vyhazovače [kN]	100 – 1000
Zdvih beranu [mm]	150 / 230
Počet zdvihů [n/min]	80
Šířka pásu [mm]	40 – 350
Tloušťka materiálu [mm]	16
Celkový příkon [kW]	118 / 135
Hmotnost [kg]	33 000

3.4 VÝROBNÍ LINKA [33,34]

Zvolený lis HFA 4500 plus bude zařazen do výrobní linky s dalšími vhodnými zařízeními, jako jsou odvíjecí zařízení, rovnačka a navíjecí zařízení.

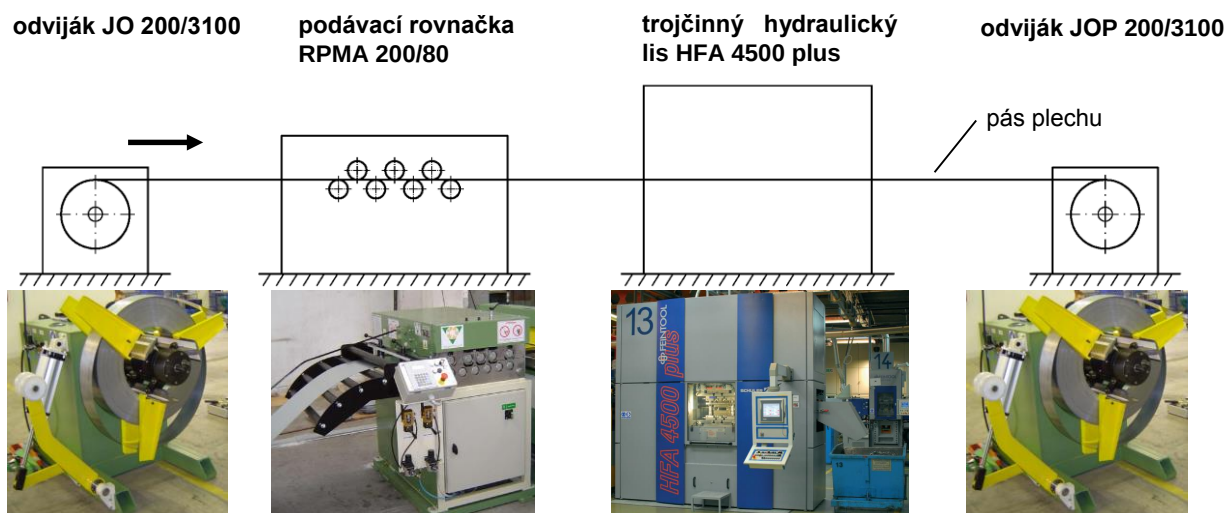
Odvíjecí zařízení slouží k odvíjení pásu plechu ze svitku během procesu stříhání. Byl zvolen odvíják typu JO 200/3100 od výrobce MASTR s.r.o., který není opatřen pohonem, proto je nutné za zvolený odvíják zařadit rovnačku pásu plechu. Technické parametry odvíjáku jsou uvedeny v příloze č. 1.

Rovnačky slouží k rovnání pásu plechu ze svitku před jeho přivedením do střížného nástroje upnutého v lisu. Byla zvolena podávací rovnačka RPMA 200/80 od stejného výrobce, jako odvíjecí zařízení. Technické parametry rovnačky jsou uvedeny v příloze č. 3.

Lis byl zvolen v předchozí kapitole 3.4 a to trojčinný hydraulický lis HFA 4500 plus od firmy Feintool.

Navíjecí zařízení slouží k navinutí pásu plechu vycházejícího z nástroje. Lze použít stejné zařízení jako na odvíjení pásu plechu, tedy odvíják ale řady JOP 200/3100, který je opatřený pohonem.

Na obr. 39 je zobrazeno schéma výrobní linky s příklady zvolených zařízení.



Obr. 39 Schéma výrobní linky [33,34]

3.5 POPIS STŘIŽNÉHO NÁSTROJE

Dle rozměrů součásti a tloušťky stříhaného materiálu byla zvolena konstrukce střížného nástroje s pohyblivým střížníkem a pevným přidržovačem. Konstrukce nástroje je přizpůsobena lisu HFA 4500 plus od firmy Feintool. Na jeden pracovní zdvih je provedeno vystřížení tvarového obvodu i vnitřních otvorů dvou součástí zároveň. Nástroj se skládá z horní a dolní části, které jsou vůči sobě vymezeny čtyřmi vodícími sloupky (33).

Spodní část nástroje tvoří základová deska (1), ve které jsou našroubovány 4 úchytné čepy (27), sloužící k přesunu nástroje. Do základové desky je zalisován přidržovač (4), který je zajištěn dvěma válcovými kolíky (51) proti pootočení a šesti šrouby (40) zabraňujícími vysunutí přidržovače ze základové desky. V přidržovači jsou suvně uloženy dva tvarové střížníky (5), každý je ustaven v podložce střížníku (19) dvěma válcovými kolíky a sešroubován s podporou střížníku (21) třemi šrouby (46). Ve tvarovém střížníku jsou suvně uloženy vyhazovače (10,11,12), jež jsou ukotveny pomocí podložky střížníku, která se z druhé strany opírá o opěrnou desku spodní (20). Pohyb vyhazovačů zajišťuje šest tlačných kolíků (23), působících na opěrnou desku spodní. Střížná síla se přenáší přes podporu střížníku, která je připevněna k beranu lisu pomocí šroubu M14, až na tvarový střížník. Podložka střížníku, opěrná deska spodní a podložka střížníku jsou sešroubovány v jeden celek pomocí dvou šroubů (44). Vše je zabezpečeno proti vysunutí ze základové desky šroubem (42) a podložkou (26).

Horní část nástroje je nasazena na čtyři vodící sloupky (35) a jejich vzájemné přesné ustavení je zajištěno přes kuličkové klece (36) se zápichem pro pojistný

kroužek (37), které jsou umístěny v kuličkových vodících pouzdrech s přírubou (34). Pouzdra jsou uložena v upínací desce (2), opatřené čtyřmi úchytnými čepy (27), jako základová deska. Do upínací desky je usazena střížnice (3), zajištěna dvěma válcovými kolíky (51) a upevněna šesti šrouby (40) k upínací desce. Ve střížnici jsou suvně uloženy dva tvarové vyhazovače (6). Polohu každého vyhazovače zajišťují dva válcové kolíky (50) a tři šrouby (39) upevněné v podložce vyhazovače (14). Ve vyhazovači jsou suvně uloženy děrovací střížníky (7,8,9) ukotvené v kotevní desce (15), jejíž horní část se opírá o opěrnou desku horní (16) a spodní část o vodící desku (13). Ve vyhazovači je zabudován odlepovací kolík (25), jehož pohyb obstarává pružina (24) a jsou zajištěny šroubem (47). Odlepovací kolík slouží k odlepování výstřížku z vyhazovače. Správné vedení vyhazovače je zajištěno vodící deskou, která je pomocí dvou válcových kolíků (48) ustavena vůči střížnici. Vyhazovač je ovládán pěti vyhazovacími kolíky (22), které přenáší vyhazovací sílu z vyhazovacího kroužku (17). Střížnice, vodící, kotevní a opěrná horní deska jsou sešroubovány v jeden celek pomocí dvou šroubů (41). Vše je zakryto víčkem (18), které je zajištěno proti pootočení válcovým kolíkem (49) a proti vysunutí z upínací desky podložkou (26) a šroubem (42). Vedení a polohu pásu zajišťuje vedení (30) a držák (29) pásu, přišroubovaný k horní části nástroje čtyřmi šrouby (43) v pouzdrech (28).

Hotové výstřížky jsou z pracovního prostoru odstraňovány pomocí stlačeného vzduchu z trysek.

4 TECHNICKO-EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ

Ekonomické zhodnocení bude provedeno pro výrobu součásti kryt senzoru nově navrženou technologií přesného stříhání s tlačnou hranou. Cílem ekonomického zhodnocení je stanovení tzv. bodu zvratu, který nám pomůže stanovit počet vyrobených kusů, od kterých bude výroba zisková.

Při výpočtech jsou do nákladů zahrnuty pouze ceny nástrojů a ceny spotřebovaného materiálu, náklady na výrobní linku (lis, odvíjecí a navíjecí zařízení, podávací rovnačka) nejsou zahrnuty a jsou uvažovány, jako stávající zařízení firmy.

Tab. 10 Vstupní hodnoty

Životnost nástroje	$T_S = 3$ roky
Roční výrobní dávka	$Q = 800\,000$ ks/rok
Jednicové mzdy	$J_M = 100$ %
Výrobní režie	$V_R = 440$ %
Správní režie	$S_R = 120$ %
Ostatní přímé náklady	$OPN = 20$ %

Zpracovatelská režie:

$$Z_R = J_M + V_R + S_R + OPN = 100 + 440 + 120 + 20 = 680 \text{ %} \quad (4.1)$$

kde: Z_R [%] – zpracovatelská režie,
 J_M [%] – jednicové mzdy,
 V_R [%] – výrobní režie,
 S_R [%] – správní režie,
 OPN [%] – ostatní přímé náklady.

Tarifní třídy: TTK6 = 110 Kč/h (obsluha linky)

4.1 PŘÍMÉ NÁKLADY

4.1.1 Náklady na materiál

Náklady na materiál vycházejí z množství a ceny používaného materiálu (ocel S355MC) tloušťky 4 mm. Nákupní cena za 1 kg svitku oceli S355MC byla zjištěna přepočtem z cenové nabídky německé společnosti Salzgitter Mannesmann Stahlservice na 23,5 Kč vč. DPH a dopravy. Cena za 1kg odpadu dle ceníku společnosti Kovokom šrot je 3,7 Kč.

Tab. 10 Vstupní hodnoty

Materiál (polotovár)	S355MC (4x175x344000)
Nákupní cena za 1 kg materiálu	$c_p = 23,5$ Kč/kg
Prodejní cena za 1 kg odpadu	$c_o = 3,7$ Kč/kg
Využití jednoho svitku	$k = 72,05$ %
Plocha jednoho svitku	$S_p = 58450000$ mm ²
Plocha jednoho výstřížku	$S_v = 3927,69$ mm ²
Počet výstřížků z jednoho svitku	$n_v = 7518$ ks

Hmotnost svitku:

$$m_s = \rho \cdot S_p \cdot s = 7850 \cdot 58,45 \cdot 0,004 = 1835,33 \text{ kg} \quad (4.2)$$

kde:	m_s	[kg]	–	hmotnost svitku,
	ρ	[kg·m ⁻³]	–	hustota materiálu (ocel S355MC),
	S_p	[m ²]	–	plocha pásu plechu,
	s	[m]	–	tloušťka stříhaného materiálu.

Hmotnost spotřebovaného plechu za rok:

$$m_p = m_s \cdot n_p = 1835,33 \cdot 107 = 196380,31 \text{ kg} \quad (4.3)$$

kde:	m_p	[kg]	–	hmotnost spotřebovaného plechu za rok,
	n_p	[m ²]	–	počet svitků na roční dávku (určen v kap. 3.2.7).

Hmotnost výstřížků v roční dávce:

$$m_v = \rho \cdot S_v \cdot s \cdot Q = 7850 \cdot 0,00392769 \cdot 0,004 \cdot 800000 = 98663,57 \text{ kg} \quad (4.4)$$

kde:	m_v	[kg]	–	hmotnost výstřížků v roční dávce,
	S_v	[m ²]	–	plocha výstřížku,
	Q	[ks]	–	roční výrobní dávka.

Hmotnost odpadu za rok:

$$m_o = m_p - m_v = 196380,31 - 98663,57 = 97716,74 \text{ kg} \quad (4.5)$$

kde:	m_o	[kg]	–	hmotnost odpadu za rok.
------	-------	------	---	-------------------------

Nákupní cena materiálu na sérii:

$$C_p = m_p \cdot c_p = 196380,31 \cdot 23,5 = 4614937,29 \text{ Kč} \quad (4.6)$$

kde:	C_p	[Kč]	–	nákupní cena materiálu na sérii,
	c_p	[Kč/kg]	–	nákupní cena za 1 kg materiálu.

Prodejní cena odpadu na sérii:

$$C_o = m_o \cdot c_o = 97716,74 \cdot 3,7 = 361551,94 \text{ Kč} \quad (4.7)$$

kde:	C_o	[Kč]	–	prodejní cena odpadu na sérii,
	c_o	[Kč/kg]	–	prodejní cena za 1 kg odpadu.

Cena materiálu série:

$$N_m = C_p - C_o = 4614937,29 - 361551,94 = 4253385,35 \text{ Kč} \quad (4.8)$$

kde:	N_m	[Kč]	–	cena materiálu série.
------	-------	------	---	-----------------------

Cena materiálu jedné součásti:

$$N_{mj} = \frac{N_m}{Q} = \frac{4253385,35}{800000} = 5,32 \text{ Kč} \quad (4.9)$$

kde: N_{mj} [Kč] – cena materiálu jedné součásti,
 N_m [Kč] – cena materiálu série,
 Q [ks] – roční výrobní dávka.

4.1.2 Náklady na mzdy

Náklady na mzdy jsou stanoveny pro jednoho pracovníka, který bude obsluhovat výrobní linku navrženou v kapitole 3.5. Délka pracovní doby je 7,5 hodin a její rozdělení je uvedeno v tab. 11.

Tab. 11 Rozdělení pracovní doby

Výrobní čas	$t_v = 6,5 \text{ h}$
Kontrolní čas	$t_k = 0,5 \text{ h}$
Čas na údržbu	$t_u = 0,5 \text{ h}$

Počet součástí vyrobených za hodinu:

$$n_h = 60 \cdot n_L \cdot 2 = 60 \cdot 80 \cdot 2 = 9600 \text{ ks/h} \quad (4.10)$$

kde: n_h [ks/h] – počet součástí vyrobených za hodinu,
 n_L [n/min] – počet zdvihů lisu dle tab. 9 ($n_L = 80 \text{ n/min}$).

Počet součástí vyrobených za směnu:

$$n_{ssm} = t_v \cdot n_h = 6,5 \cdot 9600 = 62400 \text{ ks/směnu} \quad (4.11)$$

kde: n_{ssm} [ks/směnu] – počet součástí vyrobených za směnu,
 t_v [h] – výrobní čas.

Počet směn potřebných k vyrobení série:

$$n_{sm} = \frac{Q}{n_{ssm}} = \frac{800000}{62400} = 12,82 = 13 \text{ směn} \quad (4.12)$$

kde: n_{sm} [směn] – počet směn potřebných k vyrobení série.

K vyrobení 800 000 ks je potřeba 13 směn.

Počet hodin potřebných k vyrobení série:

$$n_H = (t_v + t_k + t_u) \cdot n_{sm} = (6,5 + 0,5 + 0,5) \cdot 13 = 97,5 \text{ h} \quad (4.13)$$

kde: n_H [h] – počet hodin potřebných k vyrobení série,
 t_k [h] – kontrolní čas,
 t_u [h] – čas na údržbu.

Přímé náklady na mzdy:

$$N_{pm} = n_H \cdot TTK6 = 97,5 \cdot 110 = 10725 \text{ Kč} \quad (4.14)$$

kde: N_{pm} [Kč] – přímé náklady na mzdy,
 n_H [h] – počet hodin potřebných k vyrobení série,
 $TTK6$ [Kč/h] – tarifní třída – obsluha linky ($TTK6 = 110 \text{ Kč/h}$).

Náklady na sociální a zdravotní pojištění:

Sociální a zdravotní pojištění je hrazeno zaměstnavatelem a to ve výši sociálního pojištění 25 % a zdravotního pojištění 9 %.

$$P_{SZ} = 0,25 + 0,09 = 0,34 \quad (4.15)$$

kde: P_{SZ} [-] – sociální a zdravotní pojištění.

$$N_{SZ} = N_{pm} \cdot P_{SZ} = 10725 \cdot 0,34 = 3646,5 \text{ Kč} \quad (4.16)$$

kde: N_{SZ} [Kč] – náklady na sociální a zdravotní pojištění.

Celkové náklady na mzdy:

$$N_{cm} = N_{pm} + N_{SZ} = 10725 + 3646,5 = 14371,5 \text{ Kč} \quad (4.17)$$

kde: N_{cm} [Kč] – celkové náklady na mzdy.

Náklady na mzdy k výrobě jedné součásti:

$$N_{cmj} = \frac{N_{cm}}{Q} = \frac{14371,5}{800000} = 0,0179 \text{ Kč} \quad (4.18)$$

kde: N_{cmj} [Kč] – náklady na mzdy k výrobě jedné součásti.

4.1.3 Náklady na energii

Náklady na energii jsou stanoveny z celkového příkonu použitých strojů. Náklady na el. energii ostatních zařízení, osvětlení, vytápění, atd. jsou zahrnuty v režijních nákladech.

Celkový příkon strojů výrobní linky:

$$P_C = P_{O1} + P_{PR} + P_L + P_{O2} = 0 + 3,1 + 118 + 0,55 = 121,65 \text{ kW} \quad (4.19)$$

kde: P_C [kW] – celkový příkon strojů výrobní linky,
 P_{O1} [kW] – příkon odvíjáku JO 200/3100 (bez pohonu => $P_{O1} = 0 \text{ kW}$),
 P_{PR} [kW] – příkon podávací rovnačky RPMA 200/80 ($P_{PR} = 3,1 \text{ kW}$),
 P_L [kW] – příkon lisu HFA 4500 plus ($P_L = 118 \text{ kW}$),
 P_{O2} [kW] – příkon odvíjáku JOP 200/3100 ($P_{O2} = 0,55 \text{ kW}$).

Celková spotřebovaná energie:

$$E_C = P_C \cdot n_h = 121,65 \cdot 97,5 = 11860,875 \text{ kW} \quad (4.20)$$

kde: E_C [kW] – celková spotřebovaná energie,
 P_C [kW] – celkový příkon strojů výrobní linky,
 n_H [h] – počet hodin potřebných k vyrobení série.

Celkové náklady na spotřebovanou energii:

$$N_{EC} = E_C \cdot c_{en} = 11860,875 \cdot 4,1 = 48629,59 \text{ Kč} \quad (4.21)$$

kde: N_{EC} [Kč] – celkové náklady na spotřebovanou energii,
 c_{en} [Kč] – cena elektrické energie dle aktuálního ceníku E.ON pro
firmy je $c_{en} = 4,1$ Kč.

Celkové náklady na spotřebovanou energii při výrobě jedné součásti:

$$N_{ECj} = \frac{N_{EC}}{Q} = \frac{48629,59}{800000} = 0,061 \text{ Kč} \quad (4.22)$$

kde: N_{ECj} [Kč] – celkové náklady na spotřebovanou energii při výrobě
jedné součásti,
 Q [ks] – roční výrobní dávka.

4.2 NEPŘÍMÉ NÁKLADY

4.2.1 Náklady na správní režie

$$N_{SR} = S_R \cdot N_{cm} = 1,2 \cdot 14371,5 = 17245,8 \text{ Kč} \quad (4.23)$$

kde: N_{SR} [Kč] – náklady na správní režie,
 S_R [%] – správní režie,
 N_{cm} [Kč] – celkové náklady na mzdy.

4.2.2 Náklady na výrobní režie

$$N_{VR} = V_R \cdot N_{cm} = 4,4 \cdot 14371,5 = 63234,6 \text{ Kč} \quad (4.24)$$

kde: N_{VR} [Kč] – náklady na výrobní režie,
 V_R [%] – výrobní režie.

4.2.3 Náklady na výrobu nástroje

Střížný nástroj bude vyroben externí firmou, odhad ceny dle složitosti nástroje byl stanoven na $N_N = 330\,000$ Kč.

4.3 CELKOVÉ NÁKLADY

$$N_C = N_m + N_{cm} + N_{EC} + N_{SR} + N_{VR} + N_N \quad (4.25)$$

$$N_C = 4253385,35 + 14371,5 + 48629,59 + 17245,8 + 63234,6 + 330000$$

$$N_C = 4726866,84 \text{ Kč}$$

kde:	N_C	[Kč]	–	celkové náklady,
	N_m	[Kč]	–	cena materiálu série,
	N_{cm}	[Kč]	–	celkové náklady na mzdy,
	N_{EC}	[Kč]	–	celkové náklady na spotřebovanou energii,
	N_{SR}	[Kč]	–	náklady na správní režie,
	N_{VR}	[Kč]	–	náklady na výrobní režie,
	N_N	[Kč]	–	náklady na výrobu nástroje.

Celkové náklady na výrobu jedné součásti:

$$N_{Cj} = \frac{N_C}{Q} = \frac{4726866,84}{800000} = 5,91 \text{ Kč} \quad (4.26)$$

kde:	N_{Cj}	[Kč]	–	celkové náklady na výrobu jedné součásti,
	Q	[ks]	–	roční výrobní dávka.

4.4 CENA SOUČÁSTI

Cena součásti se stanoví pomocí celkových nákladů na výrobu jedné součásti zvýšené o ziskovou přírážku 50 %.

$$C_S = N_{Cj} \cdot 1,5 = 5,91 \cdot 1,5 = 8,87 \text{ Kč} \quad (4.27)$$

kde:	C_S	[Kč]	–	cena součásti.
------	-------	------	---	----------------

Celkové tržby:

$$T_C = N_C \cdot 1,5 = 4726866,84 \cdot 1,5 = 7090300,26 \text{ Kč} \quad (4.28)$$

kde:	T_C	[Kč]	–	celkové tržby.
------	-------	------	---	----------------

Zisk:

$$Z_C = T_C - N_C = 7090300,26 - 4726866,84 = 2363433,42 \text{ Kč} \quad (4.29)$$

kde:	Z_C	[Kč]	–	zisk.
------	-------	------	---	-------

4.5 STANOVENÍ BODU ZVRATU

Bod zvratu (z anglického break - even point), je takové množství produkce firmy, při kterém nevzniká zisk ani ztráta, tedy tržby se rovnají nákladům.

Fixní náklady:

$$FN = N_{SR} + N_{VR} + N_N = 17245,8 + 63234,6 + 330000 = 410480,4 \text{ Kč} \quad (4.30)$$

kde: FN [Kč] – fixní náklady,
N_{SR} [Kč] – náklady na správní režie,
N_{VR} [Kč] – náklady na výrobní režie,
N_N [Kč] – náklady na výrobu nástroje.

Variabilní náklady:

$$VN = N_{mj} + N_{cmj} + N_{ECj} = 5,32 + 0,0179 + 0,061 = 5,399 \text{ Kč} \quad (4.31)$$

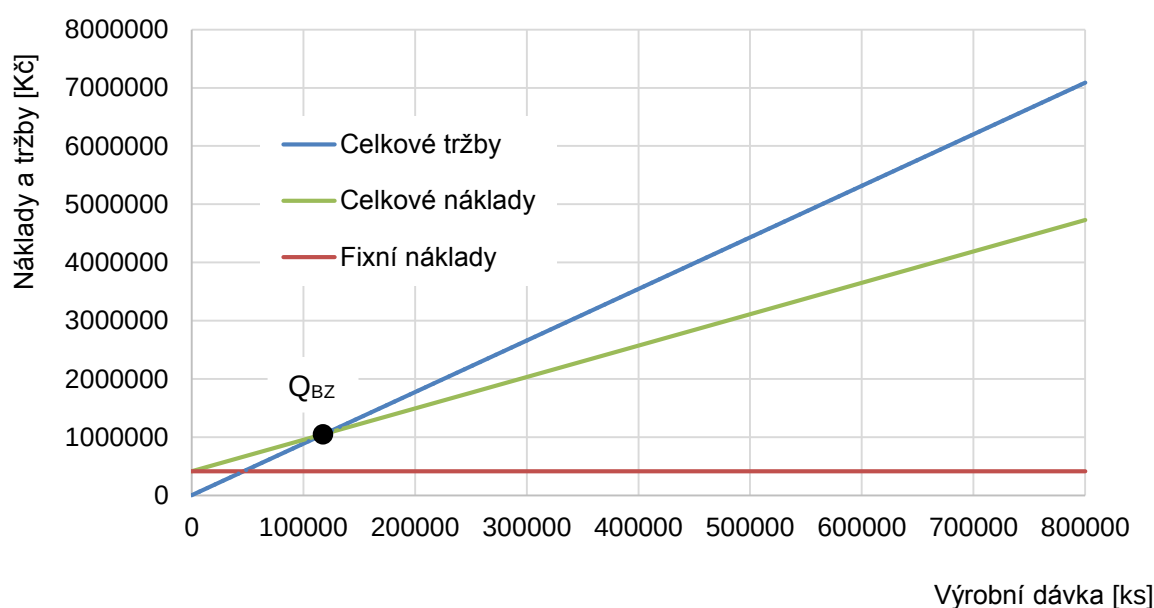
kde: VN [Kč] – variabilní náklady.
N_{mj} [Kč] – cena materiálu jedné součásti,
N_{cmj} [Kč] – náklady na mzdy k výrobě jedné součásti,
N_{ECj} [Kč] – celkové náklady na spotřebovanou energii při výrobě jedné součásti.

Výpočet bodu zvratu:

$$Q_{BZ} = \frac{FN}{C_S - VN} = \frac{410480,4}{8,87 - 5,399} = 118259,98 = 118260 \text{ ks} \quad (4.32)$$

kde: Q_{BZ} [Ks] – bod zvratu,
C_S [Kč] – cena součásti.

Na obr. 40 je zobrazen bod zvratu při použití technologie přesného stříhání s tlačnou hranou, který nastává při vyrobení 118 260 ks součástí. Při vyšším počtu vyrobených součástí, než je bod zvratu se stává výroba ziskovou a naopak při menším počtu výrobků ztrátovou. Dosažený zisk při použití této metody činí 2 363 433 Kč.



Obr. 40 Stanovení bodu zvratu

5 ZÁVĚRY

Cílem diplomové práce bylo navržení výroby součásti krytu senzoru vyráběné technologií přesného stříhání. Roční objem výroby je 800 000 ks. Součást je vyráběna z mikrolegované oceli S355MC, která má široké využití především ve strojírenství v automobilovém průmyslu.

Pro zadanou součást bylo navrženo několik variant technologie výroby, jako jsou řezání laserovým, vodním nebo plazmovým paprskem, postupové stříhání nebo přesné stříhání. Ze všech těchto navržených metod byla vyhodnocena jako optimální varianta výroby technologie přesného stříhání s tlačnou hranou, na kterou byla diplomová práce dále zaměřena.

V druhé kapitole byla zpracována literární studie zaměřená na přesné stříhání a především na metodu přesného stříhání s tlačnou hranou.

V následující kapitole byla provedena kontrola vhodnosti součásti a následně byly provedeny technologické a kontrolní výpočty. Výchozím polotovarem byl zvolen svitek plechu o šířce 175 mm, délce 334 m a tloušťce 4 mm, ze kterého budou na jeden zdvih vystřiženy dvě součásti. V technologických výpočtech byla dále stanovena celková síla 3536,3 kN, pomocí které byl navržen trojčinný hydraulický lis HFA 4500 plus od firmy Feintool s jmenovitou silou 4500 kN. Lis je součástí výrobní linky, která se skládá z odvíjecího zařízení JO 200/3100, podávací rovnačky RPMA 200/80 a navíjecího zařízení (odvíják s pohonem) JOP 200/3100. Dle rozměrů součásti a tloušťky stříhaného materiálu byla zvolena konstrukce střížného nástroje s pohyblivým střížníkem a pevným přidržovačem.

V poslední kapitole zaměřené na technicko-ekonomické zhodnocení navržené technologie přesného stříhání s tlačnou hranou byl stanoven na základě přímých a nepřímých nákladů bod zvratu, který nastává při vyrobení 118 260 ks. Roční objem výroby 800 000 ks je vyšší než bod zvratu stanovený na 118 260 ks, proto je výroba vyhodnocena jako zisková.

SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

1. BOLZANO, Bohdan. Bolzano. [online]. [cit. 2014-05-26]. Dostupné z: http://prirucka.bolzano.cz/cz/technicka-podpora/technicka-prirucka/konstrukcni_oceli/normy_tdp/EN10149/
2. Laserové řezání. *LAO - průmyslové systémy s.r.o.* [online]. [cit. 2014-03-10]. Dostupné z: <http://www.lao.cz/aplikace-79/laserove-rezani-80>
3. CHPS S.R.O. CHPS s.r.o. - *řezání vodním paprskem, řezání laserem, zpracování kovů* [online]. Chomutov, [cit. 2014-03-11]. Dostupné z: <http://www.chps.cz/>
4. Tavné řezání. *TRUMPF Česká Republika* [online]. [cit. 2014-05-26]. Dostupné z: <http://www.cz.trumpf.com/cs/produkty/laserova-technika/reseni/oblasti-pouziti/laserove-rezani/tavne-rezani.html>
5. Laser cutting and profiling. *Yorkshire laser and fabrication* [online]. [cit. 2014-05-26]. Dostupné z: <http://www.yorkshirelaser.co.uk/>
6. Plazma přednosti a nevýhody. *PLAZMA CZ s.r.o.* [online]. [cit. 2014-05-26]. Dostupné z: <http://www.plazmacz.cz/plazma-prednosti-a-nevyhody/>
7. Co je to řezání vodním paprskem?. *Řežeme vodou* [online]. [cit. 2014-03-30]. Dostupné z: <http://www.rezeme-vodou.cz/rezani-vodnim-paprskem.php>
8. Řezání vodním paprskem. *WAPA* [online]. [cit. 2014-05-26]. Dostupné z: <http://www.wapa.cz/rezani-vodnim-paprskem/>
9. Technologie řezání vodním paprskem. *WCM řezání vodním paprskem* [online]. [cit. 2014-05-26]. Dostupné z: <http://wcm.cz/technologie-rezani-vodnim-paprskem>
10. Pavel Břichnáč: Plazmové technologie. *Aldebaran Bulletin* [online]. [cit. 2014-05-26]. Dostupné z: http://www.aldebaran.cz/bulletin/2004_20_plt.html
11. *Homen: Lamelové a plazmové řezání* [online]. [cit. 2014-05-26]. Dostupný z: <http://homen.vsb.cz/~hla80/2009Svarovani/16-17-83-84.pdf>
12. ROUBÍČEK, Martin. KRITÉRIA VOLBY METODY A TRENDY TEPELNÉHO DĚLENÍ MATERIÁLŮ. *AIR LIQUIDE* [online]. [cit. 2014-05-26]. Dostupné z: <http://www.airliquide.cz/file/otherelement/pj/roubicek49122.pdf>
13. Vypalování plazmou. *ZAPPIS* [online]. [cit. 2014-05-26]. Dostupné z: <http://www.zappis.cz/produkty-vypalovani-plazmou-detail-10>
14. Plazmové řezání, řezání plazmou, plazmové zdroje, plasma. *Schinkmann* [online]. [cit. 2014-05-26]. Dostupné z: <http://www.schinkmann.cz/plazma>

15. DVOŘÁK, Milan. *Technologie II*. 3. dopl. vyd. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2006, 238 s. ISBN 80-214-2683-7.
16. DVOŘÁK, Milan. *Technologie tváření: návody do cvičení*. 2. vyd. Brno: CERM, 2005, 103 s. ISBN 80-214-2881-3.
17. GUIDI, A. *Přistřihování a přesné stříhání*. Vydání první. Praha: SNTL - Nakladatelství technické literatury, 1969.
18. Technologie plošného tváření - stříhání. *Katedra tváření kovů a plastů* [online]. [cit. 2014-03-22]. Dostupné z: http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta_tkp/sekce/06.htm
19. NOVOTNÝ, Josef a Zdeněk LANGER. *Stříhání a další způsoby dělení kovových materiálů*. Praha: SNTL - Nakladatelství technické literatury, 1980.
20. KŘÍŽ, Rudolf a Pavel VÁVRA. *Strojírenská příručka: 24 oddílů v osmi svazcích*. Vyd. 1. Praha: Scientia, c1998, 246 s. ISBN 8071830542.
21. Přesný stříh – více než jen výrobní metoda. *Konturtools.cz* [online]. [cit. 2014-02-05]. Dostupné z: <http://www.konturtools.cz/aktualita/02-07-2007-presny-strih-vice-nez-jen-vyrobní-metoda>
22. DVOŘÁK, Milan. *Technologie tváření: plošné a objemové tváření*. 2. vyd. Brno, 2007, 169 s. ISBN 978-80-214-3425-7.
23. LIDMILA, Zdeněk. *Teorie a technologie tváření I*. Vyd. 1. Brno: Univerzita obrany, 2008, 105 s. ISBN 978-80-7231-579-6.
24. PETRUŽELKA, Jiří, BŘEZINA, Richard. *Úvod do tváření II* [online]. Ostrava, 2001 [cit. 2014-04-04]. Dostupné z: http://www.345.vsb.cz/jiripetruzelka/Texty/Uvod_TV2.pdf
25. FOREJT, Milan. *Teorie tváření*. 1. vyd. Brno: CERM, 2004, 167 s. ISBN 80-214-2764-7.
26. GAJDOŠ. *Technologie tváření kovů* [online]. [cit. 2014-02-28]. Dostupné z: http://ust.fme.vutbr.cz/tvareni/opory_soubory/technologie_vyroby_I__tvareni__gajdos.pdf
27. Akademie tváření: Stříhání [online]. [cit. 2014-02-28]. Dostupné z: <http://www.mmspektrum.com/clanek/akademie-tvareni-strihani.html>
28. VYSKOČIL, Oldřich a Pavel BARTOŠ. *Směrnice pro konstrukci nástrojů pro přesné stříhání: (učební texty)*. Brno: Zbrojovka Brno n.p., 1977, 87 s.
29. BIRZER, Franz. *Forming and fineblanking: cost effective manufacture of accurate sheetmetal parts*. Landsberg am Lech: Verlag Moderne Industrie, 1997, 70 s. ISBN 34-789-3161-4.

30. NOVOTNÝ, Karel. *Tvářecí nástroje*. 1. vyd. Brno: Nakladatelství Vysokého učení technického v Brně, 1992. 186 s. ISBN 80-214-0401-9.
31. FOREJT, Milan. *Ročníkový projekt I* [online]. 1. vyd. Brno: VUT v Brně, 2002 [cit. 2014-03-20]. Dostupné z: http://ust.fme.vutbr.cz/tvareni/opory_soubory/download/rocnikovy_projekt_I__forejt.pdf
32. Commodities. NGC [online]. [cit. 2014-05-26]. Dostupné z: <http://www.hassanpoortradingco.com/commoditie.html>
33. FEEINTOOL INTERNATIONAL HOLDING AG. *Feintool :: Feintool* [online]. Lyss, © 2013 Feintool [cit. 2014-05-24]. Dostupné z: <http://www.feintool.com/en.htm>
34. *Mastr: Všetko pre tvárnenie plechu* [online]. Trnava, 2012 [cit. 2014-05-26]. Dostupné z: <http://www.mastr.sk>

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

Označení	Popis (legenda)	Jednotka
A	Tažnost	[%]
A_c	Celková střížná práce k vystřížení dvou součástí na jeden zdvih	[J]
A_{c1}	Celková střížná práce	[J]
A_p	Práce přidržovače	[J]
A_s	Střížná práce	[J]
A_v	Práce vyhazovače	[J]
a	Vzdálenost tlačné hrany od křivky stříhu	[mm]
b_1	Velikost postranního odpadu	[mm]
b_2	Šířka můstku	[mm]
b_{min}	Minimální šířka drážky součásti	[mm]
b_p	Šířka pásu plechu	[mm]
C_o	Prodejní cena odpadu na sérii	[Kč]
C_p	Nákupní cena materiálu na sérii	[Kč]
c	Koeficient pro přesné stříhání	[-]
C_{en}	Cena elektrické energie	[Kč]
c_o	Prodejní cena za 1 kg odpadu	[Kč/kg]
c_p	Nákupní cena za 1 kg materiálu	[Kč/kg]
D_b	Maximální vnější průměr bubnu	[mm]
d_1	Průměr střížníku	[mm]
d_2	Průměr dosedací hlavy střížníku	[mm]
d_b	Minimální vnitřní průměr bubnu	[mm]
d_{min}	Minimální průměr otvoru součásti	[mm]
E	Modul pružnosti v tahu	[MPa]
E_c	Celková spotřebovaná energie	[kW]
F_c	Celková síla k vystřížení dvou součástí na jeden zdvih	[N]
F_{c1}	Celková síla	[N]
FN	Fixní náklady	[Kč]
F_p	Síla přidržovače	[N]
F_s	Střížná síla	[N]
F_{s1}	Střížná síla kontrolovaného otvoru Ø 5,3 mm	[N]
F_v	Síla vyhazovače	[N]
h	Výška tlačné hrany	[mm]

Označení	Popis (legenda)	Jednotka
h_1	Výška odlehčení za tlačnou hranou	[mm]
h_{min}	Minimální výška střížnice	[mm]
I	Moment setrvačnosti průřezu	[mm ⁴]
J_M	Jednicové mzdy	[%]
J_R	Jmenovitý rozměr součásti	[mm]
K	Délka kroku	[mm]
k	Využití materiálu	[%]
k_b	Koeficient bezpečnosti	[-]
L	Délka křivky tlačné hrany	[mm]
l	Celková délka křivky stříhu	[mm]
l_{krit}	Kritická délka střížníku	[mm]
l_o	Délka zaváděcího odpadu	[mm]
l_p	Délka pásu plechu	[mm]
m_o	Hmotnost odpadu za rok	[kg]
m_p	Hmotnost spotřebovaného plechu za rok	[kg]
m_s	Hmotnost svítku	[kg]
m_v	Hmotnost výstřížků v roční dávce	[kg]
N_C	Celkové náklady	[Kč]
N_{Cj}	Celkové náklady na výrobu jedné součásti	[Kč]
N_{cm}	Celkové náklady na mzdy	[Kč]
N_{cmj}	Náklady na mzdy k výrobě jedné součásti	[Kč]
N_{EC}	Celkové náklady na spotřebovanou energii	[Kč]
N_{ECj}	Celkové náklady na spotřebovanou energii při výrobě jedné součásti	[Kč]
N_m	Cena materiálu série	[Kč]
N_{mj}	Cena materiálu jedné součásti	[Kč]
N_N	Náklady na výrobu nástroje	[Kč]
N_{pm}	Přímé náklady na mzdy	[Kč]
N_{SR}	Správní režie	[Kč]
N_{SZ}	Náklady na sociální a zdravotní pojištění	[Kč]
N_{VR}	Výrobní režie	[Kč]
n	Koeficient vlivu vnějších podmínek	[-]
n_H	Počet hodin potřebných k vyrobení série	[h]
n_h	Počet součástí vyrobených za hodinu	[ks/h]

Označení	Popis (legenda)	Jednotka
n_L	Počet zdvihů lisu	[n/min]
n_p	Počet svitků na roční dávku	[ks]
n_{sm}	Počet směn potřebných k vyrobení série	[směn]
n_{ssm}	Počet součástí vyrobených za směnu	[ks/směnu]
n_v	Počet výstřížků z plechu	[ks]
OPN	Ostatní přímé náklady	[%]
o_1	Vnější délka křivky stříhu	[mm]
o_2	Délka křivky stříhu otvoru Ø 44,3 mm	[mm]
o_3	Délka křivky stříhu otvoru Ø 5,3 mm	[mm]
o_4	Délka křivky stříhu drážky	[mm]
P	Přípustná míra opotřebení	[mm]
P_C	Celkový příkon strojů výrobní linky	[kW]
P_L	Příkon lisu HFA 4500 plus	[kW]
P_{O1}	Příkon odvijáku JO 200/3100	[kW]
P_{O2}	Příkon odvijáku JOP 200/3100	[kW]
P_{PR}	Příkon podávací rovnačky RPMA 200/80	[kW]
P_S	Cena součástí	[Kč]
P_{SZ}	Sociální a zdravotní pojištění	[-]
p	Měrný tlak	[MPa]
Q	Roční výrobní dávka	[ks/rok]
Q_{BZ}	Bod zvratu	[ks]
R	Poloměr zaoblení střížné hrany	[mm]
R_1	Minimální vnější poloměr rohů	[mm]
RAD	Rozměry střížníku při děrování	[mm]
RAV	Rozměry střížníku při vystřihování	[mm]
RED	Rozměry střížnice při děrování	[mm]
REV	Rozměry střížnice při vystřihování	[mm]
R_a	Drsnost	[μm]
R_e	Mez kluzu	[MPa]
R_m	Mez pevnosti v tahu	[MPa]
R_{min}	Minimální vnější poloměr rohů součástí	[mm]
r_{min}	Minimální vnitřní poloměr rohů součástí	[mm]
S	Plocha stříhu	[mm ²]
S_1	Plocha odpadu otvoru Ø 44,3 mm	[mm ²]

Označení	Popis (legenda)	Jednotka
S_1	Plocha odpadu otvoru $\varnothing 44,3$ mm	[mm ²]
S_2	Plocha odpadu otvoru $\varnothing 5,3$ mm	[mm ²]
S_3	Plocha odpadu drážky	[mm ²]
S_C	Celková plocha odpadu z výstřižku	[mm ²]
S_0	Plocha průměru osazení	[mm ²]
S_p	Plocha pásu plechu	[mm ²]
$S_{př}$	Plocha přidržovače	[mm ²]
S_R	Správné režie	[%]
S_s	Plocha otvoru $\varnothing 5,3$ mm	[mm ²]
S_v	Plocha výstřižku	[mm ²]
s	Tloušťka stříhaného materiálu	[mm]
TA	Výrobní tolerance střížníku	[mm]
TE	Výrobní tolerance střížnice	[mm]
TS	Tolerance jmenovitého rozměru	[mm]
TTK6	Tarifní třída (obsluha linky)	[Kč/h]
T_C	Celkové tržby	[Kč]
T_S	Životnost nástroje	[roky]
t_k	Kontrolní čas	[h]
t_u	Čas na údržbu	[h]
t_v	Výrobní čas	[h]
VN	Variabilní náklady	[Kč]
V_R	Výrobní režie	[%]
v	střížná vůle	[mm]
W_1	Minimální vzdálenost mezi otvory	[mm]
W_2	Minimální vzdálenost mezi otvorem a drážkou	[mm]
Z_C	Zisk	[Kč]
Z_R	Zpracovatelská režie	[%]
z	Střížná mezera	[mm]
α	Vrcholový úhel přidržovače	[°]
β	Vnější úhel přitlačné hrany	[°]
γ	Vnitřní úhel přitlačné hrany	[°]
π	Ludolfovo číslo	[-]
ρ	Hustota materiálu	[kg/m ³]
$\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$	Tlakové napětí	[MPa]

Označení	Popis (legenda)	Jednotka
σ_{3C}	Celkové tlakové napětí	[MPa]
σ_n	Normální napětí	[MPa]
$\Delta\sigma_3$	Přídavné tlakové napětí	[MPa]
τ_{max}	Maximální smykové napětí	[MPa]
τ_s	Mez pevnosti ve stříhu	[MPa]

SEZNAM PŘÍLOH

Příloha 1 – Technické parametry odvíjáku JO 200/3100

Příloha 2 – Technické parametry lisu HFA 4500 plus od firmy Feintool

Příloha 3 – Technické parametry podávací rovnačky RPMA 200/80

Výkresová dokumentace

Příloha 1/1

MASTR s.r.o.
Malženická 1, SK – 917 00 Trnava
Tel.: +421 33 5347 091 , 092 , 093
Fax: +421 33 5347 092 , 093
Email: mastr@mastr.sk
Internet: www.mastr.sk

Bankové spojenie :
UniBanka a.s. , pobočka Trnava
Č. účtu : 35 44 15/1200
IBAN : SK8912000000000000354415
IČ DPH : SK2020393936
IČO : 34131264

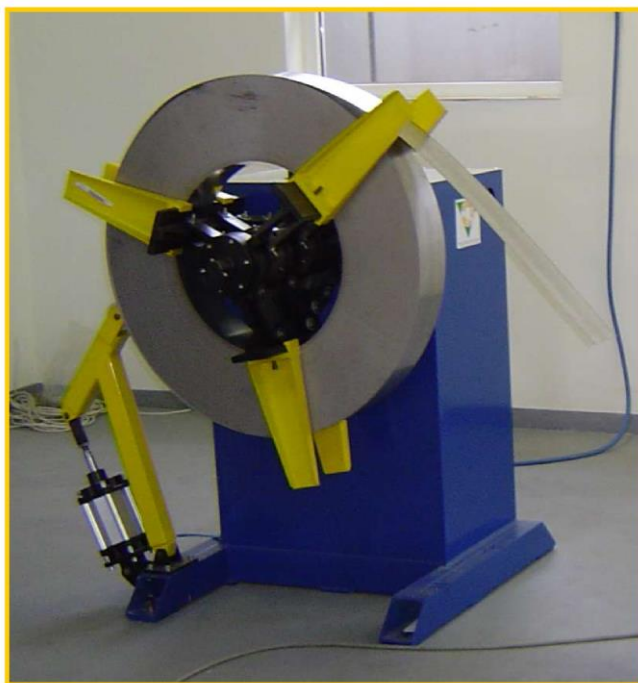
Obchodný register :
Okresný súd Trnava
Oddiel : Sro
Vložka: 1646/T
Konateľ:
Ing. Dušan Malacký

MASTR
Všetko pre tvárnenie plechu * Alles fuer Blechumformung * All for Sheet Metal Working

Odvijáky zvitkov

**Odvijáky zvitkov JO
zabezpečujú jednoduché
a bezpečné odvíjanie plechov.**

- Stabilný zváraný rám
 - Pákové rozpínanie upínacieho mechanizmu pomocou kľuky
 - Vysokopevná zušľachtená hriadeľ uložená vo valivých ložiskách zabezpečujúca dostatočnú nosnosť a minimalizujúca možnosť ohnutia
 - Prestaviteľné opierky podľa šírky spracovaného zvitku
 - Prítlačná kladka proti rozvinutiu zvitku pri jeho rozstrihovaní. V závislosti od hrúbky odvíjaného plechu v dvoch veľkostiach.
 - Čelustová brzda proti rozvinutiu.
-
- Rada JO bez pohonu s mechanickou dobrzdovacou brzdou
 - Rada JOM so ŠTART / STOP pohonom , ktorý tvorí motor s prevodovkou
 - Rada JOP s pohonom , ktorý tvorí motor s prevodovkou a umožňuje plynulú zmenu rýchlosti odvíjania frekvenčným meničom



Všetko pre tvárnenie plechu * Alles fuer Blechumformung * All for Sheet Metal Working

Příloha 1/2

MASTR s.r.o.

Malženická 1, SK – 917 00 Trnava
Tel.: +421 33 5347 091, 092, 093
Fax: +421 33 5347 092, 093
Email: mastr@mastr.sk
Internet: www.mastr.sk

Bankové spojenie :

UniBanka a.s. , pobočka Trnava
Č. účtu : 35 44 15/1200
IBAN : SK8912000000000000000354415
IČ DPH : SK2020393936
IČO : 34131264

Obchodný register :

Okresný súd Trnava
Oddiel : Sro
Vložka: 1546/T
Konateľ:
Ing. Dušan Malacký

MASTR

Všetko pre tvárnenie plechu * Alles fuer Blechumformung * All for Sheet Metal Working

Doplňkové prísľušenstvo

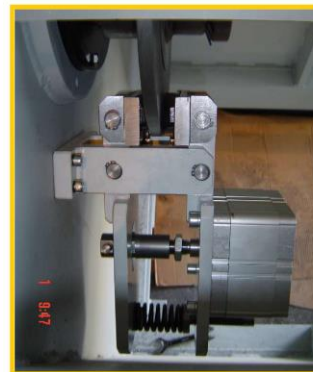
- Pneumatické rozpínanie upínacieho mechanizmu
- Hydraulické rozpínanie upínacieho mechanizmu
- Dvojstupňová prevodovka na zrýchlené upnutie zvitku pomocou páky
- Pneumaticky ovládaná bezpečnostná brzda proti rozvinutiu zvitku
- Pneumaticky ovládaná prítlačná kladka
- Hydraulicky ovládaná prítlačná kladka
- Pneumatická kladka s pohonom na navíjanie plechu nedostrihaného zvitku resp. odvíjanie plechu pri zavádzaní plechu do rovnačky
- Ovládanie pohonu ultrazvukovým snímačom , optickými snímačmi alebo difúznym snímačom s časovaním



Pohon odvíjajú cez čelnú prevodovku a reťazový prevod



Pneumatické rozpínanie zabezpečuje rotačný tandemový valec so zámkami



Pneumatická bezpečnostná brzda

Typ	Šírka plechu (mm)	Vonkajší priemer (mm)	Vnútný priemer min. (mm)	Vnútný priemer max. (mm)	Nosnosť (kg)	Pohon
JO 200/600	200	1250	400	500	600	JOM , JOP
JO 200/1500	200	1400	460	530	1500	JOM , JOP
JO 200/3100	200	1400	460	530	3100	JOM , JOP
JO 300/1400	300	1250	460	530	1400	JOM , JOP
JO 300/3000	300	1400	460	530	3000	JOM , JOP
JO 400/2500	400	1400	460	530	2500	JOM , JOP
JO 500/4000	500	1400	460	530	4000	JOM , JOP
JO 650/4000	650	1400	460	530	4000	JOM , JOP
JO 800/3500	800	1400	460	530	3500	JOM , JOP
JO 1000/3000	1000	1400	460	530	3000	JOM , JOP

Všetko pre tvárnenie plechu * Alles fuer Blechumformung * All for Sheet Metal Working

Příloha 2



Fineblanking press Typ		HFA 3200plus	HFA 4500plus	HFA 7000plus	HFA 8800plus	HFA 11000plus
Forces						
Total force	min. - max. kN	2000 - 3200	3000 - 4500	4675 - 7000	5850 - 8800	7400 - 11000
Vee-ring force	min. - max. kN	140 - 1400	200 - 2000	320 - 3200	400 - 4000	500 - 5000
Counterforce	min. - max. kN	70 - 700	100 - 1000	160 - 1600	200 - 2000	250 - 2500
Ejector force	max. kN	225	365	520	800	800
Stripper force	max. kN	240	520	520	800	800
Scarp chopper blade force	kN	310	310	310	750	750
Stroke distances						
Ram strokes at max./min. tool heights	mm	100/180	150/230	150/230	200/305	200/305
Vee-ring stroke	max. mm	25	40	40	40	40
Counterforce stroke	max. mm	25	40	40	40	40
Ram stroke rate (according to part)	up to n/min	85	80	70	60	50
Ram speeds						
Blanking speed	min.-max. mm/s	5 - 70	5 - 70	5 - 70	5 - 70	5 - 70
Closing speed	mm/s	200	200	200	200	200
Return speed	mm/s	200	200	200	200	200
Material feed						
Feed steps	min.-max. mm	1-999.9	1-999.9	1-999.9	1-999.9	1-999.9
Feed step increments	mm	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
Strip length	min. mm	2600	3400	3700	3950	4200
Strip width	min.-max. mm	40 - 350	40 - 350	40 - 450	40 - 450	40 - 450
Material thickness	max. mm	16	16	16	16	16
Power ratings						
Total power 50Hz/60Hz	approx. kW	97/112	118/135	140/160	192/220	290/275
Main drive 50Hz/60Hz	kW	90/104	110/127	132/152	160/184	250/230
Hydraulic unit						
Capacity	approx. liter	2000	2000	2000	3000	3000
Weight						
Total weight of installation ready for operation	approx. kg	20 000	33 000	41 000	62 000	74 000

Příloha 3

MASTR s.r.o.
Malženická 1, SK – 917 00 Trnava
Tel.: +421 33 5347 091, 092, 093
Fax: +421 33 5347 092, 093
Email: mastr@mastr.sk
Internet: www.mastr.sk

Bankové spojenie :
UniBanka a.s. , pobočka Trnava
Č. účtu : 35 44 15/1200
IBAN : SK8912000000000000354415
IC DPH : SK2020393936
ICO : 34131264

Obchodný register :
Okresný súd Trnava
Oddiel : Sro
Vložka:1646/T
Konateľ:
Ing. Dušan Malacký



Podávacie rovnačky plechu

**Podávacie rovnačky plechu
PRMA , PRMP zabezpečujú
precízne vyrovnanie
a podávanie plechu.**

- Konštrukčne rovnačka vychádza z rovnačky RPMA alebo RPMP
- CNC riadenie zabezpečuje synchrónny servomotor v spolupráci so servosilovačom , ktorý obsahuje PLC a ovládací panel s klávesnicou
- Cez technologickú klávesnicu sa nastavuje :
 - Dĺžka podania _ 0,1 až 9999,99 mm
 - Rýchlosť podania _ 1 až 100%
 - Počet kusov
- Odmeriavanie dĺžky podania na rovaných valcoch alebo nezávisle



Podávacia rovnačka – typ PRMA 800/80 s tabuľovými nožnicami

Typ	Šírka plechu (mm)	Hrúbka plechu min. (mm)	Hrúbka plechu max. (mm)	Max. prierez (mm ²)	Počet rovaných valcov	Priemer valcov (mm)
RPMA 200/60	200	0,4	4	200 x 5	5 / 7 / 9 / 11	60
RPMA 300/60	300	0,4	4	300 x 3,3	5 / 7 / 9 / 11	60
RPMA 400/60	400	0,4	4	400 x 2,5	5 / 7 / 9 / 11	60
RPMA 500/60	500	0,4	4	500 x 2	5 / 7 / 9 / 11	60
RPMA 650/60	650	0,4	4	650 x 1,6	5 / 7 / 9 / 11	60
RPMA 800/60	800	0,4	2	800 x 1,25	5 / 7 / 9 / 11	60
RPMA 1000/60	1000	0,4	2	1000 x 1,0	5 / 7 / 9 / 11	60
RPMA 200/80	200	0,6	6	200 x 6	5 / 7 / 9 / 11	80
RPMA 300/80	300	0,6	6	300 x 5	5 / 7 / 9 / 11	80
RPMA 400/80	400	0,6	6	400 x 5	5 / 7 / 9 / 11	80
RPMA 500/80	500	0,6	6	500 x 4,5	5 / 7 / 9 / 11	80
RPMA 650/80	650	0,6	6	650 x 3,8	5 / 7 / 9 / 11	80
RPMA 800/80	800	0,6	4	800 x 2,3	5 / 7 / 9 / 11	80

Všetko pro tvárnenie plechu * Alles fuer Blechumformung * All for Sheet Metal Working