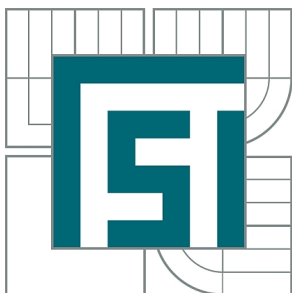


VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



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

NÁVRH VÝROBY BRZDOVÉHO KOTOUČE VYRÁBĚNÉHO TECHNOLOGIÍ STŘÍHÁNÍ

THE MANUFACTURING OF THE BRAKE DISK BY FINEBLANKING TECHNOLOGY

DIPLOMOVÁ PRÁCE
MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

Bc. MIROSLAV KANTOR

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

Ing. EVA PETERKOVÁ, Ph.D.

BRNO 2015

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Ústav strojírenské technologie

Akademický rok: 2014/2015

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

student(ka): Bc. Miroslav Kantor

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

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

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

Návrh výroby brzdového kotouče vyráběného technologií stříhání

v anglickém jazyce:

The Manufacturing of the Brake Disk by Fineblanking Technology

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Jedná se o návrh výroby brzdového kotouče motocyklu. Součást je kruhového tvaru s vnitřními tvarovými otvory. Zadaná součást bude vyráběna technologií stříhání a na tuto problematiku bude také zaměřena literární studie a potřebné výpočty.

Cíle diplomové práce:

Cílem diplomové práce je zhodnocení dvou základních variant výroby zadané součásti technologií stříhání, a to postupového a přesného stříhání. Pro výhodnější variantu bude navržen stroj a vypracovaná výkresová dokumentace nástroje dle pokynu vedoucího. Práce mimo to bude obsahovat literární studii se zaměřením na technologii stříhání a technicko-ekonomické hodnocení obou variant.

Seznam odborné literatury:

- 1.TSCHAETSCH, Heinz. Metal Forming Practise: Process - Machines - Tools. New York: Springer Berlin Heidelberg, 2006. ISBN 3-540-33216-2.
- 2.SCHULER GmbH. Handbuch der Umformtechnik. Berlin: Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 1996. ISBN 3-540-61099-5.
- 3.SUCHY, Ivana. Handbook of Die Design. 2. ed. New York: McGraw-Hill, 1998. ISBN 0-07-146271-6.
- 4.LIDMILA, Zdeněk. Teorie a technologie tváření I. 1. vyd. Brno: Vydavatelské oddělení UO, 2008. ISBN 978-80-7231-579-6.
- 5.BIRZER, Franz. Forming and Fineblanking: Cost-effective manufacture of accurate sheetmetal parts. Landsberg am Lech: Verlag moderne industrie, 1997. ISBN 3-478-93161-4.
- 6.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 2014/2015.

V Brně, dne 13.11.2014

L.S.

prof. Ing. Miroslav Píška, CSc.
Ředitel ústavu

doc. Ing. Jaroslav Katolický, Ph.D.
Děkan fakulty

ABSTRAKT

Kantor Miroslav: Návrh výroby brzdového kotouče vyráběného technologií stříhání

Cílem práce je návrh technologie výroby kotoučové brzdy. Součást je vyráběná s korozivzdorné oceli 17 023 (X30Cr13). Polotovarem je plech o tloušťce 6 mm. V rámci literární studie byly srovnané možné technologie výroby. S ohledem na zadání výroby 200 000 kusů byla zvolena technologie přesného stříhání s tlačnou hranou. Pro výrobu byl zvolen hydraulický lis HFA 7000. Hlavním bodem práce je návrh střížného nástroje a vytvoření výkresové dokumentace. Součástí práce je i technicko-ekonomické zhodnocení navrhované výroby.

Klíčová slova: přesné stříhání, tlačná hrana, hydraulický lis, střížný nástroj

ABSTRACT

Kantor Miroslav: The Manufacturing of the Brake Disk by Fineblanking Technology

The purpose of the diploma thesis is to design a manufacturing technology of the Brake Disk. The component is made of stainless steel 17 023 (X30Cr13). The blank is 2 mm thick sheet metal. Within the literary study the comparison of the possible technologies of manufacturing has been carried out. With respect to the batch size 200 000 pieces the fineblanking technology has been chosen. For the manufacturing has been chosen HFA 700 press. The major point of diploma thesis is to design a cutting tool and create a drawing documentation. The part of the project is the technical and economical evaluation of the designed manufacturing process.

Key words: fineblanking, vee-ring, hydraulic press, cutting tool

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

KANTOR, Miroslav. *Návrh výroby brzdového kotouče vyráběného technologií stříhání*. Brno, 2015. 60s, 3 výkresy, CD. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství. Ústav strojírenské technologie, obor technologie tváření. Vedoucí diplomové 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 vedoucí diplomové práce.

V Brně dne

.....

Podpis

PODĚKOVÁNÍ

Děkuji tímto paní Ing. Evě Peterkové, Ph.D. za cenné připomínky a rady při vypracování diplomové práce.

OBSAH

ABSTRAKT.....	2
BIBLIOGRAFICKÁ CITACE.....	3
ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ.....	4
PODĚKOVÁNÍ.....	5
OBSAH	6
ÚVOD [3], [11], [20]	10
1 ZHODNOCENÍ SOUČASNÉHO STAVU [3], [11]	11
1.1 Volba materiálu součásti [3], [5], [7], [17], 26, [38]	12
1.2 Možnosti výroby [6], [21], [32]	13
1.2.1 Řezání laserovým paprskem [6], [16], [19], [21]	13
1.2.2 Řezání plazmou [6], [19], [23]	14
1.2.3 Řezání vodním paprskem [16], [27], [28], [29]	15
1.2.4 Vysekávání [12], [25], [37]	16
1.2.5 Postupové stříhání [13], [24], [33]	17
1.2.6 Přesné stříhání [14], [31], [34]	17
1.3 Vyhodnocení variant výroby [12], [23], [31], [33], [34] , [37]	18
2 PROBLEMATIKA TECHNOLOGIE STŘÍHÁNÍ [2], [3], [4].....	20
2.1 Základní princip stříhání [2], [3], [4]	20
2.2 Dělení technologie stříhání [2], [3], [4].....	21
3 TECHNOLOGIE PŘESNÉHO STŘÍHÁNÍ [1], [4], [10]	22
3.1 Dělení technologie přesného stříhání [2], [4].....	22
3.1.1 Přesné stříhání se zaoblenou střižnou hranou [3],[4],[10]	23
3.1.2 Přesné stříhání se zkoseným přidržovačem [3], [4], [10].....	23
3.1.3 Přistříhování [3], [4], [10]	24
3.1.4 Kalibrování [3], [4], [10].....	24
3.1.5 Přesné stříhání s tlačnou hranou [4], [10]	25
3.2 Kvalita povrchu stříhu [1], [4], [10]	26
3.3 Přesné stříhání s tlačnou hranou [1], [4], [6], [9], [10], [30].....	27
3.4 Povrchová úprava nástrojů [23], [34].....	278
4 NÁVRH VÝROBY SOUČÁSTÍ	36
4.1 Kontrola vhodnosti součásti pro technologii přesného stříhání [4], [10]	36
4.2 Návrh technologických parametrů [1], [4], [10]	38

4.3	Varianty nástřihového plánu [4], [22]	40
4.4	Stanovení plochy součástí a délky stříhu [4], [10], [13], [33].....	43
4.5	Stanovení potřebných sil a práce [4], [10]	46
4.6	Návrhové výpočty [4], [10]	47
4.7	Pevnostní výpočty nástroje [2], [4]	48
4.8	Rozměry a tolerance střižníků a střižnice [4], [10]	49
4.9	Popis a funkce nástroje [2], [4], [10].....	51
4.10	Volba strojů [2], [13].....	52
5	TECHNICKO – EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ [8], [15]	54
5.1	Přímé náklady [8], [13], [15], [18], [20]	54
5.2	Nepřímé náklady [8], [15], [35]	56
5.3	Náklady na nástroj [8], [15], [36].....	57
5.4	Celkové náklady a zisk [8], [15]	57
5.5	Stanovení bodu zvratu [8], [15].....	58
5.6	Vyhodnocení	59
6	ZÁVĚR.....	60
	SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ	61
	SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK.....	63
	SEZNAM OBRÁZKŮ	67
	SEZNAM TABULEK.....	68
	SEZNAM VÝKRESOVÉ DOKUMENTACE	69

ÚVOD [3], [11], [20]

Technologie tváření je jedna z nejstarších technologií, která se používá k výrobě potřebných strojních dílců. Rozděluje se na dva základní typy. Prvním typem je objemové tváření za studena nebo za tepla. Objemové tváření, se vyznačuje pohybem materiálu ve třech osách. Řadí se sem technologie protlačování, pýchování, kalibrování, ražení a lisování kovových prášků. Jako objemové tváření za tepla bývá nejčastěji označováno volné či zápustkové kování. Druhým základním typem je plošné tváření. Plošné tváření se vyznačuje pohybem materiálu pouze ve dvou osách. Do plošného tváření patří zejména stříhání, ohýbání a tažení.

Technologie stříhání je nejrozšířenější operací tváření. Je používána na přípravu polotovarů pro ostatní plošné technologie, vystřihování součástek z plechu pro konečné použití a pro dokončovací nebo pomocné operace. Stříhání se může dělit podle teploty procesu na stříhání za tepla a stříhání za studena. Nebo podle způsobu odstraňování materiálu na děrování, vystřihování, ostřihování, přistřihování a přesné stříhání.

Přesným stříháním se dosahuje hladké, kvalitní střížné plochy, která je kolmá k rovině plechu. Přesnost takto vyrobených součástí bývá v rozmezí IT6-IT9. Výhoda použití metody přesného stříhání roste s velikostí výrobní série. Součásti zhotovené touto technologií mají široké uplatnění například v automobilovém průmyslu, významnou roli zastávají například také v měřicí technice. Obr. 1 ukazuje možné výrobky zhotovené metodou přesného stříhání.



Obr. 1 Příklady vyráběných dílců stříháním [3], [11], [20]

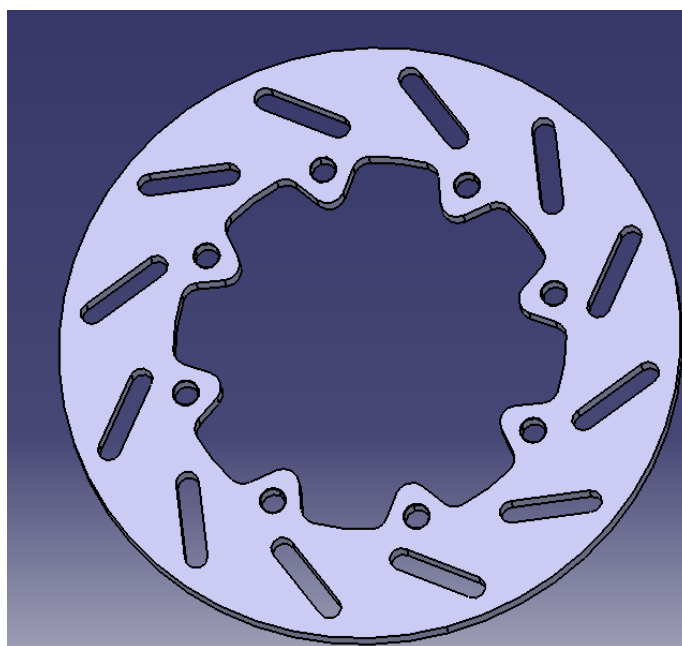
1 ZHODNOCENÍ SOUČASNÉHO STAVU [3], [11]

Řešenou součástí je kotoučová brzda pro motocykl. V dnešní době je nabízená široká škála druhů kotoučových brzd. Základní rozdělení je určeno druhem materiálu, ze kterého je brzda vyrobena. Materiál, z kterého je brzda vyrobena se snaží skloubit dohromady dva hlavní faktory, které jsou požadovány. Těmito faktory jsou cena, která by měla být co nejnižší a požadované vlastnosti, které by měla brzda mít. Druhým typem rozdělení je tvar a rozměry. Je snaha použít co nejmenší množství materiálu při zachování brzdných vlastností a odvodu tepla ze stykových částí. Součást by také měla být co nejsnáze vyrobitelná. Příklad současně používané kotoučové brzdy je vidět na obr. 2.



Obr. 2 Kotoučová brzda motocyklu [11]

Cílem práce je navrhnout nový typ kotoučové brzdy pro motocykl. Najít nejvhodnější technologii výroby a pro ni navrhnout nástroj a stroj. Brzda by měla splňovat požadované funkce a výroba by měla být co nejlevnější. S ohledem na tyto požadavky má navržená brzda největší průměr 190 mm a tloušťku 6 mm. Obr. 3 ukazuje základní tvar navržené kotoučové brzdy.



Obr. 3 Navržená kotoučová brzda motocyklu

1.1 Volba materiálu součásti [3], [5], [7], [17], [26], [38]

Při volbě vhodného materiálu se vychází z funkce součásti. U brzdového kotouče velice často dochází k situacím, kdy na povrchu brzdného kotouče může dojít ke krátkodobé teplotě až 800 °C nebo velkému rozdílu mezi teplotou na povrchu a jádrem – až 500 °C. Dále dochází ke styku povrchů při vysokých rychlostech. Proto mezi hlavní požadavky na materiál patří dobrá odolnost proti teplotním šokům, dobrá odolnost proti opotřebení, dobrá tváritelnost, vysoká tepelná vodivost, dobrá pevnost a z ekonomického hlediska co nejnížší cena.

Pro prozkoumání různých druhů kotoučových brzd, které se v dnešní době používají je vidět, že se používá široké množství materiálů. Nejlevnější variantou je například ocel třídy 11 nebo šedá litina. Střední variantou jsou například chromové nerez oceli třídy 17 nebo Al-MMC slitiny. U sportovních a závodních typů motocyklů se využívá především kompozitních materiálů s uhlíkovými vlákny a keramika.

Ze zadání nevyplyvá, že by měl mít materiál extrémně kvalitní vlastnosti nebo speciální vlastnosti, proto je zvolena ocel 17 023 s průměrnými vlastnostmi a cenou. Nejpoužívanější značení oceli uvádí tabulka 1.

Tab. 1 Značení použité oceli 17 023 [38]

Lokalita	ČR	Německo	Euro zóna	USA
Norma	ČSN 41 7023	10088/1-3-95	EN 10088/1-3-95	A276
Značení	17 023	X30Cr13	X30Cr13	Type 420

♦ Chemické složení a mechanické vlastnosti

Ocel obsahuje velké množství chromu. Chrom zajišťuje vysokou odolnost vůči korozi, zvyšuje pevnost v tahu, tvrdost a odolnost proti opotřebení. Odolnost proti korozi lze zvýšit, pokud je povrch leštěný. Obsahem uhlíků je ocel předem určena ke kalení nebo zušlechťování. Kompletní chemické složení ukazuje tabulka 2.

Tab. 2 Chemické složení použité oceli 17 023

Prvek	Uhlík	Křemík	Mangan	Fosfor	Síra	Chrom
Obsah[%]	0,26-0,35	Max. 1	Max. 1,5	Max. 0,04	Max. 0,03	12 – 14

Mechanické vlastnosti jsou různé podle teploty kalení a teploty následného popouštění, času výdrže na kalící a popouštěcí teplotě, způsobu ochlazování a jeho rychlosti. Obr. 4. ukazuje vliv popouštěcí teploty na pevnosti v tahu a meze kluzu $R_{p0,2}$ po kalení při teplotě 950 °C a následném popouštění po dobu 2 hodin. Po zušlechťování ocel dosahuje přibližné hodnoty meze pevnosti v tahu maximálně 1000 MPa, meze kluzu $R_{p0,2}$ 650 MPa a minimální tažnost 10 %.



Obr. 4 Vliv teploty na pevnost při popouštění [38]

♦ Fyzikální vlastnosti, technologické zpracování a užití

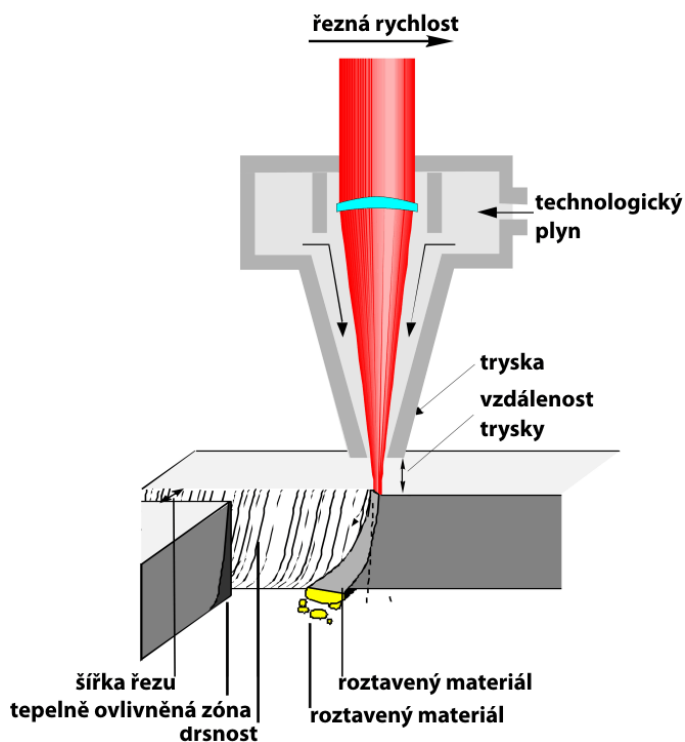
Hustota oceli je $7,73 \text{ g/cm}^3$. Před tepelným zpracováním je dobře tvárná za tepla a dobře obrobitelná. Žihání ke snížení vnitřního pnutí probíhá mezi teplotami $700\text{--}750^\circ\text{C}$, základní žihání pak mezi teplotami $800\text{--}840^\circ\text{C}$ a ochlazováním na vzduchu. Kalení probíhá většinou v rozmezí teplot $950\text{--}1050^\circ\text{C}$ a následném ochlazování na vzduchu nebo oleji. Popouštění probíhá nejčastěji v rozmezí $200\text{--}350^\circ\text{C}$, protože v takovém rozmezí pak materiál vykazuje zvýšenou ořezuvzdornost. Po tepelné úpravě má ocel jasně lesklý povrch a odolává rezivění a slabým organickým kyselinám. Ocel je velice špatně svařitelná. Nejčastější použití oceli je na díly přicházející do styku s párou nebo vodou. V kaleném stavu se ocel používá na nástroje a v zušlechtěném stavu na konstrukční součásti.

1.2 Možnosti výroby [6], [21], [32]

Navržená kotoučová brzda lze vyrobit mnoha metodami, přičemž je lze rozdělit na konvenční a nekonvenční způsoby. Konvenční je více používaný a zpravidla i déle používaný pro výrobu součástí. Nekonvenční způsob je méně používaný a většinou bývá i dražší. Z nekonvenčních metod, kterými lze vyrobit kotoučovou brzdu, připadá v úvahu například řezání laserovým paprskem, plazmovým paprskem nebo vodním paprskem. Z konvenčního způsobu výroby je možnost vyrobit součást vysekáváním, postupovým nebo přesným stříháním.

1.2.1 Řezání laserovým paprskem [6], [16], [19], [21]

Zpracování materiálů laserem je založeno na přeměně světelné energie na tepelnou energii. LASER (Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation) znamená zesilování světla stimulovanou emisí záření. Záření z laseru vychází ve formě úzkého paprsku o malém průměru, který je zaostřen do bodu. Paprsek má vždy jednu barvu. Princip laserového svařování ukazuje obrázek 5. Při dělení vzniká spára vyplněná roztaveným kovem. Roztavený kov je nutné ze spáry odstranit řezným plynem. Základní parametry laserového svařování jsou uvedeny v tabulce 3, jsou však závislé na šířce děleného materiálu. Řezání pomocí laserového paprsku se dělí na dva základní způsoby. První způsob je tavné řezání. U tavného řezání se kov ze spáry odstraňuje proudem interního plynu a řezným plynem je dusík. Metoda má vysokou spotřebu řezného plynu (až $50\text{Nm}^3/\text{hod}$). Metoda má kvalitnější řez, ale dosahuje nižší řezné rychlosti. Druhý způsob je oxidační řezání. Roztavený kov částečně shoří v proudě kyslíku. Řezným plynem je kyslík. Řezná rychlost je vyšší, ale řez je s okem v místě řezu odpařuje. Tato metoda je ve většině případů používána.



Obr. 5 Schéma laserového řezání [19]

Tab. 3 Základní parametry laserového řezání [19]

Hustota energie [W/cm ²]	Maximální hloubka řezu [mm]	Šířka/hloubka řezu	Řezná rychlost [m/min]
10 ⁷ -10 ⁹	25	0,01-0,05	10

Výhody: Vysoká řezná rychlost
Vysoká přesnost a čistota řezu
Možnost řezat malé otvory, pásy a ostré úhly
Poměrně kvalitní a hladký řez
Velice úzká spára řezu a malá tepelně ovlivněná oblast
Řezná hrana kolmá vůči povrchu
Lze řezat téměř všechny technické materiály

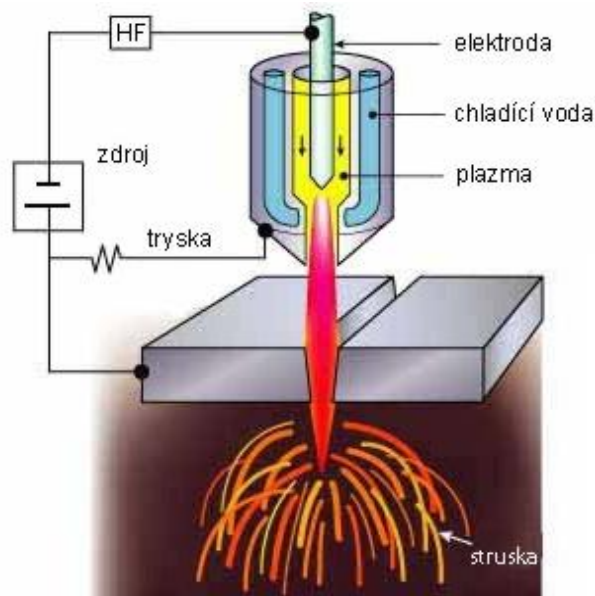
Nevýhody: Vysoké investiční a provozní náklady
Omezená tloušťka materiálu
Nutné řízení přesné vzdálenosti k povrchu
Nižší stabilita procesu u řezání konstrukčních ocelí
Nutné přesné řízení vzdálenosti k povrchu obrobku

1.2.2 Řezání plazmou [6], [19], [23]

Řezání plazmou se neustále rozvíjí. Dochází k snižování nákladů a zvyšování kvality. Plazma je stav plynu, který obsahuje záporně nabitě elektrony a kladně nabitě ionty. Navenek však plazma působí neutrálně, protože objemová hustota obou částic je stejná. Nejčastější vznik plazmy je pomocí elektrického výboje mezi anodou a katodou, kdy se elektrická energie mění na tepelnou. Druhý, méně používaný způsob je ohřátí plynu na vysokou teplotu.

Plazma je elektricky i magneticky vodivá.

Paprsek plazmy vzniká pomocí elektrické energie a plazmového plynu mezi katodou a řezaným materiálem. Katoda nejčastěji z wolframu se neodtavuje a je umístěna v dělicím hořáku. Řezaný materiál je napojen na kladný pól. Produkovaný paprsek mezi anodou a katodou má velkou hustotu energie a rychlost dosahuje až 2500 m/s. Základní parametry plazmového řezání jsou uvedeny v tabulce 4. Vlivem působení paprsku se materiál taví, sublimuje, odpařuje a rozstříkává. Z důvodu velkého tepelného zatížení plazmové hlavy, bývá hlava chlazená vodou zabudovanými kanálky v hlavě plazmy. Faktory ovlivňující výchozí řez jsou druhy plazmového a stabilizačního plynu, stupeň ionizace, velikost proudu a napětí, hustota energie paprsku od materiálu. Schéma plazmového řezání je ukázán na obr. 6.



Obr. 6 Schéma plazmového řezání [19]

st

Tab. 4 Základní parametry plazmového řezání [19]

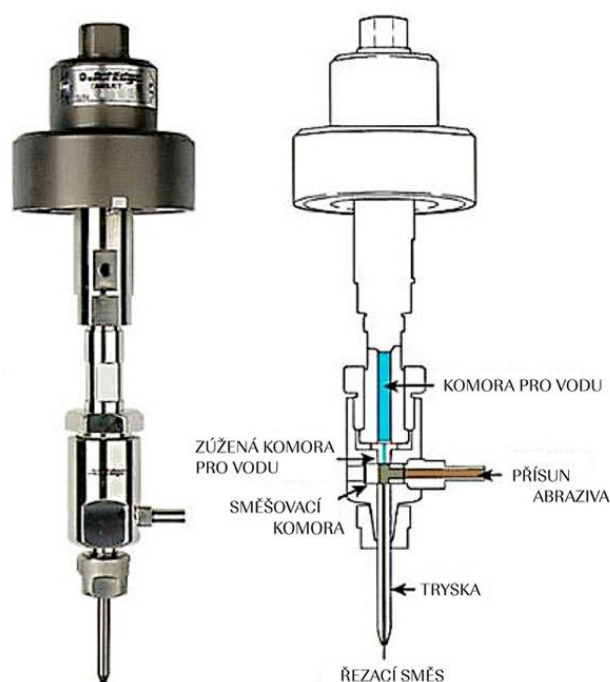
Hustota energie [W/cm ²]	Maximální hloubka řezu [mm]	Šířka/hloubka řezu	Řezná rychlost [m/min]
10 ⁶	180	0,1-0,3	0,5-5

Výhody: Velký výkon při řezání do tloušťky 30 mm
 Poměrně vysoká řezná rychlost
 Řezání pod vodou pro velmi malé tepelné ovlivnění a nižší hlučnost
 Při vysoké hustotě plazmy srovnatelná kvalita řezu jako u laseru
 Snadná automatizace a mechanizace

Nevýhody: Maximální řezaná tloušťka 200mm u suchého a 120mm u řezání pod vodou
 Širší řezná spára
 Úkos na řezané hraně
 Zaoblení horní hrany
 Řezatelné pouze elektricky vodivé materiály
 Velká hlučnost
 Vyzařuje UV záření a škodlivé dýmy
 Vysoké pořizovací náklady

1.2.3 Řezání vodním paprskem [16], [27], [28], [29]

Počátky využívání vodního paprsku pro řezání sahají do poloviny 20. století. Podstata řezání vodním paprskem spočívá v obroušování děleného materiálu tlakem vodního paprsku. V podstatě se jedná o zrychlenou vodní erozi, která je soustředěná do jednoho místa. Při řezání měkkých materiálu se používá čistý vodní paprsek. Při řezání tvrdších materiálů je třeba do vodního paprsku přidávat tvrdá abraziva. Nejčastěji se jako tvrdý abrazivní materiál využívá přírodní olivín nebo přírodní granát. Šířka vodního paprsku se pohybuje v rozmezí 0,15-0,30 mm. Technické parametry jsou uvedeny v tabulce 5. Zdrojem jsou speciální vysokotlaká čerpadla. Je možné provádět i tvarově složité řezy během jedné operace. Na obr. 7 je ukázána řezací hlava vodního paprsku.



Obr. 7 Řezací hlava vodního paprsku [29]

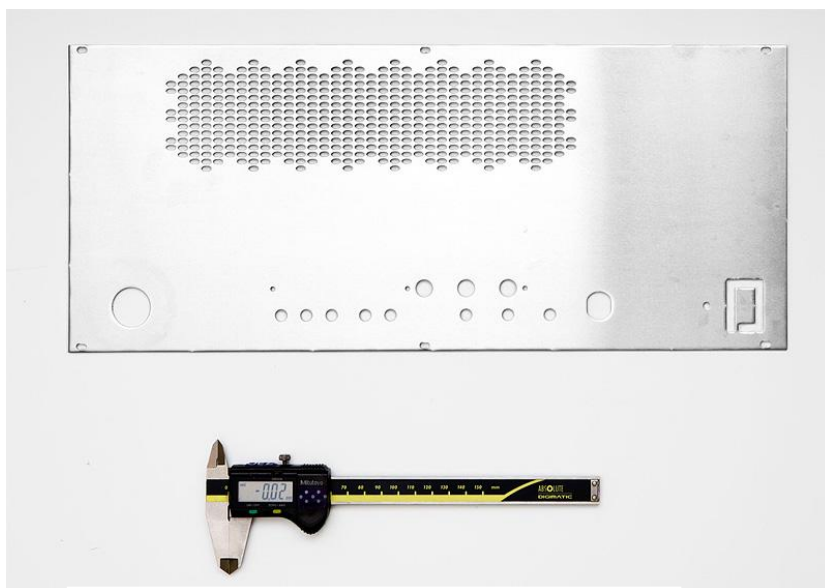
Tab. 5 Základní parametry vodního paprsku [29]

Tlak vody [Bar]	Maximální hloubka řezu [mm]	Šířka/hloubka řezu	Řezná rychlost [m/min]
500-6500	250	0,008-0,02	0,05-0,5

- Výhody:**
- Řezaná součást není tepelně ovlivněna
 - Minimální silové působení = Nedochází ke vzniku mikrotrhlin
 - Možnost řezat od minimální tloušťky 0,1 mm až po 250 mm
 - Nevznikají žádné ekologicky nevhodné zplodiny ani polétavý prach
 - Malý prořez
 - Lze řezat lepkavé, drolivé a křehké materiály
 - Řez bez otřepů = Řezná hrana nevyžaduje většinou další obrábění
 - Příznivá cena chodu stroje
- Nevýhody:**
- Nevyhnutelný kontakt s vodou
 - Kovové materiály nutno vhodně ošetřit
 - Delší vysoušení u nasákavých materiálů
 - Častá údržba stroje
 - Vysoké pořizovací náklady

1.2.4 Vysekávání [12], [25], [37]

Jedná se o beztržiskové dělení materiálu, které je velice podobně stříhání. Dosahuje velice vysoké produktivity. Metoda se používá tam, kde je výrobek velice složitě tvarově navržen, že jej není možné vyrobít metodou stříhání. Nebo druhá možnost použití je při výrobě jednodušších výrobků, kde je požadován co nejefektivnější proces výroby, jako například u těsnění nebo podložek. Často se technologie využívá při dosekávání děr do vypálených dílců. Technologií lze vyrobit i velmi rozměrné součásti. Přesnost většinou bývá v rozmezí 0,05-0,2 mm. Maximální tloušťka materiálu, který jde vysekávat je 8 mm. Ukázka možnosti výroby pomocí vysekávání je ukázána na obr. 8.

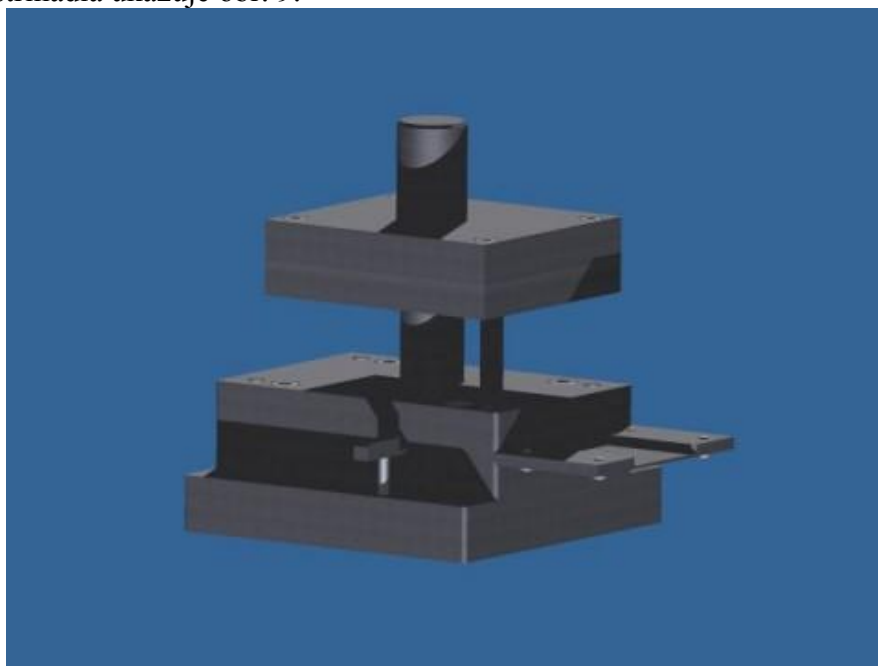


Obr. 8 Ukázka možnosti děrování [25]

- Výhody:**
- Vysoká produktivita
 - Možnost produkce malých a tvarově složitých otvorů
 - Vysoká přesnost
 - Méně odpadu
 - Součást není tepelně ovlivněna
- Nevýhody:**
- Děrování pouze tenkých plechu
 - Velké opotřebování nástrojů
 - Nutnost zhotovení výsekového nástroje nebo výsek na vícekrát

1.2.5 Postupové stříhání [13], [24], [33]

Už z názvu této technologie vyplývá, že se jedná o postupné zhotovení výstřižku na několik operací. V prvních operacích dochází k děrování výstřižku a v poslední vždy dochází k vystřížení obvodu. Při každém zdvihu se pás plechu posouvá o určitou vzdálenost, která je přesně určena buď načínacím dorazem při vložení nového pásu plechu, nebo při dalších posuvech plechu pevnými koncovými dorazy. Dále je pás plechu po své okrajové části ohraničen vodícími lištami, které zajišťují kolmé vedení pásu plechu na dorazy. K úplnému zvýšení přesnosti polohy mezi nástrojem a pásem plechu slouží hledáček, který je umístěn ve spodní části střížníku. U postupového stříhání dochází k lomu už v ohnisku plastické deformace. Z tohoto důvodu střížné plochy nevykazují příliš vysokou kvalitu. Kvalita střížné plochy lze ovlivnit velikostí střížné vůle, rychlostí stříhu, geometrií nástroje a použitým materiálem plechu. Nejčastěji se přesnost plechu pohybuje v rozmezí IT12 – IT14. Schéma postupového stříhadla ukazuje obr. 9.



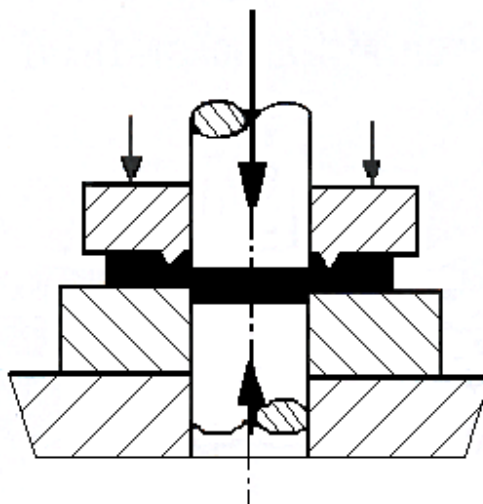
Obr. 9 Schéma postupového stříhadla [24]

- | | |
|-----------|--|
| Výhody: | Jednoduchá konstrukce nástroje
Snadná údržba
Možnost výroby složitějších tvarů
Relativně nízká pořizovací cena nástroje |
| Nevýhody: | Horší kvalita střížné plochy
Horší rozměrová přesnost
Nižší produktivita
V některých případech nutnost dalšího opracování |

1.2.6 Přesné stříhání [14], [31], [34]

Technologie přesného stříhání začala být používána později než ostatní metody stříhání. Touto technologií lze získat výstřižek vysoké přesnosti, s dobrou drsností povrchu a kolmostí střížné plochy. Výstřižek tedy už po stříhání nevyžaduje další úpravu a může být ihned použit. To znamená ušetření nákladu za další opracující stroje a snížení celkového výrobního času konečného výrobku, na úkor vyšších pořizovacích nákladů za přesné stříhadlo. Technologie

se tedy více uplatní u sériové a velkosériové výroby. Hranice určující zda bude použita technologie přesného stříhání, je většinou hodnota 40 000 kusů. Druhá možnost použití je tam, kde by bylo velké procento odpadu. V dnešní době má technologie přesného stříhání několik druhů a stala se nejpoužívanější způsobem stříhu. Oproti postupovému stříhání dosahuje mnohem větší přesnosti a to v rozmezí IT6 – IT11. Přesnost především závisí na tloušťce plechu. Nejpresnějších hodnot IT6 dosáhneme u tenkých plechů do tloušťky 1 mm a IT11 je většinou zaručena nad tloušťky 6 mm. Povrch střížné plochy má velice dobré parametry a to v rozmezí $Ra = 0,4 - 1,6$. Je zaručena také vysoce kvalitní kolmost střížné plochy. Nejpoužívanější metodou přeného stříhání je metoda s tlačnou hranou, která je schematicky znázorněna na obr. 10.



Obr. 10 Přesné stříhání – Metoda s tlačnou hranou [14]

Výhody: Velice kvalitní rozměrová přesnost
Hladký povrch
Vysoká produktivita
Vysoký stupeň automatizace

Nevýhody: Nutnost použití trojčinného lisu
Vyšší pořizovací náklady

1.3 Vyhodnocení variant výroby [12], [23], [31], [33], [34] , [37]

Z možných variant výroby by měla vybraná technologie skloubit dohromady dva faktory, na které se dnes klade největší důraz. Těmito faktory je kvalita a cena. Z hlediska kvality je téměř stejně důležitá rozměrová a geometrická přesnost jako estetické vnímání výrobku. Brzda je na viditelném místě a určitě při jejím prodeji bude hrát vliv i to jak vypadá. Cena v dnešním nasyceném trhu musí být opravdu co nejnižší, jinak je výrobek neprodejný. Dalšími faktory, na které bude brán ohled, jsou například produktivita výroby, pořizovací náklady, možnost automatizace a možnosti technologie.

Ze skupiny nekonvenčních metod tváření má nejvyšší kvalitu výrobku laser. Dosahuje dobré produktivity a možnosti výroby složitých tvarů, která však při výrobě brzdy nebude využita. Obrovskou nevýhodou je vysoká pořizovací cena a vysoké provozní náklady, proto není tato technologie úplně vhodná. Technologie řezání plazmy má o něco nižší pořizovací i provozní náklady a stále má poměrně dobrou produktivitu. Nevýhodou je nižší přesnost

výroby a kvalita řezné plochy. Pokud se řez neprovádí pod vodou, dochází navíc k tepelnému ovlivnění výrobku. Řezání pomocí plazmy se jeví ještě o něco horší než řezání laserem. Poslední možnou nekonvenční výrobou je řezání vodním paprskem. Na rozdíl od předešlých dvou technologií, se jedná o ekologicky nezávadnou metodu a levnější na provoz. Nejde se však vyhnout vysokým pořizovacím nákladům a časté údržbě stroje. Při řešení výroby kotoučové brzdy je proto pominuta nekonvenční možnost.

Možné způsoby konveční výroby vůbec tepelně neovlivňují materiál. První zástupce z konvenčních způsobů řešení výroby je vysekávání. Jedná se o velice produktivní a přesnou technologii. Má zvýšenou úsporu materiálu a možnost výroby. Velkou nevýhodou je opotřebování nástroje, které velice rychle roste s šířkou vysekávaného plechu. Proto je technologie vhodná pro plechy o malé tloušťce. Má se jednat o sériovou výrobu plechu o tloušťce 6 mm, proto je tato technologie nevhodná. Nejlépe se tedy jeví technologie stříhání. Postupové stříhání má nižší pořizovací náklady a větší možnost výroby než přesné stříhání. Má ovšem výrazně horší geometrickou přesnost, nižší kvalitu povrchu a o něco nižší produktivitu. Pro výrobu kotoučové brzdy má tedy nejlepší parametry technologie přesného stříhání.

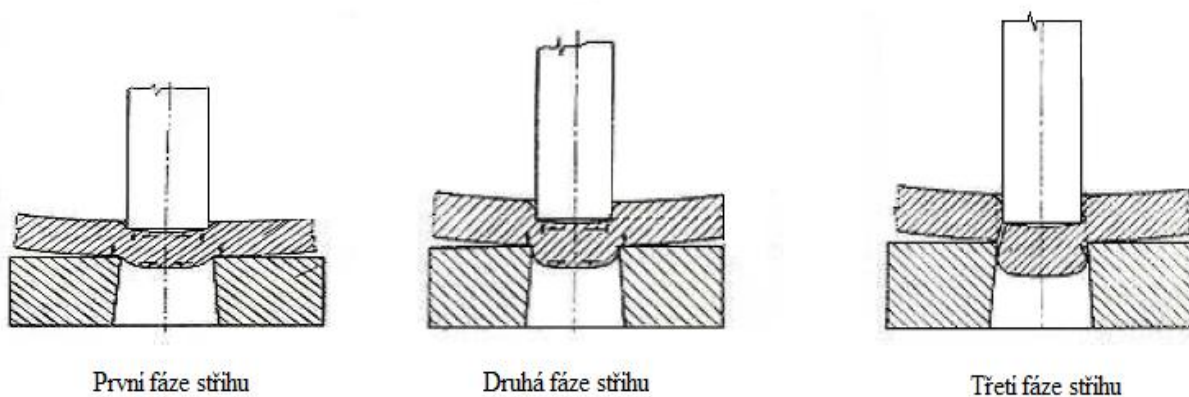
Přesné stříhání dosahuje velice kvalitního povrchu a vysoké geometrické přesnosti, součást tedy nebude muset dále jakkoliv být upravována. Dosahuje vysoké produktivity a možnosti automatizace. Oproti postupovému stříhání má o něco vyšší pořizovací náklady, ale stále výrazně nižší než je tomu u nekonvenčních metod. Stejně tak i provozní náklady jsou výrazně nižší než u nekonvenčních metod. Ze všech uvažovaných důvodů bude pro výrobu kotoučové brzdy nejvhodnější způsob přesného stříhání, na kterou je i zaměřena teoretická část práce.

2 PROBLEMATIKA TECHNOLOGIE STŘÍHÁNÍ [2], [3], [4]

Technologie stříhání je základní operací dělení materiálu. U kovu je zakončena porušením lomem v ohnisku deformace. Většinou se jedná o tváření za studena, kde je nejčastěji polotovarem plech. Smysl stříhání spočívá v oddělování materiálu protilehlými břity nožů. V průběhu stříhání dochází k postupnému nebo současnému oddělování materiálu v celém průřezu podél křivky stříhu. Snaha u stříhání je ovlivnit průběh operace, aby byla co nejkvalitnější střížná plocha s co možná nejtenčím utrženým pásmem a deformací výstřížku. Mezi nejdůležitější konstrukční parametry, které tyto vlastnosti ovlivňují, patří velikost střížné mezery, vlastnosti stříhaného materiálu, způsob stříhání a kvalita střížného nástroje.

2.1 Základní princip stříhání [2], [3], [4]

Proces stříhání má tři základní fáze. V první fázi dochází k pružné deformaci, která bývá do hloubky mezi 5 – 8 % tloušťky materiálu. Působící síly mezi hranami střížníku a střížnice způsobují nežádoucí ohyb polotovaru. Tím vzniká na stříhaném materiálu zaoblení. V druhé fázi dochází k překročení meze kluzu a tedy ke vzniku trvalé plastické deformace. Druhá fáze zasahuje do hloubky mezi 10 - 25 % tloušťky plechu v závislosti na mechanických vlastnostech materiálu. Na úplném konci této fáze dosahuje napětí hodnoty pevnosti ve stříhu. V třetí fázi dochází k překročení meze pevnosti ve stříhu. Střížník je zabořený do materiálu v rozmezí 10-60 % jeho tloušťky. Nejdříve v materiálu dochází ke vzniku mikroskopických trhlinek a potom ke vzniku makroskopických trhlin a následně k oddělení výstřížku. Fáze je velice závislá na střížné mezeře a vlastnostech stříhaného materiálu. Celý průběh stříhání je vidět na obr. 11.



Obr. 11 Střížná fáze [2]

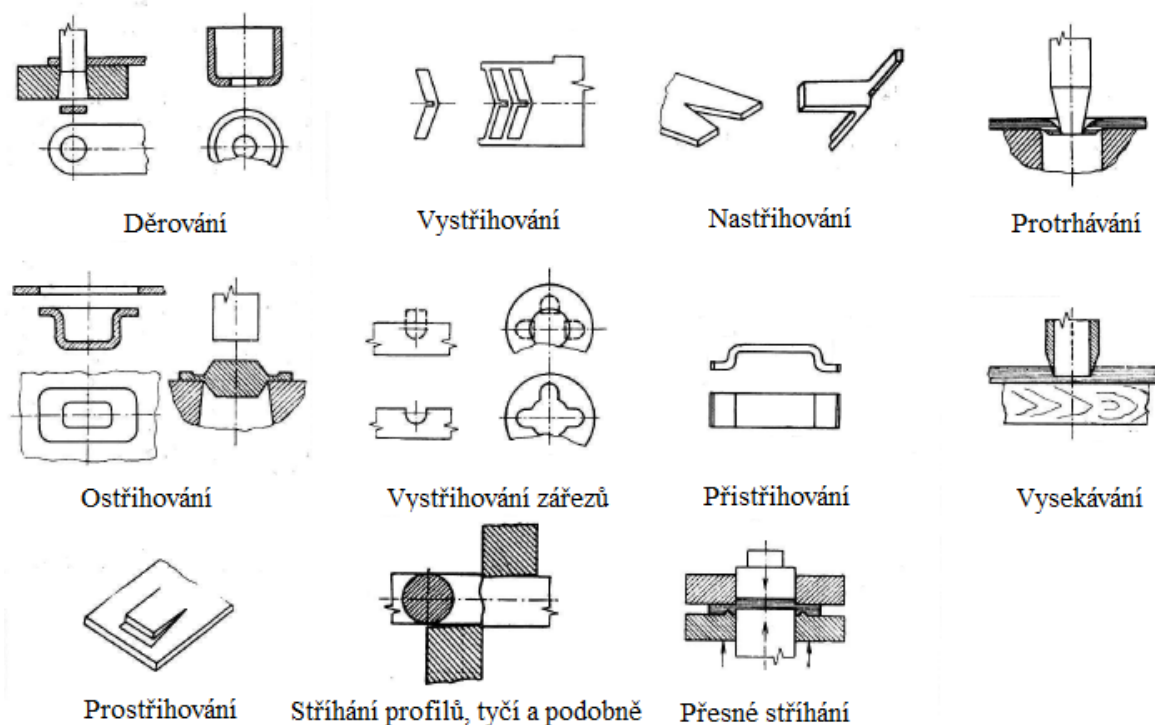
Proti tomuto působení se snaží stříhaný materiál bránit vyvozením vnitřního napětí, které bývá označováno jako střížný odpor. Střížný odpor je především závislý na střížném materiálu a jeho mechanických vlastnostech. Jeho hodnota roste s rostoucí pevností materiálu a klesající tvárností. Klesá naopak s rostoucí tloušťkou materiálu a rostoucí velikostí křivky stříhu a její pravidelností. Velký vliv má také střížná vůle, jejíž velikost je potřeba správně zvolit, aby byla dosažena co nejmenší hodnota střížného odporu. Střížný odpor je dále ovlivněn střížnými podmínkami, jako jsou rychlost stříhání, velikost tření, použité mazivo, chlazení a stav střížných hran nástrojů. Tyto podmínky se dají snadno nastavit nebo změnit, což má ale za následek zvýšení nákladů na výrobu. Přesné stanovení střížného odporu je velice složité. Přibližná hodnota lze určit ze vztahu:

$$k_s = \frac{F_s}{S_s} \quad [\text{N/mm}^2] \quad (2.1)$$

kde F_sstřižná síla [N]
 S_splocha stříhu [mm²]

2.2 Dělení technologie stříhání [2], [3], [4]

Stříhání se dá rozdělit podle několika způsobů. Prvním z častých způsobů je způsob stříhání, kde se dělí na stříhání s rovnoběžnými střižnými hranami a stříhání s šikmými střižnými hranami. Druhý způsob je dle tvaru křivky stříhu, kde se dělí na stříhání s úplným oddělením materiálu podél uzavřené křivky a stříhání, při kterém se materiál úplně oddělí podél neuzavřené křivky stříhu. Třetí z častých způsobů rozdělení je podle typu stříhání. Rozdělení podle typů stříhání ukazuje obr 12.



Obr. 12 Rozdělení dle typu stříhání [2]

Další možností dělení je podle druhu stříhadel. Hlavní funkcí stříhadla plní horní pohyblivý nůž, kterému se říká střižník. Spodní nepohyblivá část je střižnice.

Prvním typem je jednoduchý střižný nástroj. Jedná se o nejběžnější nástroj pro jednoduchou výrobu. Využívají se jen pro výstřižky bez otvoru se současným rovnáním. Poloha pásu je zajištěna pevným dorazem a k posunu pásu většinou dochází ručně.

Druhý typ je postupový střižný nástroj. Má podobnou konstrukci jak jednoduché stříhadla, jen je doplněn o děrovací střižníky nebo ostřihovače. Dochází k postupné výrobě na několik operací.

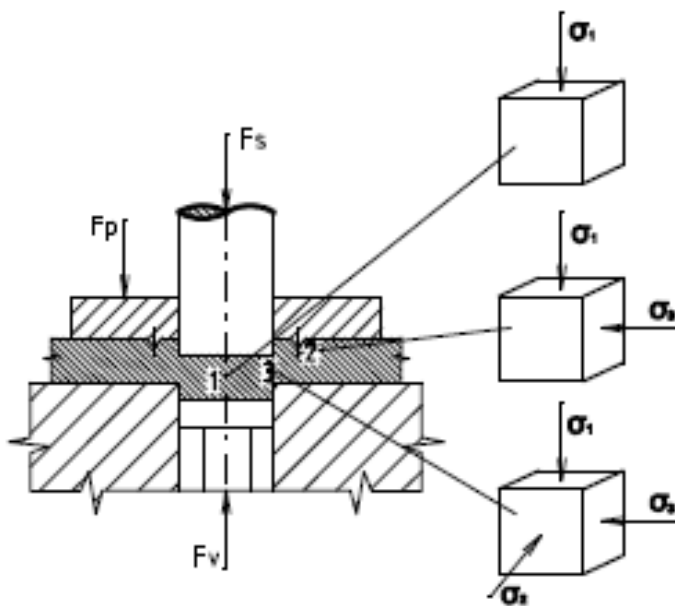
Třetím typem je propadový střižný nástroj, který je určen k vystřihování a děrování výstřižku. Jedná se o zjednodušený typ běžného stříhadla. Je vhodný pro lisování bez rozvodů tlakového vzduchu.

Posledním typem jsou sloučené a sdružené nástroje. U sloučeného stříhadla dochází k více operacím v jednom kroku. Dochází zároveň k vystřihování a děrování. Sdružený nástroj slučuje dohromady více operací v jednom kroku. Může jít například o kombinaci mezi stříhem, tahem, ohybem, atd.

V neposlední řadě se technologie stříhání dělí dle kvality stříhu na běžné stříhání a přesné stříhání.

3 TECHNOLOGIE PŘESNÉHO STŘÍHÁNÍ [1], [4], [10]

Technologie stříhání byla o něco později zpřesněna na technologii přesného stříhání, kdy při zvýšených nákladech na stříhání dosahuje výstřížek přesnějšího tvaru, hladké střížné plochy kolmé k rovinně plechu. Důležité je posouzení, zda je výstřížek vhodný pro použití této technologie. K posouzení slouží faktory jako je počet vyráběných dílů, procento odpadu a zda bude potřebná nějaká dokončovací operace. Počet vyráběných dílů k vhodnosti použití této technologie je minimální množství 40 000. Jestli je procento odpadu vysoké, nebo výstřížek vyžaduje mnoho dokončovacích operací, volí se technologie přesného stříhání. Průběh procesu přesného stříhání je podstatně složitější než u klasického stříhání a závisí především na vyvození tříosého stavu napjatosti v místě stříhu. Při přesném stříhání vznikají v materiálu tři oblasti s různými schémata napjatosti, jak ukazuje obr. 13. Nejvýhodnější oblast z hlediska vylučující vznik trhlin a podporující průběh čistého plastického stříhu je oblast všestranného tlaku, která je na obr. 16 znázorněna číslicí 3. Vliv rychlosti deformace a teploty nemají až tak velký vliv. Rychlost deformace je omezena maximální velikostí 15 mm/s. Tím je zaručeno, že se nástroj bude minimálně rázově namáhat. Díky pomalé rychlosti deformace je navíc zaručený odvod tepla ze střížné oblasti do okolního materiálu a tím k snížení tepelného pnutí na střížné hraně a opotřebení střížníku a střížnice je velice nízké.



Obr. 13 Schéma napjatosti u přesného stříhání [4]

3.1 Dělení technologie přesného stříhání [2], [4]

Přesné stříhání se dá rozdělit do pěti kategorií podle způsobů stříhání. Každá kategorie se hodí pro jiné rozmezí tloušťky polotovaru, jiné výrobní množství, a zda dochází jen k úpravě polotovaru po nějaké jiné tvářecí operaci, jako je například kování, protlačování nebo lití pod tlakem. Jednotlivé kategorie přesného stříhání jsou:

Přesné stříhání s tlačnou hranou – Vhodné pro tloušťky do 10 mm a sériovou výrobu

Přesné stříhání se zaoblenou střížnou hranou – Vhodné pro plechy do tloušťky 3 mm a malosériovou výrobu

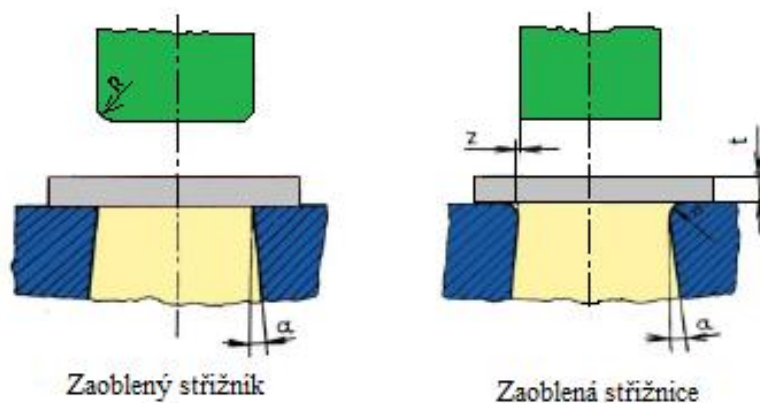
Přesné stříhání se zkoseným přidržovačem - Vhodné pro plechy do tloušťky 3 mm a malosériovou výrobu

Přistříhování – Vhodné na úpravu po jiné tvářecí operaci a malosériovou výrobu

Kalibrování - Vhodné na úpravu po jiné tvářecí operaci a malosériovou výrobu

3.1.1 Přesné stříhání se zaoblenou střížnou hranou [3],[4],[10]

Zaoblenou střížnou hranu má vždy jen jeden nástroj, buď střížník nebo střížnice. U prvního případu, kdy je střížník ostrý a střížnice zaoblená je dosaženo kvalitního povrchu vnitřního obrysu. Druhý způsob, kdy je střížník zaoblen a střížnice ostrá je dosaženo kvalitního povrchu vnějšího obrysu. V prostoru stříhu je vyvozen dvouosý stav napjatosti. Zaoblení hran, ať už střížníku nebo střížnice se pohybuje mezi $15 \div 20 \%$ tloušťky stříhaného plechu. U tvarově složitých součástí je poloměr zaoblení větší, dosahuje hodnoty až 25% . Tloušťky plechu. Střížná vůle se pohybuje v rozmezí mezi $0,01 \div 0,025 \text{ mm}$. Vhodné materiály pro tuto technologii jsou měkké uhlíkové ocele, mosazi, hliník a jeho slitiny. Dosažený stupeň přesnosti je o něco horší než v případě přesného stříhu s tlačnou hranou a pohybuje se v rozmezí od $IT9 \div IT11$. Tato technologie však dosahuje kvalitnějšího povrchu v rozmezí $Ra=0,4 \div Ra=0,8$. Otřepy na střížné hraně dosahují přibližně stejné velikosti jako u standardního stříhání. Schéma přesného stříhání se zaoblenými hranami střížníku a střížnice je zobrazeno na obr. 14.



Obr. 14 Schéma přesného stříhání se zaoblenou střížnou hranou [3]

3.1.2 Přesné stříhání se zkoseným přidržovačem [3], [4], [10]

Metoda přesného stříhání se zkoseným přidržovačem se používá velice vzácně, z důvodu potřeby zařízení schopného vyvodit dostatečnou sílu na přidržovači. Stejně jako u minulého způsobu přesného stříhání dosáhneme pouze dvouosého stavu napjatosti. Vrcholový úhel přidržovače svírá úhel $178^{\circ}30'$. Stejně jako předchozí metoda má i tato metoda zaoblené střížné hrany na střížnici. Zaoblení dosahuje pouze velikosti menší než $0,01 \text{ mm}$. Schéma stříhání se zkoseným přidržovačem je znázorněn na obr. 15.



Obr. 15 Přesné stříhání se zkoseným přidržovačem [3]

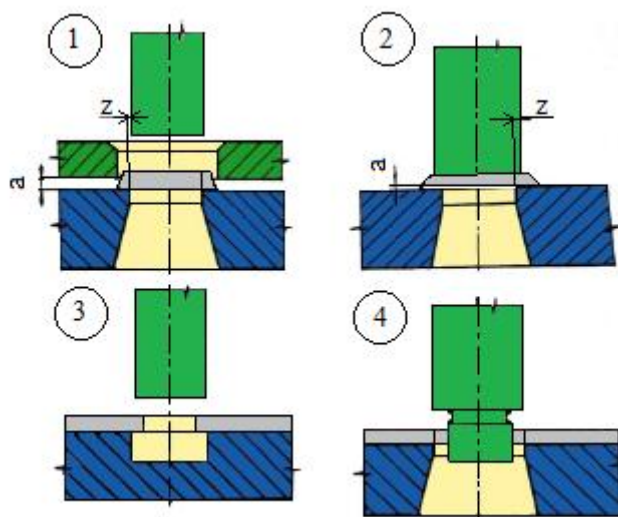
3.1.3 Přistříhování [3], [4], [10]

Jedná se o dodatečnou operaci, kdy z výstřížku je odebíráno pouze menší množství materiálu ze střížné plochy v jedné nebo více operacích. Odebíraná tloušťka materiálu v jedné operaci se pohybuje v rozmezí $0,1 \div 0,5$ mm. Pracovní pohyb může provádět nástroj jako u všech metod nebo stříhaná součást. Odebíraný materiál se musí odebírat kolmo k opracované ploše. Je snaha dosáhnout pozitivního zakřivení povrchu. Pozitivní zakřivení povrchu je docíleno, pokud vlivem působení vnitřních tlakových napětí se odstřížek rozpadne. Pokud by bylo dosaženo negativního zakřivení povrchu, docházelo by k nežádoucímu brzdění odvodu odstřížku a odstřížek je přechován tlakovým napětím. Ve výstřížku pak vznikají pásma zvýšených napětí, kde se vylamují drobné části materiálu, a dojde ke zhoršení jakosti povrchu výstřížku. Technologie je velice nevhodná pro sériovou nebo dokonce velkosériovou výrobu. U přistříhování může být střížník větší než je otvor ve střížnici. Při stlačení výstřížku však nedojde k úplnému protlačení v jednom zdvihu, ale k dotlačení výstřížku dojde až při následném vystříhování dalšího výstřížku. Dosažená drsnost je přibližně stejná jako u jemného obrábění.

Průběh přistříhování spočívá ve vedení součásti s přídavkem do střížnice, během kterého střížná hrana střížnice odděluje přídavek od výstřížku. Je dosaženo velkého třecího působení mezi součástí a střížníkem a v odstřížku působí ve směru obvodu tažné nebo tlakové síly v závislosti na tvaru zakřivení tvářených ploch. Vlivem těchto dějů dochází v závěru k zvýšení síly. Během postupného odstříhávání se nepřistřížená výška součásti neustále zmenšuje a ve zbylé části stále stoupá napětí. Průběh přistříhování je znázorněn na obr. 16.

Jsou rozlišovány čtyři skupiny přistříhování:

- | | |
|---|-------------------|
| 1. Přistříhování vnějších otvorů s kladnou vůlí | – Obrázek 16. - 1 |
| 2. Přistříhování vnějších otvorů se zápornou vůlí | – Obrázek 16. - 2 |
| 3. Přistříhování vnitřních otvorů | – Obrázek 16. - 3 |
| 4. Kombinace stříhání otvorů s přistříhováním | – Obrázek 16. - 4 |

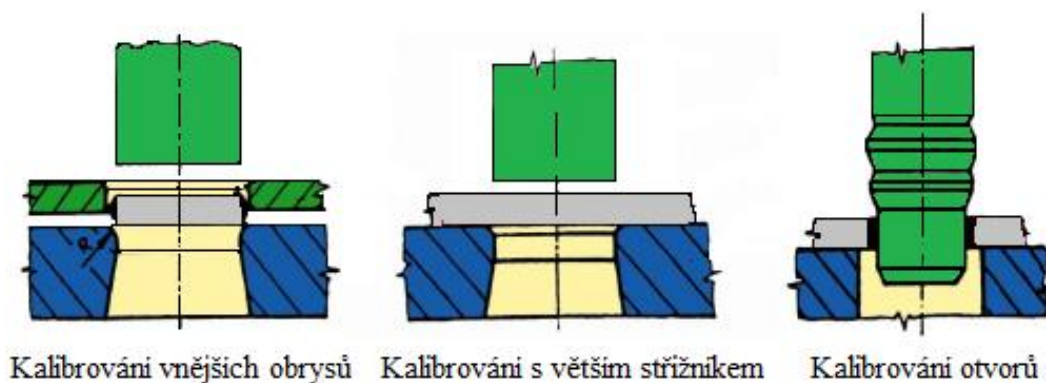


Obr. 16 Schéma přistříhování [3]

3.1.4 Kalibrování [3], [4], [10]

Kalibrováním se opět rozumí dodatečná operace již zhotoveného výstřížku s přídavkem. Přídavek je v rozmezí od $0,15 \div 0,4$ mm. Větší přídavky mohou být u tlustých plechů a pro větší poloměry zaoblení. Kalibrováním je možné upravovat vnitřní otvory i vnější obrys. Vnitřní otvory se kalibrují kalibrovacím trnem s jednou nebo více plochami a šířce mezi 1 a 3 mm. Plochy musí mít náběh a výběh pod úhlem 5° , které pomáhají k plynulému průběhu

kalibrování. Pro dosažení nejlepší možné kvality, musí být otvor vzdálený od okraje plechu v dostatečné vzdálenosti. Kalibrování vyžaduje větší střížnou sílu, než je tomu u přistřihování z důvodu zpevnění okraje materiálu vlivem předchozí operace. Na rozdíl od přistřihování dochází k odpružení materiálu a metoda je tedy méně přesná než přistřihování. Odpružení bývá mezi $0,02 \div 0,06 \%$ příslušného rozměru v závislosti na druhu materiálu a velikosti rozměru. Při kalibrování vnějších obrysů má střížnice zaoblení mezi $0,5 \div 1,5 \text{ mm}$. Střížník může být opět větší než střížnice v rozmezí od $0,1 \div$ do $0,5 \text{ mm}$. Často se tento způsob používá u barevných kovů, lehkých kovů a jejich slitin. Střížnice ovšem nesmí být zaoblena, ale musí mít ostré rohy. Maximální spodní poloha střížníku je pak mezi $0,2 \div 0,4 \text{ mm}$ nad střížnicí. Schéma kalibrování ukazuje obr. 17.



Obr. 17 Schéma kalibrování [3]

3.1.5 Přesné stříhání s tlačnou hranou [4], [10]

Přesné stříhání s tlačnou hranou využívá přidržovač a tlačnou hranu k přichycení plechu a zabraňuje tedy jeho průhybu během stříhu. Rozměry a geometrie tlačné hrany mají vliv na kvalitu stříhu a jsou proto voleny a počítány s velkou opatrností. Jedná se o nejpoužívanější metodu přesného stříhání, která bude použita i pro výrobu zadané součásti, proto budou následující kapitoly zaměřeny právě na tuto problematiku.

3.2 Kvalita povrchu stříhu [1], [4], [10]

Celková kvalita výstřížku u přesného stříhání je samozřejmě vyšší, než je u standardního způsobu stříhání. Přesnost výstřížku se pohybuje v rozmezí IT6 ÷ IT9. Kdy přesnější tolerance IT6 je pro plechy do tloušťky 1mm a IT9 pro plechy s tloušťkou nad 6mm. Porovnání přesností u různých tloušťek materiálu ukazuje tabulka 6. Rozměrová přesnost a drsnost povrchu výstřížku závisí na druhu stříhaného materiálu, na nástrojích a tlaku přidržovače a vyhazovače. U výstřížku se posuzuje faktor přesnosti, pro který platí vzorec:

$$F_{pre} = \frac{\Delta h}{t} \cdot 100 \quad [\%] \quad (3.1)$$

kde Δhtloušťka okraje materiálu po stříhu [mm]
 ttloušťka materiálu [mm]

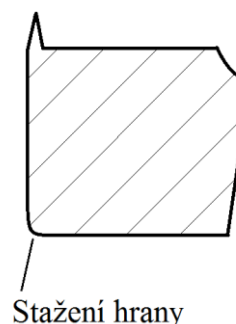
Drsnost střížné plochy se pohybuje v rozmezí $R_a = 0,4$ a $R_a = 1,6$. Lepší drsnosti je dosažena, pokud je správně zvolen postranní odpad, můstek a protitlak. Střížná hrana dosahuje velice přesné kolmosti od střížné plochy. Do 4 mm tloušťky plechu je rozdíl v kolmosti 0,01 mm. Pokud je požadovaná stejně vysoká přesnost i u tloušťek plechu nad 4 mm je potřeba použít dvou tlačných hran.

Tab. 6 Rozměrová přesnost součástí [10]

Tloušťka materiálu [mm]	σ_{Pt} do 500 MPa			σ_{Pt} nad 500 Mpa		
	vnitřní tvar IT	vnější tvar IT	tolerance roztečí [mm]	vnitřní tvar IT	vnější tvar IT	tolerance roztečí [mm]
0,5 ÷ 1	6 ÷ 7	7	±0,01	7	8	±0,01
1 ÷ 2	7	7	±0,015	7 ÷ 8	8	±0,015
2 ÷ 3	7	7	±0,02	8	8	±0,02
3 ÷ 4	7	8	±0,02	8	9	±0,02
4 ÷ 5	7 ÷ 8	8	±0,03	8	9	±0,03
5 ÷ 6	8	9	±0,03	8 ÷ 9	9	±0,03
6 a větší	8 ÷ 9	9	±0,03	9	9	±0,03

Na výstřížku při použití technologie přesného stříhání vznikají podstatně nižší stažení hrany než u standardního stříhání. Obr. 18 ukazuje místo stažení na výstřížku. U tvrdého materiálu je stažení hrany menší než u měkkého materiálu. Pro výšku stažení platí tři pravidla:

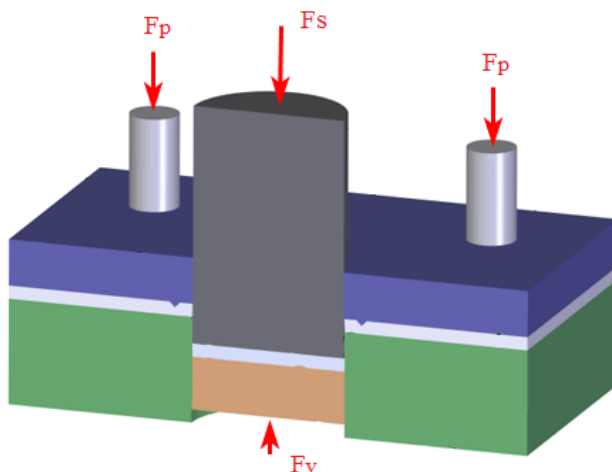
1. U přímých tvarů je stažení hrany menší než 10 % tloušťky materiálu
2. U zakřivených tvarů může stažení hrany činit až 20 % tloušťky materiálu
3. U extrémně nepříznivých tvarů jako jsou zuby a hrot, jejichž zubová šířka je menší než tloušťka materiálu, může stažení hrany být až 30 % tloušťky materiálu



Obr. 18 Stažení hrany výstřížku [10]

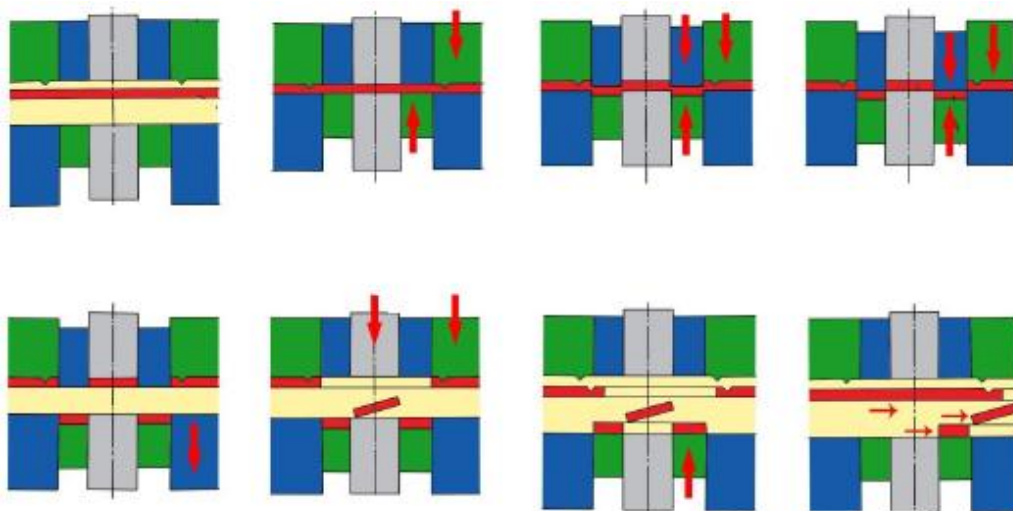
3.3 Přesné stříhání s tlačnou hranou [1], [4], [6], [9], [10], [30]

Tento způsob je nejpoužívanější z metod přesného stříhání. Princip spočívá v sevření materiálu v počáteční fázi stříhání mezi přidržovač a střížnici. Tlačná hrana je tedy vtlačena do materiálu ještě před stříháním. Tlačná hrana na přidržovači musí být umístěna tak, aby nezasahovala do křivky stříhu a byla vedena podél obrysu součásti. Nejvhodnější je umístit střížnou hranu do oblasti, kde po zatlačení tlačné hrany do materiálu vznikne trojosá napjatost. Tím je docíleno všestranného tlaku, který podporuje průběh čistého plastického stříhu. Přesnost se pohybuje v rozmezí od IT6 ÷ IT9 a drsnost mezi $Ra=0,4$ ÷ $Ra=1,6$. Schéma metody je ukázáno na obr. 19.



Obr. 19 Schéma stříhání s tlačnou hranou [4]

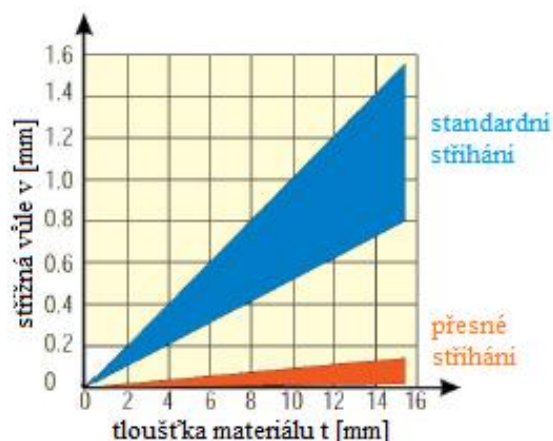
Průběh procesu přesného stříhání s tlačnou hranou má několik fází. V první fázi je nástroj otevřen a je dovnitř vsunut pás plechu stejně jako u běžného stříhání. Ve druhé fázi dojde k přesunutí beranu lisu k střížníku rychloposuvem. Následně dojde k zpomalení posuvové rychlosti, aby mohlo dojít k automatické kontrole vnitřního prostoru na přítomnost cizího tělesa, které mohlo zůstat v prostoru stříhu po předchozí operaci nebo mohlo dojít k jeho nechtěnému vložení s pásem plechu. Po kontrole střížného prostoru a zjištění, že je prostor čistý dojde k aktivaci hlavního pístu. Po dosažení kontaktu střížníku s pásem plechu dochází k výstřihování vlivem působení střížné síly. Po úplném odstřížení je výstřížek vtlačen do střížnice. Hloubka vtlačení do střížnice přibližně odpovídá tloušťce stříhaného plechu. Pokud má výstřížek kromě obvodového stříhu i vnitřní tvarové výstřihy, dochází během stříhání k vtlačení výstřihů do střížníku pomocí vyhazovače. V následující fázi je zastaven hydraulický tlak a nástroj se znovu otevře. Poté dochází k setření výstřížku ze střížnice pomocí stírací síly, která má velikost mezi 10 ÷ 15 % střížné síly. V poslední fázi je vytlačen hotový výstřížek ze střížnice do prostoru nástroje a může dojít k posunutí pásu plechu a k opětovnému přesnému stříhání. Celý průběh přesného stříhání ukazuje obr. 20.



Obr. 20 Průběh přesného stříhání s tlačnou hra [9]

♦ Střížná vůle

Střížnou vůli u přesného stříhání je zajištěno odsazení střížníku do střížnice jako je tomu u standardního stříhání. Volba její velikosti je však přesnější a má velký vliv na výsledný výstřížek. Velikost střížné vůle velice ovlivňuje hladkost střížné vůle. Čím je menší, tím je dosaženo více hladké plochy. Ve většině případů je snaha mít střížnou vůli stejnou po celé křivce stříhu. Střížná vůle se přibližně volí asi 10 krát menší než u klasického stříhání a pohybuje se tedy v rozmezí 0,5 ÷ 1 % tloušťky plechu, většinou se volí 0,5 % tloušťky plechu. Grafické porovnání střížné vůle pro obě technologie ukazuje obr. 21. Pro přesné určení velikosti střížné vůle slouží vzorce:



Obr. 21 Porovnání střížných vůli [4]

$$v = 0,32c \cdot t \sqrt{k_s} \quad \text{Pro plechy do 3 mm} \quad [\text{mm}] \quad (3.2)$$

$$v = 0,32(1,5c \cdot t - 0,15) \sqrt{k_s} \quad \text{Pro plechy nad 3 mm} \quad [\text{mm}] \quad (3.3)$$

kde ttloušťka stříhaného plechu $[\text{mm}]$
 k_sstřížný odpor $[\text{MPa}]$
 csoučinitel (0,005-0,025) $[-]$

♦ Vhodné materiály

Mezi vhodné materiály, které se používají u této metody přesného stříhání, jsou hliník a jeho slitiny do meze pevnosti maximálně 300 MPa, měď, některé druhy mosazí, berylium a jeho slitiny, cementační oceli, feritické oceli, nelegované oceli a nízkolegované oceli, austenitické nerezavějící oceli. Podrobnější popis vhodnosti materiálů ukazuje tabulka 7.

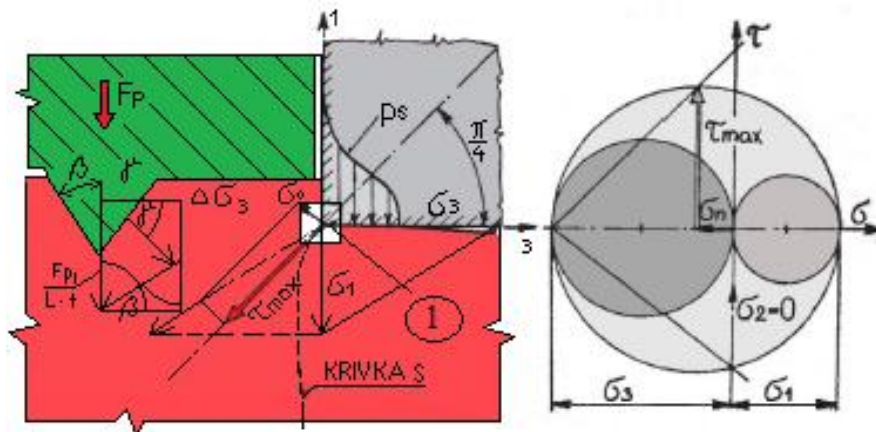
Tab. 7 Vhodnost materiálu k přesnému stříhání metodou s tlačnou hranou [10]

Vhodnost materiálu	Označení materiálu
Velmi dobrá	ČSN 11 300, 11 320, 11 330, 11 343, 11 373, 11 423, 11 425, 12 010, 12 014, 12 020, 12 023, 12 024, 42 4214
Dobrá	ČSS 11 500, 11 600, 11 700, 16 720
Špatná	Ms 63, Ms 60
Nevhodná	Ms 58
Nehodící	Ms 63Pb
Velké opotřebení nástroje	ČSN 12 040, 12 041, 12 050, 12 060, 12 061, 12 073, 12 081, 12 088, 13 180, 14 109, 14 120, 14 180, 14 220, 14 221, 14 260, 15 124, 15 130, 16 220, 16 221, 16 231, 16 420, 17 041, 17 240, 17 241, 17 246, 17 253, 19 103, 19 132, 19 140, 19 152, 19 191, 19 192, 19 221, 19 222, 19 252, 19 255, 19 312, 19 419, 19 452

♦ Rozbor stavu napjatosti

Pásmo plastického stříhu se na rozdíl od standardního stříhání zde přes celou tloušťku materiálu. Při stříhání je snaha dosáhnout většího podílu tlakového napětí v poměru

s tahovým. Čím je poměr větší, tím má tvářený materiál vyšší schopnost se plasticky deformovat. Pokud při tváření dosahují tahová napětí velkých hodnot oproti tlakovým, dochází k narušení soudružnosti tvářeného materiálu a dochází ke vzniku trhlin. Nejvhodnější rozložení hlavních napětí je trojosý tlak, kterého se dosahuje v nejvíce požadované oblasti – pásmu stříhu. Pásmo trojosého tlaku vylučuje vznik trhlin a podporuje průběh čistého plastického stříhu. Tohoto stavu je dosaženo pomocí tlačné hrany, která ve stříhaném materiálu vytvoří přídavné tlakové napětí $\Delta\sigma_3$. Přídavné tlakové napětí změní poměry v rovinné napjatosti uzavřeného stříhu, proto je dosaženo záporné hodnoty složky normálního napětí σ_n . Po převrácení působení složky normálního napětí nedochází k rozevírání trhlin, ale naopak k jejich uzavírání. Na obr. 22 je ukázána oblast pod střížnou hranou, kde dochází k těmto pochodům číslem 1.



Obr. 22 Schéma napjatosti [4]

Z geometrie tlačné hrany lze stanovit průmět funkční plochy přidržovače dle vzorce:

$$S_p = L_h \cdot h \cdot (tg(\gamma) + tg(\beta)) \quad [\text{mm}^2] \quad (3.4)$$

kde L_hdélka tlačné hrany [mm]
 hvýška tlačné hrany [mm]
 γvnitřní úhel tlačné hrany [°]
 βvnější úhel tlačné hrany [°]

Potřebná síla přidržovače na plastické tlačné hraně plyne z:

$$F_{pl} = S_p \cdot R_e = L_h \cdot h \cdot (tg(\gamma) + tg(\beta)) \cdot R_e \quad [\text{N}] \quad (3.5)$$

kde R_emez pružnosti [MPa]

Přídavná složka tlakového napětí se potom spočítá pomocí vzorce:

$$\Delta\sigma_3 = \frac{F_{pl}}{L_h \cdot t} \cdot \frac{1}{(tg(\gamma) + tg(\beta))} \quad [\text{MPa}] \quad (3.6)$$

kde F_psíla přidržovače [N]
 ttloušťka materiálu [mm]

Celkové napětí v oblasti na obr. 21 vyznačený číslem 1 lze určit:

$$\sigma_{3c} = \sigma_3 + \Delta\sigma_3 \quad [\text{MPa}] \quad (3.7)$$

kde σ_3tlakové napětí [MPa]

♦ Působící síly

Na rozdíl od standardního stříhání, kde jsou hlavními funkčními částmi nástroje střížník a střížnice, se u této metody používá navíc přidržovače s tlačnou hranou a vyhazovače, jenž ve stroji vyvozují další síly. Shodná síla, která působí v obou procesech je střížná síla, která je vyvolána tlakem působící na materiál od střížníku (F_s). U přesného stříhání s tlačnou hranou přibude navíc síla vyvolána tlakem přidržovače na materiál (F_p) a síla vyvozená od sevření materiálu mezi vyhazovač střížník (F_v). Sečtením těchto sil dostaneme celkovou sílu (F_c) potřebnou pro vystřížení požadovaného tvaru součásti. Jednotlivé síly jsou zobrazeny na obr. 17. Velikosti jednotlivých sil lze určit dvěma způsoby. První způsob je odečtení z nomogramů a druhý způsob je početní:

Střížná síla:

$$F_s = L_c \cdot t \cdot n \cdot \tau_{ps} = L \cdot t \cdot n \cdot 0,8 \cdot R_m \quad [\text{N}] \quad (3.8)$$

kde L_ccelková délka křivky stříhu [mm]
 ttloušťka stříhaného plechu [mm]
 τ_{ps}mez pevnosti ve stříhu [MPa]
 R_mmez pevnosti v tahu [MPa]
 nsoučinitel otupení [-]

Síla přidržovače:

$$F_p = 4 \cdot L_h \cdot h \cdot R_m \quad [\text{N}] \quad (3.9)$$

kde L_hdélka tlačné hrany [mm]
 hvýška tlačné hrany [mm]
 R_mmez pevnosti v tahu [MPa]

Síla vyhazovače:

$$F_v = S_s \cdot p \quad [\text{N}] \quad (3.10)$$

kde S_splocha výstřížku [mm²]
 pměrný tlak (30-70) [MPa]

Celková síla:

$$F_c = F_s + F_p + F_v \quad [\text{N}] \quad (3.11)$$

♦ Vynaložená práce

Stejná situace nastává i u práce. Standardní stříhání má jednu složku oproti třem u přesného stříhání. Stejná složka pro obě technologie je střížná práce (A_s), kterou vykonává střížník. Složky, které u standardního stříhání nenajdeme, jsou práce přidržovače (A_p) a práce vyhazovače (A_v). Celková spotřebovaná práce při přesném stříhání je 2 ÷ 3,5 krát vyšší než u standardního stříhání. Jednotlivé složky práce lze spočítat dle vzorců:

Střížná práce:

$$A_s = \frac{0,48 \cdot L_c \cdot t^2 \cdot R_m}{1000} \quad [\text{J}] \quad (3.12)$$

kde L_ccelková délka křivky stříhu [mm]
 ttloušťka stříhaného plechu [mm]
 R_mmez pevnosti v tahu [MPa]

Práce přidržovače:

$$A_p = \frac{2 \cdot L_h \cdot h^2 \cdot R_m}{1000} \quad [J] \quad (3.13)$$

kde L_h délka tlačné hrany [mm]
 hvýška tlačné hrany [mm]
 R_mmez pevnosti v tahu [MPa]

Práce vyhazovače:

$$A_v = \frac{S_s \cdot p \cdot t}{1000} \quad [J] \quad (3.14)$$

kde S_splocha výstřižku [mm²]
 pměrný tlak (30-70) [MPa]
 ttloušťka stříhaného plechu [mm]

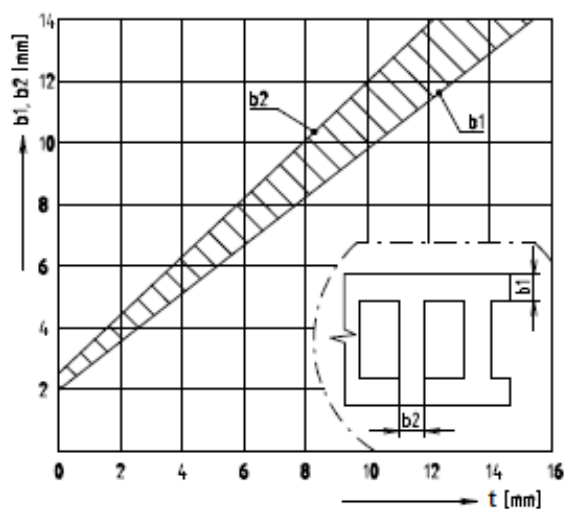
Celková práce:

$$A_c = A_s + A_p + A_v \quad [J] \quad ; \quad (3.15)$$

♦ Šířka můstku a velikost postranního odpadu

Pro způsob přesného stříhání s tlačnou hranou se ve většině případů musí volit větší šířka pásu plechu, na obrázku 23 přímka b2 a větší můstky, na obrázku 23 přímka b1 než u standardního stříhání. Je to způsobeno tlačnou hranou, která potřebuje prostor pro vtlačení do materiálu. Málo tvárné materiály potřebují šířku můstku a velikost postranního odpadu ještě větší než tvárné, aby mohlo dojít k trojosému stavu napjatosti. Nejsnadnější určení minimální šířky můstku a velikosti postranního odpadu je dle grafu. Na obr. 23 je ukázán příklad jejich závislosti na tloušťce materiálu pro ocel s pevnosti v tahu 400 MPa.

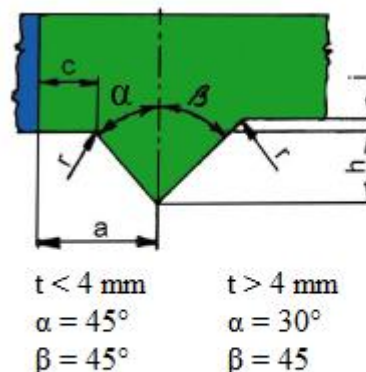
Metoda má omezení ve stříhání velkých poměrů mezi tloušťkou materiálů a rozměrem součástí a z hlediska tvaru součástí. Metoda například nedovoluje vystříhnout ostré rohy.



Obr. 23 Minimální velikost postranního odpadu a můstku [10]

♦ Tlačná hrana

Vlastnosti střížné plochy a životnost nástroje je ovlivněna tvarem, polohou a rozměry tlačné hrany. Poloha má vliv na spotřebu materiálu, účinek tlačné hrany a kvalitu střížné plochy. Pro dosažení optimálních podmínek by se musela tlačná hrana a její vzdálenost od křivky stříhu měnit. To by bylo velice náročné na konstrukci a vzrostla by cena nástroje. Příliš velká vzdálenost tlačné hrany od křivky stříhu zvyšuje spotřebu materiálu a snižuje její účinek. Příliš malá vzdálenost od křivky stříhu omezuje její vliv a tím je snížena kvalita střížné plochy. Vzdálenost od střížné hrany, na obr. 24 kóta



Obr. 24 Schéma tlačné hrany [4]

a, je v rozmezí $0,6 \div 1,2$ krát výška tlačné hrany, na obrázku kóta h. Pro málo tvárné materiály má hrana symetrický tvar a výšku odpovídající $1/6$ tloušťky stříhaného plechu. Pro tvárné materiály odpovídá výška tlačné hrany $1/3$ tloušťky stříhaného plechu. Do tloušťky 4 mm stříhaného plechu stačí jedna tlačná hrana na přidržovači, nad 4 mm tloušťky stříhaného plechu je potřeba dvou tlačných hran. Jedna tlačná hrana je umístěna na přidržovači a jedna na střižnici. Při tom dochází i ke změně úhlů na střižné hraně, jak ukazuje obr. 24. Tvárné materiály mají stejné úhly i pro větší tloušťky. Za tlačnou hranou dochází k redukci výšky nástroje pro odlehčení, na obr. 24 ji představuje kóta i. Hodnota pro odlehčení nabývá hodnot v řádu setin milimetrů.

♦ Střižník

Střižník může být buď jednoduchého kruhového tvaru, nebo tvarový. Základní porovnání těchto dvou typů je v tabulce 8.

Tab. 8 Porovnání střižníků [10]

Kruhový střižník		Typ střižníku	Tvarový střižník
1600 ÷ 1800 MPa		Maximální σ_{DOV}	1200 ÷ 1400 MPa
$\sigma_{DOV} = F_s/S = 4 \cdot t \cdot \tau_{ps}/d$ [MPa]		Výpočet σ_{DOV}	$\sigma_{DOV} = F_s/S = 2 \cdot l \cdot \tau_{ps}/b$ [MPa]
Příznivé		Napětí	Nepříznivé
kde	F_sstřižná síla		[N]
	Sprůřezová plocha střižníku		[mm ²]
	ttloušťka plechu		[mm]
	τmez pevnosti ve stříhu		[MPa]
	dprůměr střižníku		[mm]
	ldélka průřezu střižníku		[mm]
	bšířka tvarového střižníku		[mm]

Při přesném stříhání je střižník namáhán více, protože má vybrání pro vyhazovače a uvnitř otvory. Z tohoto důvodu dochází k vložkování nejvíce namáhaných částí. Při ustavování střižníku je důležité, aby na počátku procesu vystřihování byl střižník ve stejné úrovni nebo o 0,2 mm níže, než je plocha přidržovače, jinak klesá kvalita střižné plochy. Na konci procesu se nesmí čelní plocha střižníku ponořit do střižnice, jinak dochází k jeho rychlému opotřebení. Střižník musí mít dostatečnou délku na ostření a jeho hrany musí být stále dobře vybroušeny. Poloměr zaoblení hran bývá mezi 0,05 ÷ 0,1 mm. Velice důležité je zaručení jeho polohy. Musí být souosý, vedený kolmě k střižnici, zalícovaný v kotevní desce, zajištěný vůči pootočení a být ve vyhazovači zalícován suvně.

Používaný materiál musí být vysoce otěruvzdorný a odolávat vysokým tlakům. Kontaktní plochy bývají zahřívané relativně na vysokou teplotu a následně dochází k oxidaci povrchové vrstvy a rychlému otupování. Správně zvolený materiál by měl tomuto jevu co nejvíce odolávat, ale k úplnému zabránění tohoto jevu je nemožné. Nejvhodnější materiály jsou například ocele 19 191, 19 312, 19 436 a 19 437.

Dle konstrukce jsou známy dva typy uspořádání. První je s pevným střižníkem a pohyblivým přidržovačem a druhé je s pohyblivým střižníkem a pevným přidržovačem. Uspořádání s pevným střižníkem je vhodnější pro velké, dlouhé součásti nesymetrických tvarů s mnoha otvory a tloušťkou plechu nad 5 mm. Konstrukce je citlivá na příčné síly, které způsobují vybočení střižníku ve směru stříhání a otvory pro tlačné kolíky zeslabují průřez základové desky vodícího stojánu, která přenáší střižnou sílu na střižník. Uspořádání

s pohyblivým střížníkem je vhodné pro symetrické součásti a tloušťky materiálu nad 5 mm. Nástroj má mnohem větší trvanlivost, nižší náklady na výrobu, seřízení a údržbu.

♦ Střížnice

Konstrukce střížnice velice závisí na složitosti tvaru stříhaného výstřížku. Pokud je vystřihovaný kus jednoduchého tvaru, bývá střížnice z jednoho kusu. Pokud je však výstřížek tvarově složitý, střížnice by se velice složitě vyráběla, proto se tedy střížnice skládá z více částí. Pokud je střížnice vysoce namáhána je výhodné ji vložkovat. Podobně jako u střížníku dochází ke zpevňování nejvíce namáhaných částí a to pomocí vsazené vložky. Mohou být skládané z několika částí ve vhodných objímkách a to rozebíratelně, nebo nerozebíratelně. Stěny střížnice mají malé úkoso stěn, aby byla zajištěna stejná poloha i po několika rozebrání a znovu sestavení. Při sestavení musí být dán pozor především na zalícování se správným předpětím. Střížnice musí mít odvodušnění, aby nedocházelo k deformaci výstřížku. Materiál se používá stejný jako u střížníku.

♦ Stroje

Podle vypočtené střížné, přidržovací a vyhazovací síly se volí stroj pro přesné stříhání. Podle velikosti těchto tří sil je volen speciální lis. Stroje musí mít kontrolovanou sekvenci pohybů s přesně určenou horní úvratí. Požadovaná malá střížná vůle se nesmí změnit ani při působení vysokých tlaků během procesu stříhání. Dále musí mít stroj vysokou tuhost rámu a upínacích ploch. Při volbě stroje je možnost si vybrat mezi mechanickým a hydraulickým strojem. Mechanické lisy jsou lisy jednočinné, které vlastní speciální hydraulické jednotky, které umožňují ovládání vyhazovače a přidržovače. Hydraulické lisy mají všechny tři pohyby ovládány jedním způsobem. Výhodou hydraulických lisů je možnost okamžitého zastavení pohybu beranu v případě detekce cizího předmětu v prostoru nástroje. Tahle výhoda může vést k záchraně drahého nástroje při vniknutí nežádoucího tělesa do oblasti stříhu. Hydraulické lisy mají však větší spotřebu energie a vyšší náklady na údržbu stroje.

3.4 Povrchová úprava nástrojů [23], [34]

Přesné stříhání je druhem tváření za studena. Při tváření za studena je dosažena řada výhod oproti tváření za tepla. Mezi výhody například patří hospodárné využití materiálu, vysoká produktivita práce, efektivnost a výroba přesných součástí s minimálním požadavkem na dokončovací operace. Proti těmto výhodám stojí jedna výrazná nevýhoda a to je velké opotřebení nástrojů. Nástroje jsou ve většině případů vyrobeny z nástrojové oceli, i když v některých případech technická a ekonomická hlediska vedou k použití levnějších litých nebo tvářených konstrukčních ocelí a litin. Vysoce namáhané nástroje vyžadují vložkování slinutými karbidy nebo povlakování materiály s vysokou odolností proti opotřebení.

♦ Nejvýraznější způsoby opotřebení střižných nástrojů

1. Relativní prokluz mezi stykovými povrchy vytváří ideální podmínky pro adhezivní opotřebení hran a ploch střižníku
2. $30 \div 50$ % tloušťky výstřižku je silně deformačně zpevněno, tato vrstva zvyšuje lokální tlak na nástroj a zajišťuje podporu abrazivních částic
3. Vysoké výrobní rychlosti způsobují rázové zatěžování s vysokou frekvencí. Opakované zatěžování vede k vydrolování hran a může také dojít k tvorbě kráterového otěru na čele střižníku
4. Elastická deformace zpracovávaného materiálu způsobuje jeho relativní pohyb podél čela střižníku. To vede k abrazivnímu opotřebení střižníku.
5. Zpětné elastické odpružení zpracovávaného materiálu zvyšuje tlak na střižník během vnikání. Dochází k zvýšení otěru střižníku, zvláště při vytváření otvorů.
6. Při děrování korozivzdorné oceli dochází k zvyšování teploty (Bez maziva asi o $80\text{ }^{\circ}\text{C}$, při použití maziva asi o $55\text{ }^{\circ}\text{C}$). Zvýšené teploty zvyšují intenzitu adhezivního a oxidačního opotřebení
7. Termoelektrické proudy vytvářené při stříhání podporují otěr

Působení těchto opotřebení na střižný nástroj lze minimalizovat. Jeden ze způsobů minimalizace je správná volba materiálu nástroje. Materiál nástroje musí být tvrdý a zároveň mít odpovídající houževnatost a také nízkou adhezi k zpracovávanému materiálu. Další možný způsob minimalizace opotřebení je použití vhodného maziva. Mazivo minimalizuje adhezivní a abrazivní otěr tvorbou mezních vrstev. Třetí možnost, jak snížit vliv opotřebení je použití vhodné povrchové úpravy nástroje. Principiálně jde rozdělit povrchové úpravy do dvou základních skupin.

♦ Povrchové vrstvy a povlaky s vysokou tvrdostí

Tvrdé povrchy výrazně snižují rozsah plastické mikrodeformace ve styku jednotlivých nerovností a hloubku vniknutí hrotů a řezných hran abrazivních částic. Dochází ke snížení koeficientu tření, pokud dochází k interakci povrchů při tření bez maziva, protože se zmenší rýhovací i adhezivní složky tření. Zmenší se tepelné i mechanické namáhání v oblasti kontaktu, což vede k zmenšení intenzity degradačních procesů a může vést k změně dominantního mechanismu opotřebení. Například při adhezivním opotřebení při malé drsnosti třecích ploch a dobré adhezi k zvolenému povlaku se mohou povrchy porušovat vysokocyklovým únavovým mechanismem, který má velmi malou intenzitu.

Mezi druhy povrchových úprav s vysokou tvrdostí například patří vanadování, povlaky na bázi slitin niklu, nitridaci, difuzní chromování, bórování, PVD povlaky, CVD povlaky a DLC povlaku (Diamantu podobné povlaky).

♦ Povrchové vrstvy a povlaky měkké a houževnaté

Smyková deformace a porušení jsou lokalizovány do tenké vrstvy s vysokou plasticitou. Vyšší pevnost materiálu než je povrchová vrstva modifikuje pole napětí a deformaci a brání rozvoji plastické mikrodeformace. Tím zabraňuje porušování materiálu do větší hloubky. Měkké a houževnaté vrstvy se uplatňují především u tvářecích nástrojů, kde převažuje adhezivní opotřebení nebo při tváření bez maziva.

Mezi druhy povrchových úprav s výslednou houževnatou strukturou je například CrN povlak.

Nástroj bude stříhat nerezovou ocel 17 023 s vysokou pevností a obsahem uhlíku 0,3 % hmotnostního zlomku. Vhodnější povrchová úprava pro tento případ je první kategorie, kde je dosažena povrchová vrstva s vysokou tvrdostí. Při použití těchto povrchových úprav je dosažena dvojnásobně až čtyřnásobně delší životnost nástroje. Efektivnost těchto povrchových úprav roste s rostoucí tloušťkou zpracovaného materiálu. Je dosažena výrazně lepší povrchová drsnost a rozměrová přesnost přesných výstřížků.

Vybraná povrchová úprava střížníku a střížnice je vanadování. Vanadování je vhodné pro ocel s nižším obsahem uhlíku než 0,4 % hmotnostního zlomku. Proces probíhá v rozmezí teplot zásypu 1000 ÷ 1100 °C. Tloušťka výsledné zvanadované plochy je 5 ÷ 15 μm. Dosažená tvrdost se pohybuje v rozmezí 2500 ÷ 3000 HV.

4 NÁVRH VÝROBY SOUČÁSTÍ

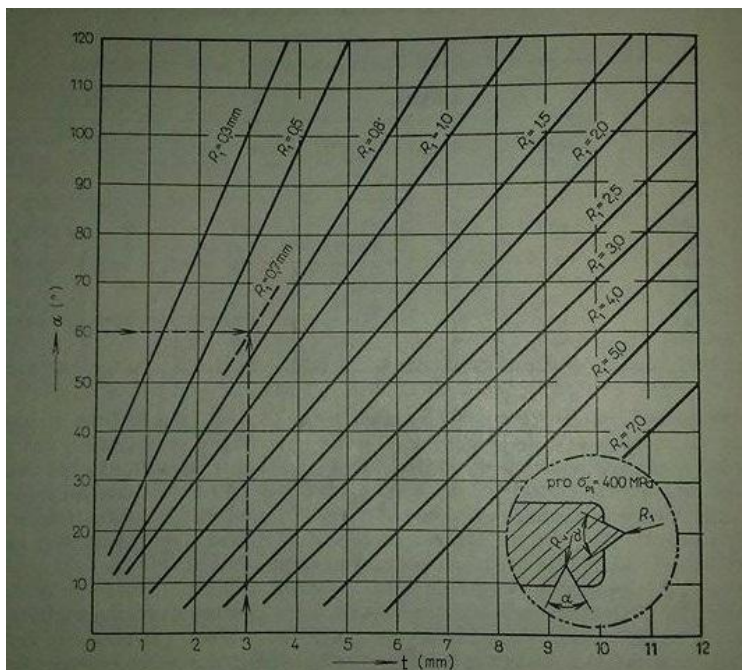
Pro výrobu navrhované součásti byla na základě rozboru možných způsobů výroby (viz kap. 1.3) zvolena technologie přesného stříhání s tlačnou hranou. Ověření vhodnosti této metody pro navrhovanou součást je provedeno v následujících kapitolách.

4.1 Kontrola vhodnosti součásti pro technologii přesného stříhání [4], [10]

V této podkapitole je provedena kontrola součásti, zda lze součást vyrobit technologií přesného stříhání s tlačnou hranou. Kontrola bude provedena dle teoretické části diplomové práce.

♦ Kontrola hran a poloměrů součásti

Kotoučová brzda se bude vyrábět z plechu o tloušťce $t = 6$ mm. Pro orientační určení minimálních poloměrů rohů R_1 pro materiály s mezí pevnosti R_m do 400 MPa slouží diagram na obr. 25. Z diagramu pro součást vyplývá, že R_1 pro úhel $\alpha = 15^\circ$ a $t = 6$ mm je roven 4,5 mm. Jelikož ocel 17 023 má vyšší mez pevnosti než 400 MPa, musí se minimální poloměr rohů přepočítat. Mez pevnost je 740 MPa a proto minimální poloměr bude zvětšen o 1,85 krát.



Obr. 25 Optimální velikost poloměrů rohů a hran [10]

• Minimální vnější poloměr R_{min} :

$$R_{min} = 1,85 \cdot R_1 = 1,85 \cdot 4,5 = 8,325 \text{ mm} \quad (4.1)$$

kde R_1minimální poloměr rohů [mm]

• Minimální vnitřní poloměr r_{min} :

$$r_{min} = 0,6 \cdot R_{min} = 0,6 \cdot 8,325 = 4,995 \text{ mm} \quad (4.2)$$

Po přepočítání minimálních poloměrů rohů, součást by měla mít vnější rohy minimálně 8,325 mm a vnitřní rohy minimálně 4,995 mm. Součást je navržena s ohledem na tyto výsledky.

♦ Kontrola minimálních průměrů otvoru

Velikost minimálního průměru otvoru lze určit buď z tabulky 9. Nebo může být numericky vypočítána dle rovnice (4.8) pro materiály s mezí pevnosti R_m do 400 MPa. Jelikož navrhovaná ocel má mez pevnosti 740 MPa stačí výsledný minimální průměr zvětšit o 1,85 násobek.

Tab. 9 Minimální průměr otvorů a šířky drážky [10]

Tloušťka plechu t [mm]	Minimální průměr otvoru $d_{\min}$ [mm]	Minimální šířka drážky b [mm]
do 3 mm	60 % tloušťky plechu	65 % tloušťky plechu
nad 3 mm	70 % tloušťky plechu	80 % tloušťky plechu

- Minimální průměr otvoru d_m pro materiály s R_m pod 400 MPa:

$$d_m = 0,7 \cdot t = 0,7 \cdot 6 = 4,2 \text{ mm} \quad (4.3)$$

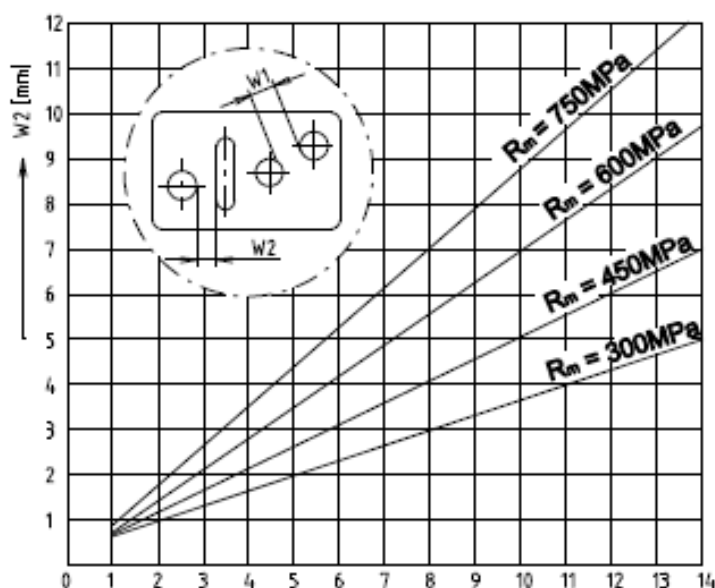
- Minimální průměr otvoru $d_{\min}$ pro ocel 17 023:

$$d_{\min} = 1,85 \cdot d_m = 1,85 \cdot 4,2 = 7,77 \text{ mm} \quad (4.4)$$

Po přepočítání minimálního průměru otvoru vyplývá, že otvor na součásti by neměl být menší než je 7,77 mm. Nejmenší průměr otvoru na zadané součásti je 7,8 mm, z toho vyplývá, že i po této stránce konstrukce součást vyhovuje.

♦ Kontrola vzdáleností mezi otvory a drážkami a určení střížné vůle

Z níže uvedeného obr. 26 jde určit minimální vzdálenost mezi otvorem a drážkou, která pro ocel 17 023 o tloušťce 6 mm je přibližně $W_2 = 5$ mm. Z minimální vzdálenosti mezi otvorem a drážkou se podle níže uvedené rovnice vypočítá minimální vzdálenost mezi otvory.



Obr. 26 Minimální vzdálenost mezi otvory a drážkami [10]

- Minimální vzdálenost mezi otvory a drážkami W_1 :

$$W_1 = 0,85 \cdot 5 = 4,25 \text{ mm} \quad (4.5)$$

Minimální vzdálenost na součásti mezi otvory a drážkami musí být větší než 4,25 mm. Součást v žádném svém místě neporušuje tuhle podmínku.

Stanovení střížné vůle v :

Střížnou vůli lze určit buď z obr. 20, nebo numerickým výpočtem. Tloušťka plechu je větší než 3 mm, proto je použit vzorec 3.3.

Dle grafu je střížná vůle v intervalu $0 \div 0,05 \text{ mm}$

$$v = (1,5 \cdot c \cdot t - 0,0015) \cdot 0,32 \cdot \sqrt{\tau_{ps}} = (1,5 \cdot 0,0008 \cdot 6 - 0,0015) \cdot 0,32 \sqrt{0,77 \cdot 740}$$

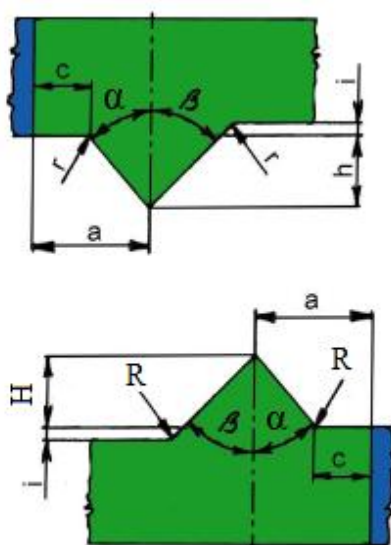
$$v = 0,044 \text{ mm} \quad (4.6)$$

Střížná vůle vypočtená numericky je v intervalu, který stanovuje graf na obr. 20. Volená střížná vůle je 0,044 mm.

4.2 Návrh technologických parametrů [1], [4], [10]

♦ Návrh tvarů a rozměrů tlačné hrany

Dle tloušťky plechu se určuje počet tlačných hran. Pokud je tloušťka plechu větší než 3 mm, jak je tomu v tomhle případě, je třeba použít dvou tlačných hran. První tlačná hrana bude na přidržovači a druhá na střížnici. Popis a rozměry určené dle tabulky 8 jednotlivých tlačných hran ukazuje obr. 27.



$a = 3 \text{ mm}$ - Vzdálenost vrcholů tlačných hran od křivky stříhu

$H = 1 \text{ mm}$ - Výška tlačné hrany na střížnici

$h = 0,7 \text{ mm}$ - Výška tlačné hrany na přidržovači

$R = 1 \text{ mm}$ - Poloměr zaoblení na střížnici

$r = 0,2 \text{ mm}$ - Poloměr zaoblení na přidržovači

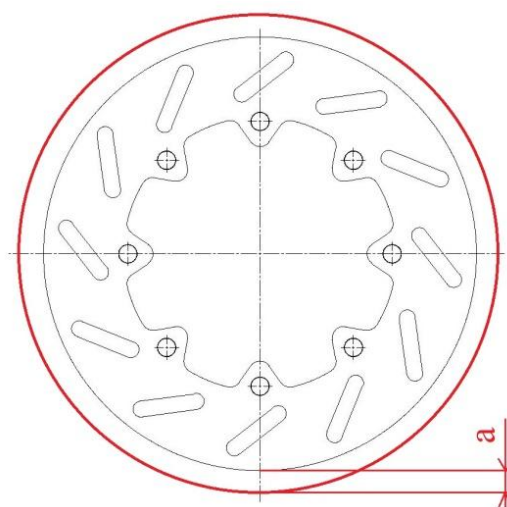
$\alpha = 45^\circ$ - Vnitřní úhel tlačné hrany

$\beta = 45^\circ$ - Vnější úhel tlačné hrany

Obr. 27 Tlačné hrany [4]

• Výpočet délky tlačné hrany L_h [mm]:

Volba tlačné hrany je provedena podle firmy Feintool. V tabulce 10 jsou uvedené jednotlivé parametry tlačných hran pro různé tloušťky materiálů. Pro výpočet délky tlačné hrany je důležitá vzdálenost tlačné hrany na přidržovači od střížníku a vzdálenost tlačné hrany na střížnici od přidržovače. Obě vzdálenosti jsou stejné a značí se písmenem a . Na obr. 28 je znázorněna tlačná hrana červenou barvou.



Obr. 28 Znázornění tlačné hrany

Tab. 10 Parametry tlačných hran dle firmy Feintool [13]

Tloušťka plechu [mm]	a[mm]	H[mm]	R[mm]	h[mm]	r[mm]
4,5 - 5,5	2,5	0,8	0,8	0,5	0,2
5,6 - 7	3	1	1	0,7	0,2
7,1 - 9	3,5	1,2	1,2	0,8	0,2
9,1 - 11	4,5	1,5	1,5	1	0,5
11,1 - 13	5,5	1,8	2	1,2	0,5
13,1 - 15	7	2,2	3	1,6	0,5

Na základě tabulky 10 je pro plech tloušťky 6 mm navržena vzdálenost tlačné hrany $a = 3$ mm.

$$L_h = \pi \cdot (D + 2 \cdot a) = \pi \cdot (190 + 2 \cdot 3) = 615,75 \text{ mm} \quad (4.7)$$

kde aVzdálenost tlačné hrany od křivky stříhu [mm]
 DNejvětší průměr kotoučové brzdy [mm]

♦ Volba velikosti postranního odpadu a můstku

Jedna z mála nevýhod u technologie přesného stříhání v porovnání se standardním stříháním, je nutnost volby většího postranního odpadu a můstku. Tento fakt je způsoben použitím tlačné hrany, která se vtlačuje do stříhaného materiálu ve vzdálenostech a od okraje střížné hrany. Popis volby postranního odpadu a můstku je popsán v teoretické kapitole 3.3. Při volbě jsou dvě možnosti. První je zvolit oba parametry z obr. 22, nebo z níže uvedené tabulky 11.

Tab. 11 Velikosti postranního odpadu a můstku [10]

Tloušťka plechu [mm]	b_2 [mm]	b_1 [mm]	Tloušťka plechu [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

Volba z grafu na obr. 22: $b_1 = 6,8$ mm – Velikost postranního odpadu
 $b_2 = 8,2$ mm – Šířka můstku

Volba z tabulky 9: $b_1 = 7,5$ mm – Velikost postranního odpadu
 $b_2 = 8$ mm – Šířka můstku

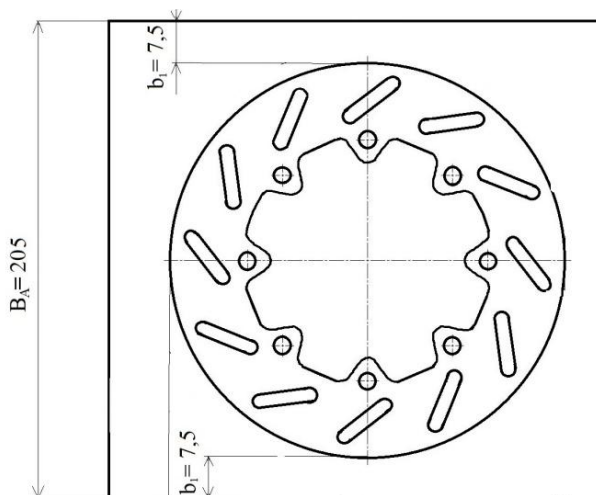
Hodnoty určené z grafu na obr. 22 jsou pro materiály s mezí pevností R_m do 400MPa. Zvolený materiál má výrazně vyšší mez pevnosti. Z tohoto důvodu jsou voleny hodnoty pro postranní odpad a šířku můstku z tabulky 9.

4.3 Varianty nástřihového plánu [4], [22]

Správná volba nástřihového plánu je důležitá pro maximální využití materiálu plechu. S klesajícím využitím plechu roste cena výroby a naopak, proto ve většině případů je volena ta varianta, která má procentuální využití plechu největší. V praxi ovšem nastávají situace, kdy například z konstrukčního hlediska či dostupnosti strojů je výhodnější volit variantu s menším využitím plechu. Pro zvolenou variantu následně bude navržen nástřihový plán se všemi náležitostmi. Vnější kruhový tvar neumožňuje mnoho variant rozmístění součástí na plechu.

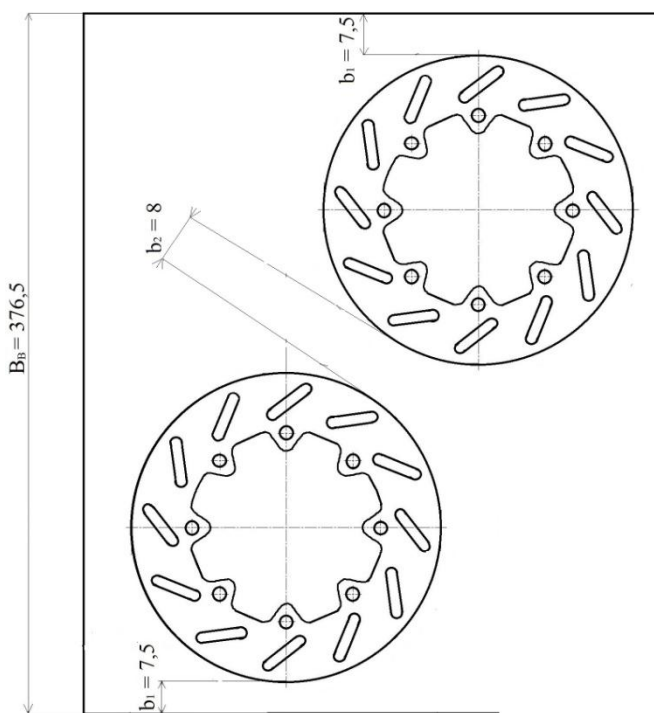
Výstřížek se může vystřihovat v jedné řadě, vždy jedna součást při jednom pracovním zdvihu. Druhá možnost je umístění dvou střížníků a stříhat dvě součásti při jednom pracovním zdvihu stroje.

Pro první variantu je rozložení součástí plechu ukázán na obr. 29. Celková šířka plechu, na obr. 29 rozměr B_A , bude pro tuto variantu 205 mm. Pro tuto variantu je dle firmy PA Bohemia třeba odvíjecí zařízení s maximální možnou šířkou plechu 300 mm označení MD SRA 3512 D s maximální vnějším průměrem svitku 1445 a minimálním vnitřním průměrem 375 mm.



Obr. 29 Rozložení součástí pro první variantu

Druhá varianta rozložení plechu uvažuje se stříháním dvou součástí najednou ve dvou řadách. Osy součástí v řadách budou posunuty tak, aby došlo k co největší úspoře plechu. Kvůli velikosti součástí je přiblížení druhé řady k první minimální. Šířka plechu tedy bude jen o trochu menší než dvojnásobná šířka plechu u první možnosti rozložení. Obr. 30 ukazuje rozložení součástí pro tuto variantu. Šířka plechu, na obr. 30 B_B je 376,5 mm. Dle firmy PA Bohemia je voleno odvíjecí zařízení MD SRA 2520 D, které má maximální povolenou šířku plechu 500 mm. Tento typ odvíjecího zařízení má stejný maximální vnější průměr a minimální vnitřní průměr jako předešlý typ. Obě varianty mají tedy stejnou maximální délku svitku plechu.



Obr. 30 Rozložení součástí pro druhou variantu

Pro obě varianty rozložení plechu tedy platí následující výpočet délky svitku plechu.

- Výpočet celkové délky svitku plechu s maximálním využitím odvíjáku l_s pro variantu A:

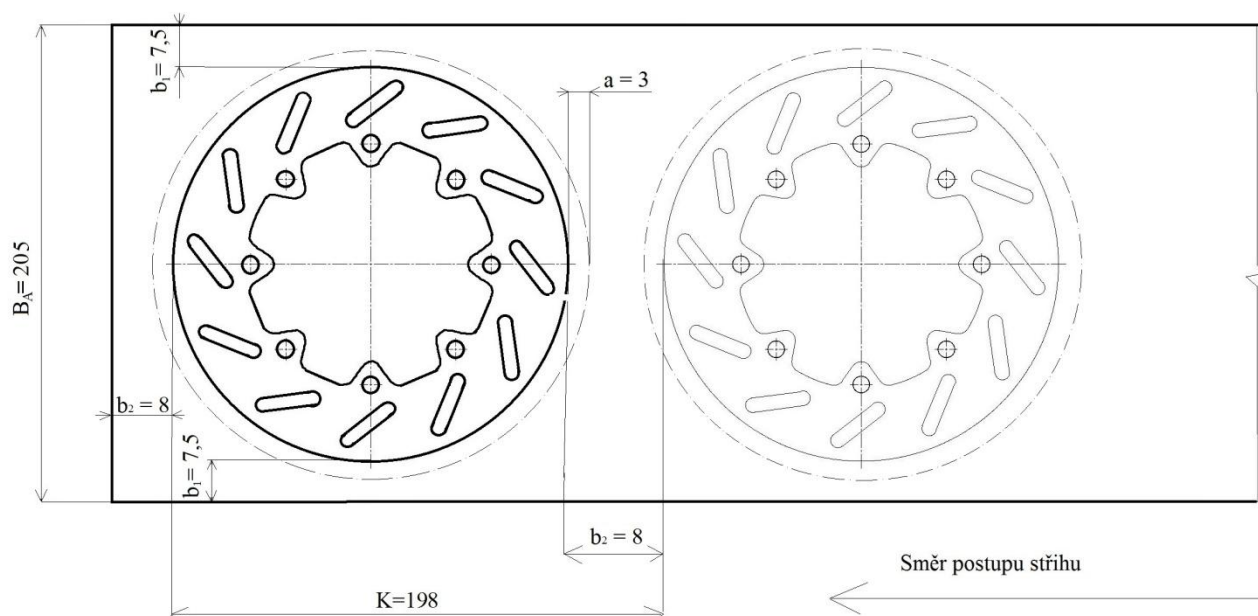
$$l_s = \left(\frac{D_{maxS}^2 - d_{minS}^2}{4 \cdot t} \right) \cdot \pi = \left(\frac{1445^2 - 375^2}{4 \cdot 6} \right) \cdot \pi = 254914 \text{ mm} \quad (4.8)$$

kde D_{maxS}Maximální vnější průměr svitku [mm]
 d_{minS}Minimální vnitřní průměr svitku [mm]

♦ Varianta nástřihového plánu rozložení A

Na obr. 31 je ukázán nástřihový plán pro variantu A. Pro variantu je volená nevyužitá délka svitku (Délka pro zavedení pásu + polovina můstku) 164 mm.

$K = 198 \text{ mm}$ - Délka kroku
 $B_A = 205 \text{ mm}$ - Šířka svitku pro variantu A
 $l_{0A} = 164 \text{ mm}$ - Nevyužitá délka svitku pro variantu A
 $l_s = 254000 \text{ mm}$ - Délka pásu ve svitku



Obr. 31 Nástřihový plán pro variantu A

- Výpočet celkové délky svitku plechu s maximálním využitím odvíjáku l_s pro variantu A:

$$l_s = \left(\frac{D_{maxS}^2 - d_{minS}^2}{4 \cdot t} \right) \cdot \pi = \left(\frac{1445^2 - 375^2}{4 \cdot 6} \right) \cdot \pi = 254914 \text{ mm} \quad (4.8)$$

kde D_{maxS}Maximální vnější průměr svitku [mm]
 d_{minS}Minimální vnitřní průměr svitku [mm]

Dle výpočtu bude objednáán svitek plechu o délce 254 m.

- Počet výstřížků z pásu plechu n_A :

$$n_A = \frac{l_{sA} - l_{0A}}{K} = \frac{254000 - 164}{198} = 1282 \text{ ks} \quad (4.9)$$

- Plocha pásu plechu pro variantu A S_{pA} :

$$S_{pA} = B_A \cdot l_s = 205 \cdot 254000 = 52070000 \text{ mm}^2 \quad (4.10)$$

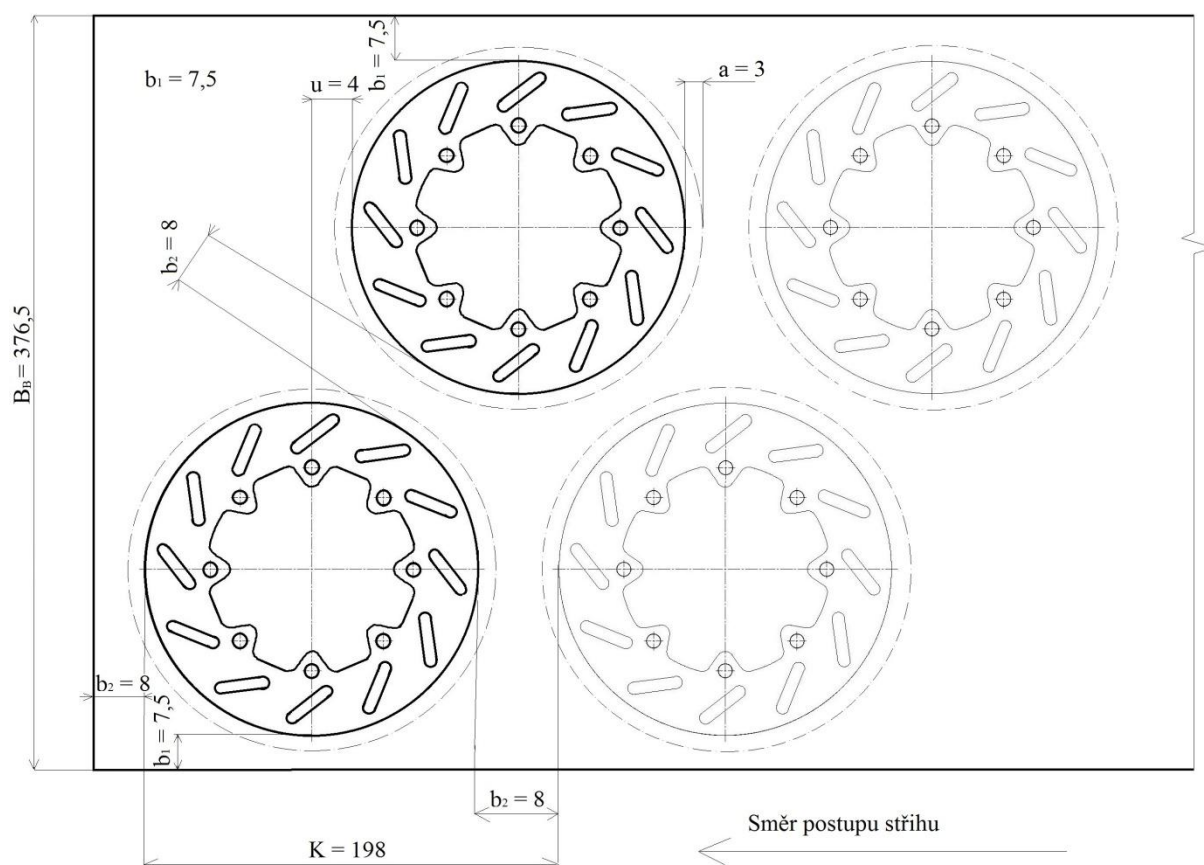
- Ekonomické využití pro variant A k_A :

$$k_A = \frac{(S_{vys} + S_{odp}) \cdot n_A}{S_{pA}} \cdot 100 = \frac{(16000 + 12323) \cdot 1282}{52070000} \cdot 100 = 69,73 \% \quad (4.11)$$

♦ Varianta nástřihového plánu B

Na obr. 32 je ukázán nástřihový plán výstřižku pro variantu B. Nevyužitá délka plechu pro první řádek je volena stejná jako pro první variantu. Nevyužitá délka plechu pro druhou řadu je součet potřebné délky pro zavedení plechu (160 mm) plus vzdálenost od začátku plechu k hraně horní součásti (115 mm) mínus polovina můstku (4 mm).

$K = 198 \text{ mm}$	- Délka kroku
$B_B = 376,5 \text{ mm}$	- Šířka plechu pro variantu B
$l_{0BL} = 164 \text{ mm}$	- Nevyužitá délka svitku v prvním řádku
$l_{0BS} = 263 \text{ mm}$	- Nevyužitá délka svitku v druhém řádku
$l_s = 254000 \text{ mm}$	- Délka pásu ve svitku



Obr. 32 Nástřihový plán pro variantu B

- Počet vyrobených dílů při rozložení na plechu dle varianty B n_{B1} v prvním řádku:

$$n_{B1} = \frac{l_s - l_{0BL}}{K} = \frac{254000 - 164}{198} = 1282 \text{ ks} \quad (4.12)$$

- Počet vyrobených dílů při rozložení na plechu dle varianty B n_{B2} v druhém řádku:

$$n_{B2} = \frac{l_s - l_{0BS}}{K} = \frac{254000 - 263}{198} = 1281 \text{ ks} \quad (4.13)$$

- Výpočet počtu vyrobených dílů při rozložení na plechu dle varianty B n_a :

$$n_B = n_{B1} + n_{B2} = 1282 + 1281 = 2563 \text{ ks} \quad (4.14)$$

- Plocha pásu plechu pro variantu B S_{pB} :

$$S_{pA} = B \cdot l_{sA} = 376,5 \cdot 254000 = 95631000 \text{ mm}^2 \quad (4.15)$$

- Ekonomické využití pro variant A k_A :

$$k_B = \frac{(S_{vys} + S_{odp}) \cdot n_B}{S_{pB}} \cdot 100 = \frac{(16000 + 12323) \cdot 2563}{95631000} \cdot 100 = 75,91 \% \quad (4.16)$$

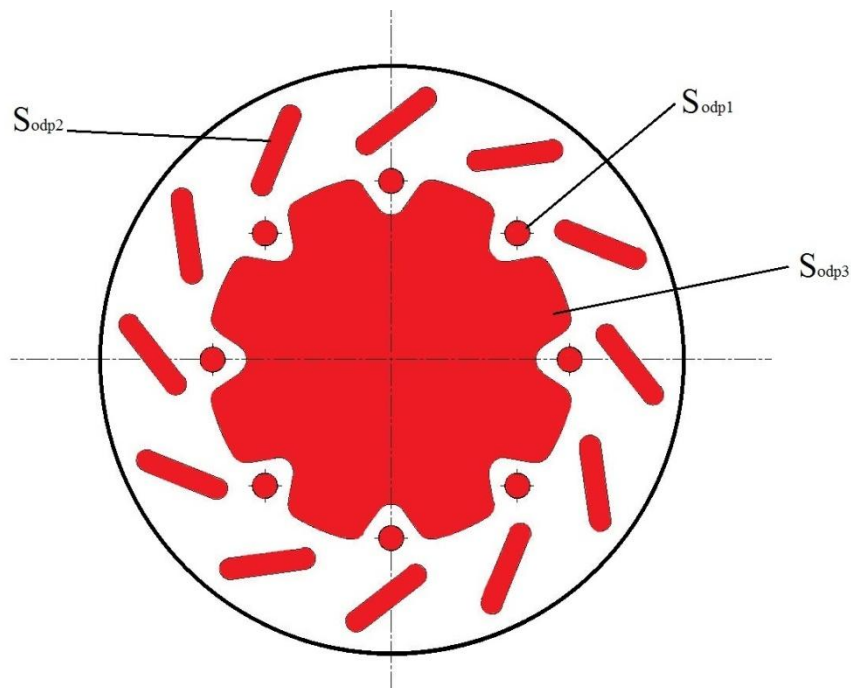
Při porovnání obou dvou variant nástřihového plánu, má o něco lepšího využití plechu variantu B a rychlejší výrobu celé série. U varianty B však musí být dva střížníky uspořádané do úhlopříčky. Nástroj je tedy rozměrný a složitý. Navíc dojde k zdvojnásobení celkové potřebné síly. Všechny tyto faktory vedou k velkému zvýšení pořizovací ceny a úspora plechu menší než 7 % se nevyplatí. Varianta A má jednodušší nástroj, levnější stroj a nižší jmenovitou sílu. Proto následující výpočty a návrhy budou pro nástřihový plán A.

4.4 Stanovení plochy součástí a délky stříhu [4], [10], [13], [33]

Technologické výpočty určují parametry střížného nástroje a vychází z nich také volba potřebného lisu. Kontrolní výpočty slouží k zjištění funkčnosti střížníku a střížnice. Kontrolují hodnoty zatížení, zda funkční část střížníku a střížnice vyhovují.

- ♦ Určení plochy součástí, délky křivky stříhu a délky tlačné hrany
Výpočet skutečné plochy výstřížku byl proveden pomocí programu CATIA.

$$S_{vys} = 16000 \text{ mm}^2$$

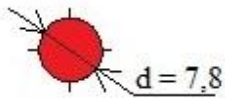


Obr. 33 Plocha výstřížku

Výpočet odpadu z výstřížku S_{odp} [mm²]:

Celková plocha odpadu na výstřížku je určena součtem jednotlivých odpadových částí, jak je znázorněno na obr. 33

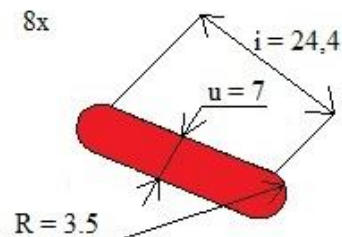
8x



$$S_{odp1} = \frac{\pi \cdot d^2}{4} = \frac{\pi \cdot 7,8^2}{4} = 47,78 \text{ mm}^2 \quad (4.17)$$

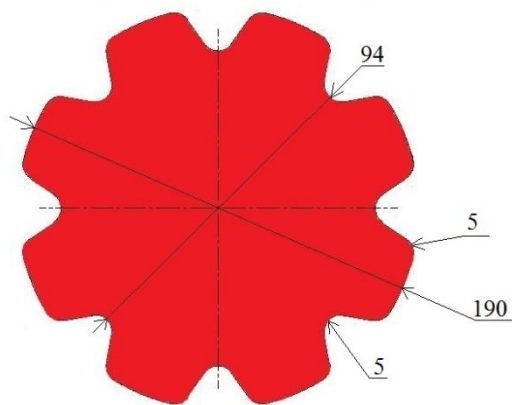
$$S_{odp1C} = 8 \cdot S_{odp1} = 8 \cdot 47,78 = 382,27 \text{ mm}^2 \quad (4.18)$$

8x



$$S_{odp2} = 2 \cdot \frac{\pi \cdot R^2}{4} + u \cdot i = 2 \cdot \frac{\pi \cdot 3,5^2}{4} + 7 \cdot 24,4 = 190,04 \text{ mm}^2 \quad (4.19)$$

$$S_{odp2C} = 8 \cdot S_{odp2} = 8 \cdot 190,04 = 1520,34 \text{ mm}^2 \quad (4.20)$$



Výpočet S_{odp3} proveden dle programu CATIA.

$$S_{odp3} = 10420,73 \text{ mm}^2$$

$$S_{odp} = S_{odp1C} + S_{odp2C} + S_{odp3} = 382,27 + 1520,34 + 10420,73 = 12323 \text{ mm}^2 \quad (4.1)$$

kde	S_{odp1}Obsah jednoho vystřihnutého kruhu	$[\text{mm}^2]$
	S_{odp1C}Obsah všech vystřihnutých kruhů	$[\text{mm}^2]$
	S_{odp2} Obsah jednoho vystřihnutého obdélníku	$[\text{mm}^2]$
	S_{odp2C} Obsah všech vystřihnutých obdélníků	$[\text{mm}^2]$
	S_{odp3} Obsah vystřihnutého středu dílce	$[\text{mm}^2]$

Výpočet délky křivky stříhu L [mm]:

Celková délka křivky stříhu je dána součtem všech stříhaných obvodů. Jednotlivé stříhané obvody byly vypočítány programem CATIA.

8x

$o_1 = 24,5 \text{ mm}$
 $o_{1C} = 8 \cdot o_1 = 8 \cdot 24,5 = 196,04 \text{ mm}$

(4.2)

8x

$o_2 = 70,8 \text{ mm}$
 $o_{2C} = 8 \cdot o_2 = 8 \cdot 70,8 = 566,39 \text{ mm}$

(4.23)

$o_3 = 1016,17 \text{ mm}$

(4.24)

$$L = o_{1C} + o_{2C} + o_3 = 196,04 + 566,39 + 1016,17 = 1778,6 \text{ mm} \quad (4.25)$$

Kde	o_1	Obvod jednoho kruhu	[mm]
	o_{1C}	Obvod všech kruhů	[mm]
	o_2	Obvod jednoho obdélníku	[mm]
	o_{2C}	Obvod všech obdélníků	[mm]
	o_3	Obvod vnitřního a vnějšího obrysu výstřižku	[mm]

4.5 Stanovení potřebných sil a práce [4], [10]

Výpočet střížných sil a střížné práce bude proveden dle kapitoly 3.3 z teoretické části.

- Výpočet střížné síly F_s :

Dle vzorce (3.8)

$$F_s = n \cdot L \cdot t \cdot 0,77 \cdot R_m = 1,3 \cdot 1778,6 \cdot 6 \cdot 0,77 \cdot 740 = 7904881 \text{ N}$$

- Výpočet síly pro zatlačení tlačné hrany F_p :

Dle vzorce (3.9)

Vzhledem k tomu, že je tlačná hrana navržen, jak na střížnici tak i na přítlačné desce musí, se dle vztahu (3.9) vypočítat síla jak pro střížnici (výška tlačné hrany H) tak i pro přítlačnou desku (Výška h)

$$F_{pH} = 4 \cdot R_m \cdot L_h \cdot H = 4 \cdot 740 \cdot 615,75 \cdot 1 = 1822620 \text{ N}$$

$$F_{ph} = 4 \cdot R_m \cdot L_h \cdot h = 4 \cdot 740 \cdot 615,75 \cdot 0,7 = 1277558 \text{ N}$$

$$F_p = F_{pH} + F_{ph} = 1822620 + 1277558 = 3100178 \text{ N}$$

- Výpočet síly na vyhazovači F_v :

Dle vzorce (3.10)

$$F_v = (S_{vys} + S_{odp}) \cdot p = (16000 + 12323) \cdot 50 = 1416150 \text{ N}$$

- Celková síla potřebná k určení lisu F_C :

Dle vzorce (3.11)

$$F_C = F_s + F_p + F_v = 7904881 + 3100178 + 1416150 = 12421209 \text{ N}$$

- Výpočet střížné práce A_s :

Dle vzorce (3.12)

$$A_s = \frac{0,48 \cdot L \cdot R_m \cdot t^2}{1000} = \frac{0,48 \cdot 1778,6 \cdot 740 \cdot 6^2}{1000} = 22744 \text{ J}$$

- Výpočet práce na přitlačné desce A_p :

Dle vzorce (3.13)

Práce se opět skládá ze dvou složek y důvodů dvou tlačných hran.

$$A_{pH} = \frac{2 \cdot L_h \cdot R_m \cdot H^2}{1000} = \frac{2 \cdot 740 \cdot 615,75 \cdot 1^2}{1000} = 912 \text{ J}$$

$$A_{ph} = \frac{2 \cdot L_h \cdot R_m \cdot h^2}{1000} = \frac{2 \cdot 740 \cdot 615,75 \cdot 0,7^2}{1000} = 447 \text{ J}$$

$$A_p = A_{pH} + A_{ph} = 912 + 447 = 1359 \text{ J}$$

- Výpočet práce vyhazovače A_v :

Dle vzorce (3.14)

$$A_v = \frac{(S_{vys} + S_{odp}) \cdot p \cdot t}{1000} = \frac{(16000 + 12323) \cdot 50 \cdot 6}{1000} = 8497 \text{ J}$$

- Celková práce A_c :

Dle vzorce (3.15)

$$A_c = A_s + A_p + A_v = 22744 + 1359 + 8497 = 32600 \text{ J}$$

4.6 Návrhové výpočty [4], [10]

- Výpočet plochy S_p , na kterou působí přitlačná síla:

$$S_p = \frac{F_p}{p} = \frac{3100178}{50} = 62003,56 \text{ mm}^2 \quad (4.26)$$

kde pMěrný tlak [MPa]

- Výpočet plochy tlačných kolíků S_{pt} :

$$S_{pt} = \frac{\pi \cdot d_{kt}^2}{4} = \frac{\pi \cdot 50^2}{4} = 1963,5 \text{ mm}^2 \quad (4.27)$$

kde d_{kt}průměr tlačného kolíku – Zvoleno 50 mm [mm]

- Výpočet potřebného počtu tlačných kolíků B_t :

$$B_t = \frac{S_p}{S_{pt}} = \frac{62003,56}{1963,5} = 31,57 \text{ ks} \rightarrow 32 \text{ ks} \quad (4.28)$$

Tlačné kolíky slouží k rovnoměrnému zatlačení tlačné hrany do stříhaného plechu. Pro splnění tohoto požadavku je potřeba 32 kolíků.

- Výpočet plochy S_v , na kterou působí vyhazovací síla:

$$S_v = \frac{F_v}{p} = \frac{1416150}{50} = 28323 \text{ mm}^2 \quad (4.29)$$

- Výpočet plochy vyhazovacího kolíku S_{pv} :

$$S_{pv} = \frac{\pi \cdot d_{kv}^2}{4} = \frac{\pi \cdot 40^2}{4} = 1256,64 \text{ mm}^2 \quad (4.30)$$

kde d_{kv}průměr vyhazovacího kolíku – Zvoleno 40 mm [mm]

- Výpočet potřebného počtu vyhazovacích kolíků B_v :

$$B_v = \frac{S_v}{S_{pv}} = \frac{28323}{1256,64} = 22,54 \text{ ks} \rightarrow 23 \text{ ks} \quad (4.31)$$

Vyhazovací kolíky slouží k vyjmutí dílce ze střížnice. Pro splnění požadavku je potřeba 23 kolíků.

4.7 Pevnostní výpočty nástroje [2], [4]

Pevnostní výpočty slouží k určení minimálních rozměrů funkčních částí nástroje, aby nástroj odolal působícím silám během procesu tváření.

- Minimální výška střížnice H_{min} :

Výpočet minimální výšky střížnice se zjednodušuje na výpočet rovinných desek namáhaných ohybem s tlakem rovnoměrně rozloženým po obvodu střížnice. Pro předběžný návrh minimální výšky střížnice lze použít následující vzorec.

$$H_{min} = \sqrt[3]{0,1 \cdot F_s} = \sqrt[3]{0,1 \cdot 7904881} = 92,46 \text{ mm} \quad (4.32)$$

Dle vzorce (4.32) musí být minimální výška střížnice 92,46 mm. Pro konstrukci nástroje je zvolena tloušťka střížnice 100 mm.

- ♦ Kontrola nejvíce namáhaného střížníku

Nejvíce namáhaný střížník je ten, co má nejmenší obsah v příčném směru. V případě stříhu navrhované kotoučové brzdy je to střížník co bude stříhat kruhový otvor o průměru 7,8 mm. Na tento střížník bude působit napětí na nejmenší dosedací ploše. Všechny střížníky i střížnice budou z materiálu oceli 19 312 s mezí pevnosti v tahu $R_m = 740 \text{ MPa}$. Pokud bude vyhovovat pevnostní výpočet na nejvíce namáhaný střížník, budou vyhovovat i všechny ostatní.

- Výpočet střížné síly $F_{s7,8}$ pro střížník o průměru 7,8 mm:

$$F_{s7,8} = n \cdot 0,8 \cdot R_m \cdot \pi \cdot d_{7,8} \cdot t = 1,2 \cdot 0,8 \cdot 740 \cdot \pi \cdot 7,8 \cdot 6 = 104449 \text{ N} \quad (4.33)$$

kde $d_{7,8}$průměr střížníku na vystřížení průměru díry 7,8 mm [mm]

- Výpočet maximálního dovoleného napětí v tlaku σ_{Dovt} :

$$\sigma_{Dovt} = K_{\sigma Dovt} \cdot R_m = 2,5 \cdot 740 = 1850 \text{ MPa} \quad (4.34)$$

kde $K_{\sigma Dovt}$koeficient pro výpočet dovoleného napětí v tlaku [mm]

- Kontrola střížníku na otlačení σ_d :

Pokud bude u střížníku menší napětí, než je napětí v tlaku 180 MPa, může být střížník použit bez opěrné kalené desky. Pokud však napětí bude větší, je nutné použít tuto desku z důvodu, aby nedocházelo k otlačení kotevní desky od dosedací plochy střížníku. Napětí však musí být menší než je maximální dovolené napětí v tlaku $\sigma_{Dovt} = 1850 \text{ MPa}$.

$$\sigma_d = \frac{F_{S7.8}}{S_0} = \frac{F_{S7.8}}{\frac{\pi \cdot d_0^2}{4}} = \frac{104449}{\frac{\pi \cdot 10^2}{4}} = 1329,89 \text{ MPa} \quad (4.35)$$

kde S_0plocha průřezu dosedací plochy střížníku 7,8 mm [mm²]
 d_0průměr střížníku 7,8 mm [mm]

Působící napětí je menší než dovolené napětí v tlaku, ale větší než 180 MPa. Nástroj tedy vydrží působícímu napětí, ale je nutné použít kalenou desku. Pro konstrukci nástroje bude zvolena kalená deska z materiálu ocel 19436.4, která má maximální dovolené napětí v tlaku 2610 MPa.

- Výpočet kritické délky l_{krit} :

Kritická síla je potřebná k výpočtu kritické délky střižníku. Výpočet vychází z Eulerových vztahů. Střižník je veden ve vodící desce, proto je možné ho považovat za vetknutý na obou koncích.

$$l_{krit} = \sqrt{\frac{4 \cdot \pi^2 \cdot E \cdot \frac{\pi \cdot d_{07,8}^4}{64}}{k \cdot F_{S7,8}}} = \sqrt{\frac{4 \cdot \pi^2 \cdot 2,1 \cdot 10^5 \cdot \frac{\pi \cdot 7,8^4}{64}}{1,3 \cdot 104449}} = 105,33 \text{ mm} \quad (4.36)$$

kde kkoeficient bezpečnosti (1÷2) [-]

S ohledem na vzorec (4.36) pro kritickou délku, nesmí být střížník delší než je 100 mm.

4.8 Rozměry a tolerance strážníků a strážnice [4], [10]

Rozměry a tolerance střížníků a střížnice vycházejí z ČSN 22 6015.

kde	RED....rozměr střížnice při děrování	[mm]
	RAD....rozměr střížníku při děrování	[mm]
	REV....rozměr střížnice při vystřihování	[mm]
	RAV....rozměr střížníku při vystřihování	[mm]
	JR.....jmenovitý rozměr	[mm]
	v.....střížná vůle	[mm]
	TS.....tolerance jmenovitého rozměru	[mm]
	P.....připustná míra opotřebení	[mm]
	TE.....výrobní tolerance střížnice	[mm]
	TA.....výrobní tolerance střížníku	[mm]

- Děrování rozměru $\varnothing 7,8$ H7:

JR = 7,8 mm	TA = 0,004
TS = 0 ÷ 0,015 mm	TE = 0,007
P = 0,02 mm	v = 0,044

$$RAD = \left(JR + \frac{P}{2}\right) \pm TA = \left(7,8 + \frac{0,02}{2}\right) \pm 0,004 = 7,81 \pm 0,004 \quad (4.37)$$

$$RED = \left(JR + \frac{P}{2}\right) \pm TE = \left(7,8 + \frac{0,02}{2}\right) \pm 0,007 = 7,81 \pm 0,007 \quad (4.38)$$

- Děrování rozměru 31,4 H7:

$$JR = 31,4 \text{ mm}$$

$$TA = 0,005$$

$$TS = 0 \div 0,025 \text{ mm}$$

$$TE = 0,008$$

$$P = 0,025 \text{ mm}$$

$$v = 0,044$$

$$RAD = \left(JR + \frac{P}{2} \right) \pm TA = \left(31,4 + \frac{0,025}{2} \right) \pm 0,005 = 31,4125 \pm 0,005$$

$$RED = \left(JR + \frac{P}{2} \right) \pm TE = \left(31,4 + \frac{0,025}{2} \right) \pm 0,008 = 31,4125 \pm 0,008$$

- Děrování poloměru R = 5 H7:

$$JR = 5 \text{ mm}$$

$$TA = 0,004$$

$$TS = 0 \div 0,012 \text{ mm}$$

$$TE = 0,007$$

$$P = 0,02 \text{ mm}$$

$$v = 0,044$$

$$RAD = \left(JR + \frac{P}{2} \right) \pm TA = \left(5 + \frac{0,02}{2} \right) \pm 0,004 = 5,01 \pm 0,004$$

$$RED = \left(JR + \frac{P}{2} \right) \pm TE = \left(5 + \frac{0,02}{2} \right) \pm 0,007 = 5,01 \pm 0,007$$

- Děrování poloměru R = 6 H7:

$$JR = 6 \text{ mm}$$

$$TA = 0,004$$

$$TS = 0 \div 0,012 \text{ mm}$$

$$TE = 0,007$$

$$P = 0,02 \text{ mm}$$

$$v = 0,044$$

$$RAD = \left(JR + \frac{P}{2} \right) \pm TA = \left(6 + \frac{0,02}{2} \right) \pm 0,004 = 6,01 \pm 0,004$$

$$RED = \left(JR + \frac{P}{2} \right) \pm TE = \left(6 + \frac{0,02}{2} \right) \pm 0,007 = 6,01 \pm 0,007$$

- Děrování rozměru,7 H7:

$$JR = 7 \text{ mm}$$

$$TA = 0,004$$

$$TS = 0 \div 0,015 \text{ mm}$$

$$TE = 0,007$$

$$P = 0,02 \text{ mm}$$

$$v = 0,044$$

$$RAD = \left(JR + \frac{P}{2} \right) \pm TA = \left(7 + \frac{0,02}{2} \right) \pm 0,004 = 7,01 \pm 0,004$$

$$RED = \left(JR + \frac{P}{2} \right) \pm TE = \left(7 + \frac{0,02}{2} \right) \pm 0,007 = 7,01 \pm 0,007$$

- Děrování rozměru 8,7 H7:

$$JR = 8,7 \text{ mm}$$

$$TA = 0,004$$

$$TS = 0 \div 0,015 \text{ mm}$$

$$TE = 0,007$$

$$P = 0,02 \text{ mm}$$

$$v = 0,044$$

$$RAD = \left(JR + \frac{P}{2} \right) \pm TA = \left(8,7 + \frac{0,02}{2} \right) \pm 0,004 = 8,71 \pm 0,004$$

$$RED = \left(JR + \frac{P}{2} \right) \pm TE = \left(8,7 + \frac{0,02}{2} \right) \pm 0,007 = 8,71 \pm 0,007$$

- Děrování rozměru 18,05 H7:

$$JR = 18,05 \text{ mm}$$

$$TA = 0,004$$

$$TS = 0 \div 0,021 \text{ mm}$$

$$TE = 0,007$$

$$P = 0,02 \text{ mm}$$

$$v = 0,044$$

$$RAD = \left(JR + \frac{P}{2} \right) \pm TA = \left(18,05 + \frac{0,02}{2} \right) \pm 0,004 = 18,06 \pm 0,004$$

$$RED = \left(JR + \frac{P}{2} \right) \pm TE = \left(18,05 + \frac{0,02}{2} \right) \pm 0,007 = 18,06 \pm 0,007$$

- Vystřihování rozměru $\emptyset 190$ H7:

$$JR = 190 \text{ mm}$$

$$TA = 0,011$$

$$TS = 0 \div 0,046 \text{ mm}$$

$$TE = 0,016$$

$$P = 0,045 \text{ mm}$$

$$v = 0,044$$

$$RAD = \left(JR + \frac{P}{2} \right) \pm TA = \left(190 + \frac{0,045}{2} \right) \pm 0,011 = 190,0225 \pm 0,011$$

$$RED = \left(JR + \frac{P}{2} \right) \pm TE = \left(190 + \frac{0,45}{2} \right) \pm 0,016 = 190,0225 \pm 0,016$$

4.9 Popis a funkce nástroje [2], [4], [10]

Konstrukce nástroje má dvě možnosti. První, kde bude pohyblivý střížník a pevný přidržovač a druhou, kde je pevný střížník a pohyblivý přidržovač. Pro symetrické součásti je vhodnější první varianta. Tato varianta má také větší trvanlivost a nižší náklady na výrobu, seřízení a údržbu. Proto bude mít nástroj pohyblivý střížník a pevný přidržovač. Nástroj bude stříhat obvod i otvory uvnitř součásti na jeden zdvih, dojde tedy k úplnému vystřížení jedné kotoučové brzdy na jeden pracovní zdvih. Nástroj se skládá ze spodní a horní části.

Základním prvkem spodní části je základová deska (12) se čtyřmi otvory na závit pro možnost umístění nosných šroubů (3). Nosné šrouby slouží při transportu nástroje. V každém rohu základové desky je zalisován vodící sloupek (26). Vodicí sloupky slouží k přesnému vzájemnému vedení horní a spodní části nástroje. Uprostřed základové desky je přesně ustaven pomocí úkosů kruhový přidržovač (11). Aby nemohlo dojít k pootočení přidržovače je zajištěn válcovým kolíkem (35) a dále připevněn čtyřmi šrouby (31). Střížník je veden ve vodící desce (10) pro zajištění správné polohy. Pomocí čtyř šroubů (29) je připevněn k upínací desce (6). Upínací deska také slouží k ustavení tvarového vyhazovače. Přes upínací desku a držák střížníku (4) je přenášena střížná síla na hlavní střížník. Držák střížníku je k pístu stroje připevněn pomocí závit M14. Vyhazovače vnitřních tvarů se opírají o můstek (5), který tlakovou sílu přenáší na čtrnáct tlačných kolíků (1). Vše je proti pootočení zajištěno kolíkem (35). Proti vypadnutí podložkou (32) a šroubem (33).

Horní část odpovídá konstrukci spodní části, aby do sebe obě části zapadaly. Horní základová deska (2) má opět otvory se závitem pro možnost umístění nosných šroubů (3). Sloupky vedené ze spodní základové desky do horní základové desky jsou vedeny v pouzdrech (25), které jsou připevněny na horní základové desce. Zděř střížnice (18) je opatřena úkosy pro přesné ustanovení. Proti pootočení je zajištěna kolíkem (36) a je připevněna čtyřmi šrouby (31). Ve zděři střížnice jsou přesně ustaveny pomocí kolíku (35) a

přípevněny pomocí čtyř šroubů (31) vyměnitelná střížná vložka (19). V střížné vložce je suvně zalisován hlavní vyhazovač (20). Přesné vedení vyhazovače je zajištěno vodící deskou (10). Ve vyhazovači jsou vedeny střížníky vnitřních otvorů (7,8,9). Střížníky otvorů jsou uchyceny v kotevní desce (17) a působící tlak přenášejí na opěrnou desku (16). Soustava vyhazovacích kolíků (23) přenáší sílu z lisu na vyhazovač. Celý horní celek je v horní základové desce uzavřen víkem (13). Kruhové části spodního celku jsou proti vzájemnému pootočení zajištěny kolíkem (35) a přípevněny pomocí čtyř šroubů (31). Celkovému pootočení v základové desce je zamezeno kolíkem (36). Podložka (32) a šroub (33) opět brání celkovému vypadnutí.

4.10 Volba strojů [2], [13]

Hlavní faktor, podle kterého se volí tvářecí stroj, je celková tvářecí síla. Síla byla vypočítána v kapitole 4.4, jako součet střížné, přidržovací a vyhazovací síly. Její hodnota je 12 421 209 N. Tvářecí stroj může být hydraulický nebo mechanický. Hydraulický lis je ve většině případů výhodnější, a proto je vybrán i pro výrobu kotoučové brzdy. Při volbě bude zohledněn také pracovní prostor lisu, kde bude vložený nástroj. Výběr lisu proběhne z nabídky firmy Feintool, která má širokou nabídku hydraulických lisů.

Ideální hydraulický lis pro výrobu kotoučové brzdy je lis určený k přesnému stříhání HFA 7000. Lis má rozsah celkové střížné síly mezi 3200 ÷ 14 000 kN. Maximální tloušťku materiálu, kterou může stříhat je 16 mm. Na obr. 34 je ukázán tento typ lisu.



Obr. 34 Zvoleny lis HFA 7000 [13]

Pro potřeby výroby kotoučové brzdy je zvolený svitek plechu šířky 205 mm. Svitok je namotán na buben odvíjáku MD SRA 3512 D od firmy PA Bohemia s parametry, které jsou uvedené v tabulce 12. Za navijákem musí být umístěná rovnačka plechu. Rovnačka je zvolena SS 127 HDX od stejné firmy s parametry uvedené v tabulce 13.

Tab. 12 Parametry odvíjáku MD SRA 3512 D [22]

MD SRA 3512 D					
Maximální váha svitku	Maximální šířka svitku	Vnější průměr svitku	Vnitřní průměr svitku	Rozsah rychlosti otáčení	Příkon
1600 kg	300 mm	1300 ÷ 1445 mm	375 ÷ 520 mm	0 ÷ 21 m/min	400 VAC

Tab. 13 Parametry rovnačky SS 127 HDX [22]

SS 127 HDX						
Maximální šířka svitku	Rozsah tloušťek plechu	Počet rovnacích válců	Průměr rovnacích válců	Počet tažných válců	Průměry tažných válců	Rychlost
300 mm	0,8 ÷ 6 mm	7 ks	80 mm	4 ks	80 mm	0 ÷ 23 m/min

5 TECHNICKO – EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ [8], [15]

Kapitola je zaměřená na ekonomické zhodnocení výroby. Cílem je zjistit náklady na výrobu jedné součásti, celé série a stanovit od jakého počtu vyrobených kusů bude výroba zisková. Pro plánovanou výrobní sérii 200000 kusů bude potřeba 157svitku plechu o tloušťce 6 mm, šířce 205 mm a délce svitku 254 m.

V kapitole je provedena předběžná kalkulace nákladů, které jsou spojeny se zavedením nové výroby zadané součásti technologií přesného stříhání s tlačnou hranou. Výpočty jsou spíše orientačního charakteru, protože v mnoha případech je velice obtížné zjistit přesné vstupní hodnoty pro výpočet. Proto jsou některé hodnoty upravovány dle nabídek firem, které mají podobné zaměření.

Pro ekonomické zhodnocení dané výroby je potřeba určit vstupní hodnoty, dle kterých jsou provedeny výpočty. Určené vstupní hodnoty ukazuje tabulka 14.

Tab. 14 Vstupní hodnoty do technicko – ekonomického zhodnocení

Parametr	Zkratka a jednotka	Množství
Roční výrobní dodávka	Q [ks]	200000
Životnost nástroje	T_s [ks]	500000
Jednicové mzdy	JM [%]	100
Výrobní režie	VR [%]	450
Správní režie	SR [%]	120
Ostatní přímé náklady	OPN [%]	20
Zpracovatelská režie	ZR [%]	650
Celkové výdaje na obsluhu linky	MT_{ol} [Kč/h]	150
Celkové výdaje na nástrojáře	MT_n [Kč/h]	220
Cena 1 kg materiálu ve svitku	$C_{m/kg}$ [Kč]	80
Počet svitku na výrobní sérii	n_s [ks]	157
Hustota materiálu	ρ [kg/m ³]	7900

Výpočet zpracovatelské režie ZR:

$$ZR = JM + VR + SR + OPN = 100 + 450 + 120 + 20 = 690 \% \quad (5.1)$$

5.1 Přímé náklady [8], [13], [15], [18], [20]

Přímými náklady je označení pro takové typy nákladů, u kterých lze naprosto přesně určit k jakému objektu či subjektu náleží, nebo který je zodpovědný za jejich vznik. Při stanovení a kontrole přímých nákladů je třeba systematicky určit strukturu sledovaných objektů, což je u každé firmy velice individuální. Do přímých nákladů patří přímý materiál, přímé mzdy a ostatní přímé náklady.

♦ Přímý materiál

Náklady na přímý materiál jsou určeny cenou a množstvím materiálu. Pro určení přímého materiálu je třeba určit výkupní cenu odpadu. Cena odpadu je podle aktuální cenové nabídky firmy Kovokom šrot s.r.o. 30 Kč/kg.

Výpočet hmotnosti svítku m_s :

$$m_s = \rho \cdot S_{pA} \cdot t = 7900 \cdot 52,07 \cdot 0,006 = 2468,12 \text{ kg} \quad (5.2)$$

Výpočet hmotnosti spotřebovaného plechu na celou výrobní sérii m_c :

$$m_c = m_s \cdot n_s = 2468,12 \cdot 157 = 387494,84 \text{ kg} \quad (5.3)$$

Výpočet hmotnosti výstřižku ve výrobní sérii m_v :

$$m_v = \rho \cdot S_{vys} \cdot t \cdot Q = 7900 \cdot 0,016 \cdot 0,006 \cdot 200000 = 151680 \text{ kg} \quad (5.4)$$

Výpočet odpadu ve výrobní sérii m_o :

$$m_o = m_c - m_v = 387494,84 - 151680 = 235814 \text{ kg} \quad (5.5)$$

Výpočet nákupní ceny materiálu C_m :

$$C_m = m_c \cdot C_{m/kg} = 387494,84 \cdot 80 = 30999587,2 \text{ Kč} \quad (5.6)$$

Výpočet ceny odpadu C_o :

$$C_o = m_o \cdot C_{o/kg} = 235814 \cdot 30 = 7074420 \text{ Kč} \quad (5.7)$$

kde $C_{o/kg}$Výkupní cena odpadu dle firmy Kovokom s.r.o. – 30 Kč [Kč]

Výpočet nákladů na přímý materiál N_{PM} :

$$N_{PM} = C_m - C_o = 30999587,2 - 7074420 = 23925167,2 \text{ Kč} \quad (5.8)$$

Výpočet jednicových nákladů na přímý materiál N_{PMJ} :

$$N_{PMJ} = \frac{N_{PM}}{Q} = \frac{23925167,2}{200000} = 119,63 \text{ Kč} \quad (5.9)$$

Dle výpočtů je zjištěno, že po započtení zpětného odprodeje odpadového materiálu jsou náklady na přímý materiál stanoveny ve výši 23925168 Kč a materiálové náklady na výrobu jedné kotoučové brzdy je 119,63 Kč.

♦ Přímé mzdy

Navrženou pracovní linku bude obsluhovat jeden pracovník. Náklady na přímé mzdy jsou tedy stanoveny na tohoto pracovníka. Pro výpočet bude uvažována výroba v jednosměnném režimu při osmihodinové pracovní době. Výrobní doba bude zkrácena o kontrolní čas a čas na údržbu a úklid. Čas na kontrolu je stanoven na 0,5 h a čas na údržbu a úklid na 0,25 h. Firma Feintool pro svůj stroj HFA 7000 zaručuje 60 pracovních zdvihů za minutu. Z důvodů prostojů vznikajících při výrobě, jako je kontrola, údržba, zavádění nového pásu a čištění bude pro další výpočty tato hodnota zmenšena o 10 %.

Výpočet součásti vyrobených za hodinu $n_{s/h}$:

$$n_{s/h} = n_z \cdot 60 = 54 \cdot 60 = 3240 \text{ ks/h} \quad (5.10)$$

kde n_zpočet uvažovaných zdvihů za minutu [min⁻¹]

Výpočet počtu součástí vyrobených za pracovní směnu $n_{s/sm}$:

$$n_{s/sm} = n_{s/h} \cdot t_v = 3240 \cdot 7,25 = 23490 \frac{\text{ks}}{\text{směna}} \quad (5.11)$$

kde t_včas směny zkrácený o čas na kontrolu, údržbu a úklid [h]

Výpočet potřebných směn n_{sm} :

$$n_{sm} = \frac{Q}{n_{s/sm}} = \frac{200000}{23490} = 8,51 \text{ ks} \quad (5.12)$$

Pro výrobu celé série bude potřeba 9 pracovních směn.

Výpočet celkového času pro výrobu celé série n_h :

$$n_h = n_{sm} \cdot t_s = 9 \cdot 8 = 72 \text{ h} \quad (5.13)$$

kde t_sčas pracovní směny [h]

Výpočet nákladů na mzdy N_{PMZ} :

$$N_{PMZ} = n_h \cdot MT_{ol} = 150 \cdot 72 = 10800 \text{ Kč} \quad (5.14)$$

Výpočet jednicových nákladů na přímé mzdy N_{PMZj} :

$$N_{PMZj} = \frac{N_{PMZ}}{Q} = \frac{10800}{200000} = 0,054 \frac{\text{Kč}}{\text{ks}} \quad (5.15)$$

♦ Ostatní přímé náklady

Ostatní přímé náklady jsou stanoveny jako procento nákladů na přímé mzdy.

Výpočet ostatních přímých nákladů N_{OPN} :

$$N_{OPN} = OPN \cdot N_{PMZ} = 0,2 \cdot 10800 = 2160 \text{ Kč} \quad (5.18)$$

Výpočet ostatních přímých nákladů na jednici N_{OPNj} :

$$N_{OPNj} = \frac{N_{OPN}}{Q} = \frac{2160}{200000} = 0,0108 \text{ Kč/ks} \quad (5.19)$$

5.2 Nepřímé náklady [8], [15], [35]

Nepřímé náklady je termín označující skupinu nákladů, které není možné jednoznačně spojit s určitým subjektem, nebo objektem ve firmě. Není tedy možné říci, že ten daný produkt, pracovník nebo úsek je zodpovědný za existenci tohoto nákladů. Ve skutečnosti jsou proto nepřímé náklady rozpočítávány na základě stanoveného parametru, kterými může například být počet normohodin, počet pracovníků, velikost podlahové plochy a počet najetých kilometrů.

Výpočet správní režie N_{SR} :

$$N_{SR} = SR \cdot N_{PMZ} = 1,2 \cdot 10800 = 12960 \text{ Kč} \quad (5.20)$$

Výpočet výrobní režie N_{VR} :

$$N_{VR} = VR \cdot N_{PMZ} = 4,5 \cdot 10800 = 48600 \text{ Kč} \quad (5.21)$$

5.3 Náklady na nástroj [8], [15], [36]

Pro výpočet potřebných nákladů na nástroj je nutné určit dobu potřebnou pro výrobu nástroje. Čas potřebný pro výrobu navrženého nástroje pro přesné stříhání s tlačnou hranou je stanoven na 200 hodin. Výrobu nástroje bude provádět nástrojař.

Výpočet nákladů na mzdy N_{MZN} :

$$N_{MZN} = T_v \cdot MT_n = 200 \cdot 220 = 44000 \text{ Kč} \quad (5.22)$$

kde T_včas na výrobu nástroje [h]

Výpočet zpracovatelských nákladů N_Z :

$$N_Z = N_{MZN} \cdot ZR = 44000 \cdot 6,9 = 303600 \text{ Kč} \quad (5.23)$$

Výpočet zisku nářad'ovny Z :

$$Z = Z_n \cdot N_Z = 0,2 \cdot 303600 = 60720 \text{ Kč} \quad (5.24)$$

kde Z_nUrčený zisk nářad'ovny – 15 % [%]

Pro určení celkových nákladů na nástroj je třeba stanovit cenu za použitých materiálů při výrobě nástroje. Při cenách jednotlivých tříd oceli dle firmy Feron a.s. by se měla cena materiálů použitých při výrobě nástroje pohybovat kolem 65000 Kč.

Výpočet celkových nákladů na nástroj N_N :

$$N_N = N_Z + Z + N_{MN} = 303600 + 60720 + 65000 = 429320 \text{ Kč} \quad (5.25)$$

kde N_{MN}Cena použitých materiálů – 65 000 Kč [Kč]

5.4 Celkové náklady a zisk [8], [15]

Celkové náklady jsou součtem všech nákladových složek s výjimkou ceny za pořízení lisu, podavačky a rovnačky. Započtení těchto nákladů by výrazně zvýšilo náklady na výrobu součástí. Navíc firma, která bude součásti vyrábět, může požadované stroje mít.

♦ Celkové náklady

Výpočet celkových nákladů N_C :

$$N_C = N_{PM} + N_{PMZ} + N_{OPN} + N_{SR} + N_{VR} + N_N \quad (5.26)$$
$$N_C = 23925167,2 + 10800 + 2160 + 12960 + 48600 + 429320$$
$$N_C = 24429007,2 \text{ Kč}$$

Výpočet celkových jednicových nákladů N_{Cj} :

$$N_{Cj} = \frac{N_C}{Q} = \frac{24429007,2}{200000} = 122,15 \text{ Kč} \quad (5.27)$$

♦ Určení zisku

Stanovení ceny jedné součásti je provedeno pomocí přírážky na zisk. Tato přírážka je stanovena na 25 % celkových jednicových nákladů.

Výpočet ceny jedné součásti s přírážkou na zisk C_S :

$$C_S = C_Z \cdot N_{Cj} = 1,25 \cdot 122,15 = 152,69 \text{ Kč} \quad (5.28)$$

kde C_ZPřirážka na zisk – 25% [%]

Výpočet celkové tržby T_C :

$$T_C = C_S \cdot Q = 152,69 \cdot 200000 = 30537500 \text{ Kč} \quad (5.29)$$

Výpočet zisku Z_C :

$$Z_C = T_C - N_C = 30537500 - 24429007,2 = 6108492,8 \text{ Kč} \quad (5.30)$$

5.5 Stanovení bodu zvratu [8], [15]

Bod zvratu reprezentuje přesné množství výrobků, které je třeba vyrobit a prodat, aby se firma, která součást vyrábí, nedostala do ztráty. Pokud je dosaženo počtu vyrobených a prodaných kusů na bodu zvratu, nedojde ani k zisku ani ke ztrátě. Bod zvratu porovnává celkové tržby T_C s celkovými náklady N_C . Pro vykázání zisku je třeba, aby celkové tržby byly větší než celkové náklady.

Výpočet fixních nákladů FN:

$$FN = N_{SR} + N_{VR} + N_N = 12960 + 48600 + 429320 = 490880 \text{ Kč} \quad (5.31)$$

Výpočet variabilních nákladů vn:

$$vn = N_{PMj} + N_{PMZj} + N_{OPNj} = 119,63 + 0,054 + 0,0108 = 119,69 \text{ Kč} \quad (5.32)$$

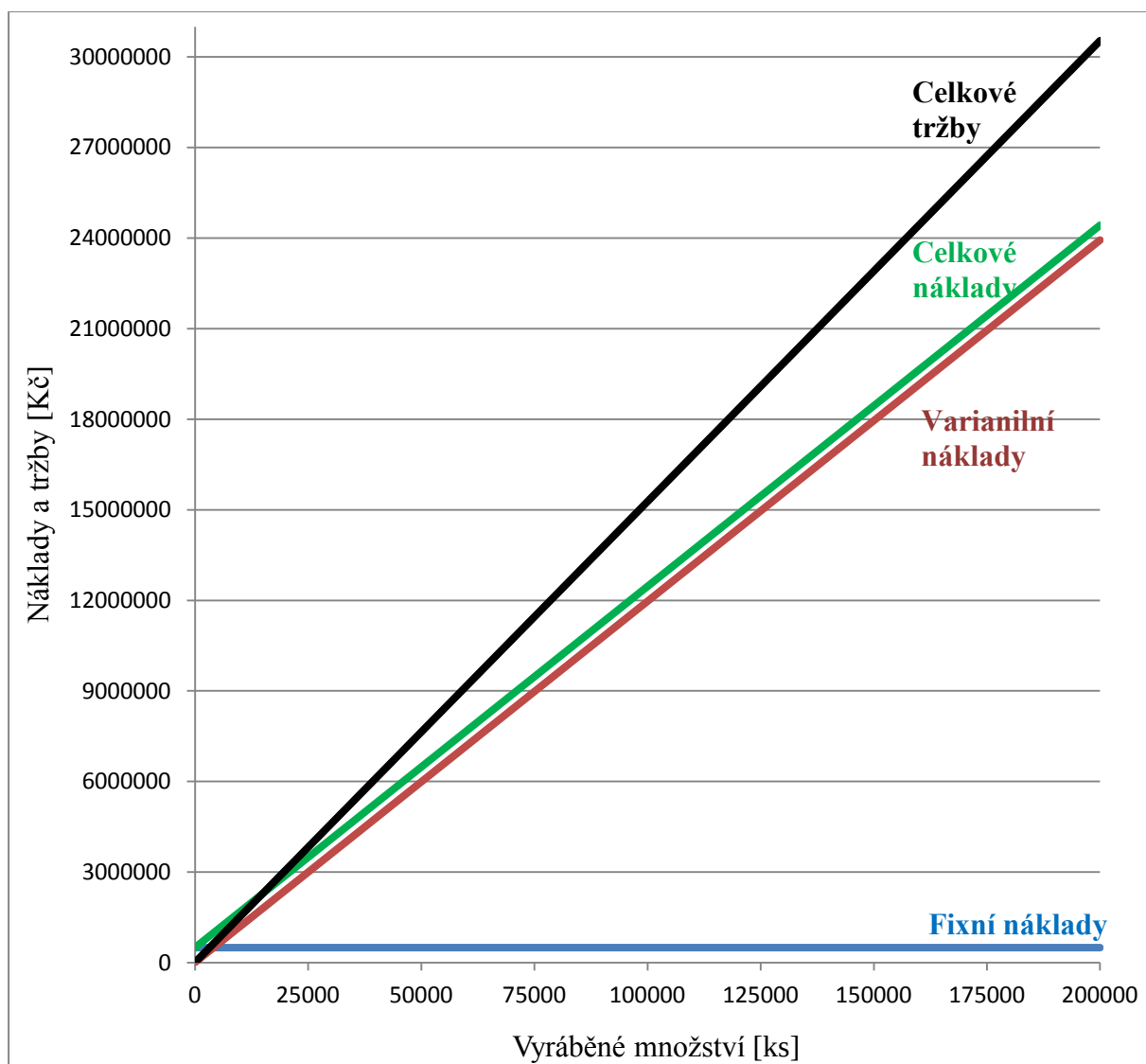
Výpočet bodu zvratu Q_0 :

$$Q_0 = \frac{FN}{C_S - vn} = \frac{490880}{152,69 - 119,69} = 14875,15 \text{ ks} \quad (5.33)$$

Dle výpočtu bodu zvratu je třeba vyrobit 14875 kotoučových brzd, aby firma nevykazovala ztrátu.

5.6 Vyhodnocení

Technicko – ekonomické zhodnocení se snaží přesně analyzovat nákladové položky zasahující do procesu výroby kotoučové brzdy řešené technologií přesného stříhání s tlačnou hranou. Při výrobě zadané série 200000 kusů se cena jedné kotoučové brzdy vyšplhala na 122,15 Kč. Celkové náklady na výrobu celé série jsou 24429008 Kč. Aby nedošlo k ztrátě při výrobě, je třeba vyrobit a následně prodat minimálně 14875 kusů brzd. Při vyrobení celé série a následně její prodeji při stanovené prodejní ceně 152,69 Kč dojde firma k zisku 6108493 Kč. Vyhodnocená situace je uvažována, že firma vlastní požadovaný hydraulický lis, rovnáčku a podavač. Koupě těchto strojů by výrazně zvýšily všechny náklady. Vyhodnocenou situaci ukazuje obr. 35. Celá série při uvažované jednosměnné výrobě bude vyrobena za 9 dní.



Obr. 35 Vyhodnocená finanční situace

6 ZÁVĚR

Cílem diplomové práce je návrh vhodné technologie výroby navržené kotoučové brzdy motocyklu. S uvažováním na použití kotoučové brzdy byly hlavní navržené rozměry součástí 6 mm tloušťka a 190 mm vnější průměr. Zvolený materiál je korozivzdorná ocel 17 023.

V literární části práce byly navrženy možné varianty výroby kotoučové brzdy. Následně byly zhodnoceny a navzájem porovnány, která nejvíce vyhovuje pro navrženou součást. Porovnávaly se dvě metody výroby, konvenční a nekonvenční výroba. Z nekonvenční výroby nejlépe vyšla výroba pomocí laseru a z konvenčních výrob metoda přesného stříhání. Následně po porovnání obou variant navzájem vyšel jako nejlepší způsob výroby metoda přesného stříhání. Proto byla metoda vybrána k výrobě a podrobněji rozpracována v další části diplomové práce.

V návrhové části práce byly, kde byly vypočítány a stanoveny technologické parametry technologie přesného stříhu. Mezi tyto parametry patřilo navržení geometrie tlačné hrany, kontrola vhodnosti součásti pro přesné stříhání, technologické, pevnostní a kontrolní výpočty.

Na základně těchto výpočtů a stanovení následovala volba potřebných strojů pro výrobu. Jelikož při stříhání nerezového plechu o poměrně velké tloušťce vyšly vysoké síly, bylo třeba zvolit vysoce výkonný hydraulický lis HFA 7000 od firmy Feintool. Zvolené odvíjecí a rovnací zařízení svitku plechu je také navrženo z výkonnější části nástrojů. Pro celkovou sílu 12 421 209 N byl navržen stroj HFA 7000 s maximální celkovou silou 14 000 000 N, odvíják MD SRA 3512 D od firmy PA Bohemia a rovnačka SS 127 HDX od stejné firmy.

Střížný nástroj bude stříhat na jeden zdvih vždy jednu součást. S ohledem na tvar, tloušťku plechu a trvanlivost nástrojů byla vybrána varianta konstrukce nástroje s pohyblivým střížníkem a pevným přidržovačem. Na nástroj bude nanesen povrchový povlak metodou vanadováním pro zvýšení pevnosti a otěruvzdornosti.

Na závěr diplomové práce bylo provedeno ekonomické zhodnocení navržené technologie výroby. Pokud uvažujeme variantu bez nákupu strojů pro výrobu, vypočtené náklady na vyrobení celé série jsou 24 429 008 Kč a prodejní cena jedné kotoučové brzdy je 152,69 Kč. Bod zvratu, který rozděluje produkci na ziskovou a neziskovou je 14 875 ks. Pokud se podaří vyrobit a následně prodat celou zakázku 200 000 dojde k obdržení zisku 6 108 493 Kč.

Z diplomové práce vyplývá, že navrhovaná technologie výroby součásti může být zisková při zadané množství výroby.

SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

1. BIRZER, Franz. *Forming and fineblanking: cost effective manufacture of accurate sheetmetal parts*. Landsberg/Lech: Verlag Moderne Industrie, 1997, 70 p. ISBN 34-789-3161-4.
2. BOBČÍK, Ladislav. *Střížné nástroje pro maloseriovou výrobu*. Vyd. 1. Praha: SNTL, 1983, 213 s.
3. DVOŘÁK, Milan. *Technologie tváření. Plošné a objemové tváření*. Brno: WELCO, 1996, 169 s. ISBN 80-214-0771-9.
4. DVOŘÁK, Milan. *Technologie tváření: plošné a objemové tváření*. 3. vyd. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2013, 169 s. Učební texty vysokých škol (Vysoké učení technické v Brně). ISBN 978-80-214-4747-9.
5. FISCHER, Ulrich. *Základy strojnictví*. 1. vyd. Praha: Europa-Sobotáles, 2004, 290 s. ISBN 80-867-0609-5.
6. FOREJT, Milan. *Teorie tváření*. 1. vyd. Brno: CERM, 2004, 167 s. ISBN 80-214-2764-7.
7. FÜRBAACHER, Ivan, Karel MACEK a Josef STEIDL. *Lexikon technických materiálů se zahraničními ekvivalenty: kovy, plasty, keramika, kompozity*. 1. vyd. Praha: Dashöfer, 2001, 4 sv. (na volných listech). ISBN 80-862-2902-5.
8. JUROVÁ, Marie. *Řízení výroby*. 1. vyd. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2011, 219 s. ISBN 978-80-214-4370-9.
9. *Metal forming handbook*. Berlin: Springer, 1998, xx, 563 s. ISBN 35-406-1185-1.
10. NOVOTNÝ, Josef a Zdeněk LANGER. *Stříhání a další způsoby dělení kovových materiálů*. Praha: SNTL - Nakladatelství technické literatury, 1980, 213 s.
11. Brzdy Brembo Moto. [Http://www.brzdy-brembo.cz/](http://www.brzdy-brembo.cz/) [online]. 2014 [cit. 2015-05-25]. Dostupné z: <http://www.brzdy-brembo.cz/brzdove-kotouce/>
12. CNC vysekávání. [Http://www.ncline.cz](http://www.ncline.cz) [online]. 2000 [cit. 2015-05-25]. Dostupné z: <http://www.ncline.cz/index.php?lang=cz&menu=zamereni&submenu=vysekavani>
13. *Der Partner für den feinen Unterschied* [online]. 2015 [cit. 2015-05-25]. Dostupné z: <http://www.feintool.com/>
14. Fineblanking Technology. [Http://www.moriiron.com](http://www.moriiron.com) [online]. 2015 [cit. 2015-05-25]. Dostupné z: <http://www.moriiron.com/english/technology/fbpt.html>
15. Heralecký, T. *Manažerská ekonomika*. Přednášky. Brno: VUT, 2014.
16. CHPS [online]. 2014 [cit. 2015-05-25]. Dostupné z: <http://chps.cz/>
17. Korozivzdorné a žárupevné oceli třídy 17, jejich složení a tepelné zpracování. [Www.tumlikovo.cz](http://www.tumlikovo.cz) [online]. 2010 [cit. 2015-05-25]. Dostupné z: <http://www.tumlikovo.cz/rubriky/materialy/konstrukcni-oceli/oceli-tridy-17/>
18. KovokomŠrot = kovošrot a výkup druhotných surovin na 110%. [Www.kovokomsrot.cz](http://www.kovokomsrot.cz) [online]. 2012 [cit. 2015-05-25]. Dostupné z: www.kovokomsrot.cz
19. *Laserové a plazmové řezání*. Brno, 2014.
20. Metal Cutting Services. [Http://www.indiamart.com](http://www.indiamart.com) [online]. 2015 [cit. 2015-05-25]. Dostupné z: <http://www.indiamart.com/macwell/metal-cutting-services.html>
21. *Nové technologie* [online]. 2000 [cit. 2015-05-25]. Dostupné z: <http://laser.zcu.cz/>
22. *PA Bohemia* [online]. 2015 [cit. 2015-05-25]. Dostupné z: <http://www.pabohemia.cz>
23. Pavel Břichnáč: Plazmové technologie. [Http://www.aldebaran.cz](http://www.aldebaran.cz) [online]. [cit. 2015-05-25]. Dostupné z: http://www.aldebaran.cz/bulletin/2004_20_plt.html
24. Postupové stříhadlo. [Http://autodesk.c-agency.cz](http://autodesk.c-agency.cz) [online]. 2015 [cit. 2015-05-25]. Dostupné z: <http://autodesk.c-agency.cz/galerie?gallery=2730>
25. Produkty a služby. [Http://www.vinbra.cz/](http://www.vinbra.cz/) [online]. 2011 [cit. 2015-05-25]. Dostupné z: <http://www.vinbra.cz/produkty>

26. Přehled jakostí korozivzdorných ocelí s chemickým složením. *Http://www.daltek.cz* [online]. 2009 [cit. 2015-05-25]. Dostupné z: http://www.daltek.cz/nerez/technicka_podpora_normy/10_prehled_jakosti.html
27. Přesný stříh – více než jen výrobní metoda. *Http://www.konturatools.cz* [online]. 2015 [cit. 2015-05-25]. Dostupné z: <http://www.konturatools.cz/aktualita/02-07-2007-presny-strih-vice-nez-jen-vyrobní-metoda>
28. Řezání vodním paprskem. *Http://www.awac.cz* [online]. [cit. 2015-05-25]. Dostupné z: <http://www.awac.cz/cz/2-Rezani-vodnim-paprskem-br-a-vyroba-dilu/1-Rezani-vodnim-paprskem>
29. Řezání vodním paprskem. *Http://www.pkit.cz/* [online]. 2008 [cit. 2015-05-25]. Dostupné z: <http://www.pkit.cz/rezani-vodnim-paprskem.php>
30. Sheet Metal Cutting (Shearing). *Http://www.custompartnet.com* [online]. 2009 [cit. 2015-05-25]. Dostupné z: <http://www.custompartnet.com/wu/sheet-metal-shearing>
31. Technologie plošného tváření - stříhání. *Http://www.ksp.tul.cz* [online]. [cit. 2015-05-25]. Dostupné z: http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta_tkp/sekce/06.htm
32. *Technologie řezání*. Brno, 2014.
33. The process of fineblanking. *Http://www.thefabricator.com* [online]. 2015 [cit. 2015-05-25]. Dostupné z: <http://www.thefabricator.com/article/stamping/the-process-of-fineblanking>
34. *Tření, opotřebení a mazání* [online]. 2015 [cit. 2015-05-25]. Dostupné z: <http://www.tribotechnika.sk/>
35. *Všechny termíny* [online]. 2014 [cit. 2015-05-25]. Dostupné z: <http://www.firemnislovník.cz/>
36. *Výroba a ostření nástrojů* [online]. 2015 [cit. 2015-05-25]. Dostupné z: <http://jk-nastroje.cz/>
37. Vysekávání plechu. *Http://www.chkovo.cz* [online]. 2003 [cit. 2015-05-25]. Dostupné z: <http://www.chkovo.cz/co-delame/vysekavani-plechu/>
38. X30Cr13. *Http://www.bolzano.cz* [online]. 2015 [cit. 2015-05-25]. Dostupné z: <http://www.bolzano.cz/cz/technicka-podpora/technicka-prirucka/vyrobky-z-korozivzdornych-a-zaruvzdornych-oceli/vyrobky-z-oceli-korozivzdornych/materialove-listy/x30cr13-martenziticke>

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

Symbol	Jednotka	Popis
Δh	[mm]	Tloušťka okraje materiálu po střihu
$\Delta \sigma_3$	[MPa]	Přídavná složka tlakového napětí
a	[mm]	Mezera vrcholů tlačných hran od křivky střihu
A_c	[J]	Celková práce
A_p	[J]	Práce přidržovače
A_s	[J]	Střížná práce
A_v	[J]	Práce vyhazovače
b	[mm]	Šířka tvarového střížníku
B_{0A}	[mm]	Nevyužitá šířka svitku pro variantu A
b_1	[mm]	Velikost postranního odpadu
b_2	[mm]	Šířka můstku
B_A	[mm]	Šířka svitku pro variantu A
B_B	[mm]	Šířka plechu pro variantu B
B_t	[ks]	Potřebný počet tlačných kolíků
B_v	[ks]	Potřebný počet vyhazovacích kolíků
c	[-]	Součinitel střížné vůle
C_m	[Kč]	Nákupní cena materiálu
$C_{m/kg}$ [Kč]	[Kč]	Cena 1 kg materiálu ve svitku
C_S	[Kč]	Cena jedné součásti s přírážkou na zisk
D	[mm]	Největší průměr kotoučové brzdy
d	[mm]	Průměr střížníku
d_0	[mm]	Průměr střížníku 7,8 mm
$d_{7,8}$	[mm]	Průměr střížníku na vystřížení díry 7,8 mm
d_m	[mm]	Minimální průměr otvoru
D_{maxS}	[mm]	Maximální vnější průměr svitku
d_{min}	[mm]	Minimální průměr otvoru pro ocel 17 023
d_{minS}	[mm]	Minimální vnitřní průměr svitku
F_c	[N]	Celková síla
FN	[Kč]	Fixní náklady
F_p	[N]	Síla přidržovače
$F_{pře}$	[N]	Faktor přesnosti výstřížku
F_s	[N]	Střížná síla
$F_{S7,8}$	[N]	Střížná síla pro střížník o průměru 7,8
F_v	[N]	Síla vyhazovače
H	[mm]	Výška tlačné hrany
h	[mm]	Výška tlačné hrany
H_{min}	[mm]	Minimální výška střížnice

JM	[%]	Jednicové mzdy
JR	[mm]	Jmenovitý rozměr
k	[-]	Koeficient bezpečnosti
K	[mm]	Délka kroku
k_A	[mm]	Ekonomické využití pro variant A
k_B	[mm]	Ekonomické využití pro variant A
k_s	[MPa]	Střížný odpor
$K_{\sigma\text{Dovt}}$	[mm]	Koeficient pro výpočet dovoleného napětí v tlaku
l	[mm]	Délka drážky střížníku
L	[mm]	Délky křivky stříhu
l_{0A}	[mm]	Nevyužitá délka svitku pro variantu A
l_{0BL}	[mm]	Nevyužitá délka svitku v prvním řádku
l_{0BS}	[mm]	Nevyužitá délka svitku v druhém řádku
L_c	[mm]	Celková délka křivky stříhu
l_d	[mm]	Vzdálenost konce prvního výstřížku a kraje svitku
l_{dS}	[mm]	Vzdálenost konce druhého výstřížku a kraje svitku
L_h	[mm]	Délka tlačné hrany
l_{krit}	[mm]	Kritická délka střížníku
l_s	[mm]	Celková délka svitku plechu
m_c	[Kg]	Hmotnosti plechu na celou výrobní sérii
m_s	[Kg]	Hmotnost svitku
MT_n	[Kč/h]	Výdaje na nástrojáře
MT_{ol}	[Kč/h]	Výdaje na obsluhu linky
m_v	[Kg]	Hmotnost výstřížků ve výrobní sérii
n	[-]	Součinitel otupení
n_A	[mm]	Počet výstřížků z pásu plechu
n_B	[mm]	Počet dílů při rozložení na plechu dle varianty B
n_{B1}	[mm]	Počet dílu v rozložení u varianty B v prvním řádku
n_{B2}	[mm]	Počet dílu v rozložení u varianty B v druhém řádku
N_C	[Kč]	Celkové náklady na nástroj
n_h	[Ks]	Celkový čas pro výrobu celé série
N_{MZN}	[Kč]	Náklady na mzdy na výrobu nástroje
N_{OPN}	[Kč]	Ostatní přímé náklady
N_{OPNj}	[Kč]	Ostatní přímé náklady na jednici
N_{pm}	[Kč]	Cena odpadu
N_{PM}	[Kč]	Náklady na přímý materiál
N_{PMj}	[Kč]	Jednicové náklady na přímý materiál
N_{PMZ}	[Kč]	Náklady na mzdy
N_{PMZj}	[Kč]	Jednicové náklady na mzdy
n_s	[ks]	Počet svitku na výrobní sérii
$n_{s/h}$	[Ks]	Počet součástí vyrobených za hodinu

$n_{s/sm}$	[Ks]	Počet součástí vyrobených za pracovní směnu
n_{sm}	[Ks]	Počet potřebných směn
N_{SR}	[Kč]	Správní režie
N_{VR}	[Kč]	Výrobní režie
N_Z	[Kč]	Zpracovatelské náklady na výrobu nástroje
o_1	[mm]	Obvod jednoho kruhu
o_{1C}	[mm]	Obvod všech kruhů
o_2	[mm]	Obvod jednoho obdélníku
o_{2C}	[mm]	Obvod všech obdélníků
o_3	[mm]	Obvod vnitřního a vnějšího obrysu výstřižku
OPN	[%]	Ostatní přímé náklady
P	[mm]	Přípustná míra opotřebení
p	[MPa]	Měrný tlak
Q	[ks]	Roční výrobní dodávka
Q_0	[Ks]	Bod zvratu
r	[mm]	Poloměr zaoblení na přidržovači
R	[mm]	Poloměr zaoblení na střižnici
R_1	[mm]	Minimální poloměr rohů
RAD	[mm]	Rozměr střižníku při děrování
RAV	[mm]	Rozměr střižníku při vystřihování
R_e	[MPa]	Mez pružnosti
RED	[mm]	Rozměr střižnice při děrování
REV	[mm]	Rozměr střižnice při vystřihování
R_m	[MPa]	Mez pevnosti v tahu
R_{min}	[mm]	Minimální vnější poloměr R_{min}
r_{min}	[mm]	Minimální vnitřní poloměr
S	[mm ²]	Průřezová plocha střižníku
S_0	[mm ²]	Plocha průřezu dosedací plochy střižníku 7,8 mm
S_{odp1}	[mm ²]	Obsah jednoho vystřihnutého kruhu
S_{odp1C}	[mm ²]	Obsah všech vystřihnutých kruhů
S_{odp2}	[mm ²]	Obsah jednoho vystřihnutého obdélníku
S_{odp2C}	[mm ²]	Obsah všech vystřihnutých obdélníků
S_{odp3}	[mm ²]	Obsah všech vystřihnutých obdélníků
S_p	[mm ²]	Funkční plocha přidržovače
S_{pA}	[mm]	Plocha pásu plechu pro variantu A
S_{pB}	[mm]	Plocha pásu plechu pro variantu A
SR	[%]	Správní režie
S_s	[mm ²]	Plocha stříhu
S_{vys}	[mm ²]	Plocha výstřižku
t	[mm]	Tloušťka materiálu
TA	[mm]	Výrobní tolerance střižníku

T_C	[Kč]	Celková tržba
TE	[mm]	Výrobní tolerance střižnice
T_S	[ks]	Životnost nástroje
TS	[mm]	Tolerance jmenovitého rozměru
v	[mm]	Střižná vůle
vn	[Kč]	Variabilní náklady
VR	[%]	Výrobní režie
W_1	[mm]	Minimální vzdálenost mezi otvory a drážkami
Z	[Kč]	Zisk nářad'ovny
Z_C	[Kč]	Zisk
ZR	[%]	Zpracovatelská režie
β	[°]	Vnější úhel tlačné hrany
γ	[°]	Vnitřní úhel tlačné hrany
ρ	[kg/m ³]	Hustota materiálu
σ_3	[MPa]	Tlakové napětí
σ_{3c}	[MPa]	Celkové napětí
σ_d	[MPa]	Kontrola střižníku na otlačení
σ_{DOV}	[MPa]	Maximální dovolené napětí
σ_{Dovt}	[MPa]	Výpočet maximálního dovoleného napětí v tlaku
τ	[MPa]	Průřezová plocha střižníku
τ_{ps}	[MPa]	Mez pevnosti ve stříhu

SEZNAM OBRÁZKŮ

Pořadí	Název obrázku	Stránka
Obr. 1	Příklady vyráběných dílců stříháním	10
Obr. 2	Kotoučová brzda motocyklu	11
Obr. 3	Navržena kotoučová brzda motocyklu	11
Obr. 4	Vliv teploty na pevnost při popouštění	12
Obr. 5	Schéma laserového řezání	13
Obr. 6	Schéma plazmového řezání	14
Obr. 7	Řezací hlava vodního paprsku	15
Obr. 8	Ukázka možnosti děrování	16
Obr. 9	Schéma postupového stříhadla	17
Obr. 10	Přesné stříhání – Metoda s tlačnou hranou	18
Obr. 11	Střížná fáze	20
Obr. 12	Rozdělení dle typu stříhání	21
Obr. 13	Schéma napjatosti u přesného stříhání	22
Obr. 14	Schéma přesného stříhání se zaoblenou střížnou hranou	23
Obr. 15	Přesné stříhání se zkoseným přidržovačem	23
Obr. 16	Schéma přistřihování	24
Obr. 17	Schéma kalibrování	25
Obr. 18	Stažení hrany výstřížku	26
Obr. 19	Schéma stříhání s tlačnou hranou	27
Obr. 20	Průběh přesného stříhání s tlačnou hra	27
Obr. 21	Porovnání střížných vůli	28
Obr. 22	Schéma napjatosti	29
Obr. 23	Minimální velikost postranního odpadu a můstku	31
Obr. 24	Schéma tlačné hrany	31
Obr. 25	Optimální velikost poloměrů rohů a hran	35
Obr. 26	Minimální vzdálenost mezi otvory a drážkami	36
Obr. 27	Tlačné hrany	37
Obr. 28	Znázornění tlačné hrany	39
Obr. 29	Rozložení součástí pro první variantu	40
Obr. 30	Rozložení součástí pro druhou variantu	40
Obr. 31	Nástřihový plán pro variantu A	41
Obr. 32	Nástřihový plán pro variantu B	42
Obr. 33	Plocha výstřížku	43
Obr. 34	Zvoleny lis HFA 7000	52
Obr. 35	Vyhodnocená finanční situace	59

SEZNAM TABULEK

Pořadí	Název tabulky	Stránka
Tab. 1	Značení použité oceli 17 023	12
Tab. 2	Chemické složení použité oceli 17 023	12
Tab. 3	Základní parametry laserového řezání	14
Tab. 4	Základní parametry plazmového řezání	15
Tab. 5	Základní parametry vodního paprsku	15
Tab. 6	Rozměrová přesnost součástí	26
Tab. 7	Vhodnost materiálu k přesnému stříhání metodou s tlačnou hranou	28
Tab. 8	Porovnání střižníků	32
Tab. 9	Minimální průměr otvorů a šířky drážky	37
Tab. 10	Parametry tlačných hran dle firmy Feintool	39
Tab. 11	Velikosti postranního odpadu a můstku	39
Tab. 12	Parametry odvíjáku MD SRA 3512 D	53
Tab. 13	Parametry rovnačky SS 127 HDX	53
Tab. 14	Vstupní hodnoty do technicko – ekonomického zhodnocení	54

SEZNAM VÝKRESOVÉ DOKUMENTACE

KANTOR - DP – 2015-00	Strizny nástroj
KANTOR - DP – 2015-01	Striznik
KANTOR - DP – 2015-02	Kusovník