



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE

INSTITUTE OF MANUFACTURING TECHNOLOGY

VÝROBA ŘETĚZOVÉHO KOLEČKA BMX KOLA

MANUFACTURING OF CHAIN WHEEL FOR BMX BIKE

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Erik Figar

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Jan Řiháček

BRNO 2017

Zadání bakalářské práce

Ústav:	Ústav strojírenské technologie
Student:	Erik Figar
Studijní program:	Strojírenství
Studijní obor:	Strojírenská technologie
Vedoucí práce:	Ing. Jan Řiháček
Akademický rok:	2016/17

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 bakalářské práce:

Výroba řetězového kolečka BMX kola

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Jedná se o návrh výroby součásti z ocelového plechu. Zadaná součást bude vyráběna technologií přesného stříhání. Na tuto problematiku bude také zaměřena literární rešerše i výpočty potřebné pro návrh a kontrolu nástroje.

Cíle bakalářské práce:

- vypracování aktuální literární rešerše se zaměřením na technologii přesného stříhání
- zhodnocení možností výroby
- návrh vhodné technologie a provedení technologických a kontrolních výpočtů
- návrh nástroje společně s vyhotovením výkresů vybraných dílů
- technicko–ekonomické zhodnocení, závěry a doporučení

Seznam doporučené literatury:

DVOŘÁK, Milan, František GAJDOŠ a Karel NOVOTNÝ. Technologie tváření: plošné a objemové tváření. 2. vyd. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2007. 169 s. ISBN 978-80-214-3425-7.

FOREJT, Milan a Miroslav PÍŠKA. Teorie obrábění, tváření a nástroje. 1. vyd. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2006, 225 s. ISBN 80-214-2374-9.

HOSFORD, William F. a Robert M CADDELL. Metal forming: mechanics and metallurgy. 4th ed. Cambridge: Cambridge University Press, 2011, xii, 331 s. ISBN 978-1-107-00452-8.

NOVOTNÝ, Karel. Tvářecí nástroje. Brno: Vysoké učení technické, 1992. ISBN 80-214-0401-9.

VYSKOČIL, Oldřich a Pavel BARTOŠ. Směrnice pro konstrukci nástrojů pro přesné stříhání. Brno: Zbrojovka Brno, 1977, 88 s.

ABSTRAKT

FIGAR Erik: Výroba řetězového kolečka BMX kola.

Práce se zabývá návrhem vhodné technologie pro výrobu řetězového kolečka BMX kola, vyrobeného z plechu 14 220.3, o tloušťce 4 mm. Výrobní série činí 200 000 kusů za rok. Po analýze různých možností výroby byla zvolena jako nejvhodnější technologie přesného stříhání s tlačnou hranou. Byl vytvořen technologický návrh, jenž zahrnuje volbu vhodného polotovaru (tabule plechu 4x2000x6000 mm), návrh střížného nástroje s příslušnou výkresovou dokumentací vybraných dílců. Na základě vypočtených hodnot byl dále zvolen výrobní stroj, hydraulický trojčinný lis HFA 4500 plus od firmy Feintool. V poslední fázi bylo provedeno technicko-ekonomické zhodnocení efektivnosti této výroby.

Klíčová slova: Plošné tváření, řetězové kolečko, střížný nástroj, ocel 14 220.3, přesné stříhání, tlačná hrana

ABSTRACT

FIGAR Erik: Manufacturing of chain wheel for BMX bike.

The thesis deals with the design of suitable technology for the production of BMX sprocket made of sheet metal 14 220.3, with a thickness of 4 mm. The production series is 200,000 units per year. Following the analysis of different production options, fine-blanking technology has been chosen as the most suitable precision cutting technology. A technological proposal has been created, which includes the choice of a suitable appropriate blank (sheet metal 4x2000x6000 mm) as well as the design of a shearing tool with the corresponding drawing documentation of its selected parts. On the basis of the calculated values, HFA 4500 plus hydraulic triple action press manufactured by the Feintool company was selected as a production machine. In the last stage, technical and economic assessment of the efficiency of this production was performed.

Keywords: sheet metal forming, chain wheel, shearing tool, steel 14 220.3, fine blanking, vee-shaped ring

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

FIGAR, Erik. *Výroba řetězového kolečka BMX kola*. Brno, 2015. 47s, 7 výkresů, 1 příloha, CD. bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství. Ústav strojírenské technologie, Odbor technologie tváření kovů a plastů. Vedoucí práce Ing. Jan Řiháček.

ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

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

V dne 26.5.2017

.....
Podpis

PODĚKOVÁNÍ

Tímto děkuji panu Ing. Janu Řiháčkovi za cenné připomínky a rady týkající se zpracování bakalářské práce. Dále děkuji všem mým přátelům a především rodině, která mě po celou dobu studia podporovala.

OBSAH

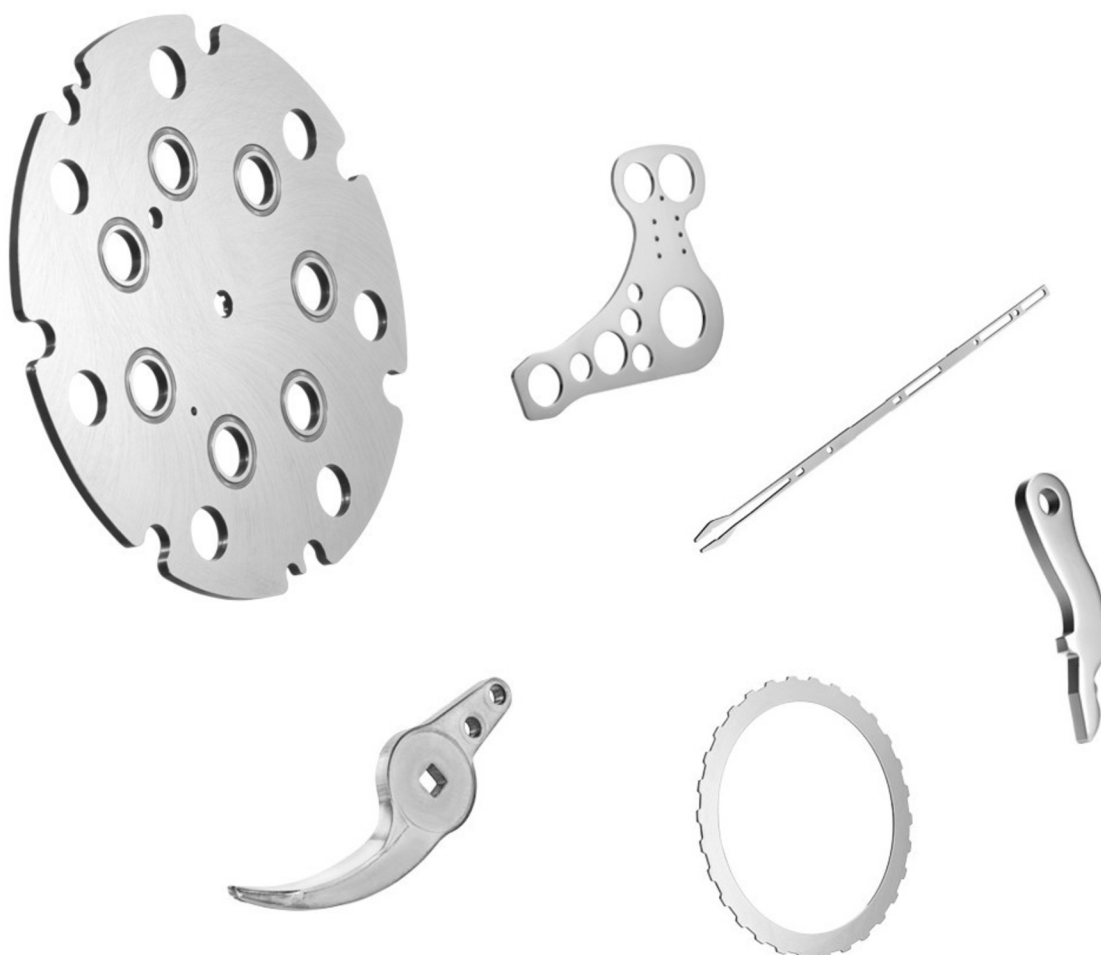
Zadání	
Abstrakt	
Bibliografická citace	
Čestné prohlášení	
Poděkování	
Obsah	Str.
ÚVOD	8
1 ROZBOR ZADÁNÍ	9
1.1 Výrobní varianty	10
1.2 Výrobní varianty	13
2 TECHNOLOGIE PŘESNÉHO STŘÍHÁNÍ S TLAČNOU HRANOU	15
2.1 Tlačná hrana	16
2.2 Střížné síly a střížná práce	17
2.3 Střížná vůle	18
2.4 Konstrukce nástroje	19
2.4.1 Nástroje s pevným střížníkem a pohyblivým přidržovačem	19
2.4.2 Nástroje s pohyblivým střížníkem a pevným přidržovačem	20
2.4.3 Konstrukce funkčních částí nástroje	20
2.5 Materiály střížných nástrojů	21
2.6 Technologičnost	22
3 NÁVRH VÝROBY SOUČÁSTI	23
3.1 Určení můstku a postranního panelu	24
3.2 Využití materiálu	24
3.3 Tlačná hrana	27
3.4 Střížná vůle	27
3.5 Síly a práce	28
3.6 Určení rozměrů střížnice a střížníku	28
3.7 Výška střížnice	31
3.8 Kontrola střížníku na vzpěr	31
3.9 Kontrola pevnosti střížníku	32
3.10 Výpočet tlačných a vyrážecích kolíků	32
3.11 Princip nástroje	33
3.12 Výběr lisu	34
4 TECHNICKO – EKONOMICKÉ HODNOCENÍ	36
5 ZÁVĚRY	39
Seznam použitých zdrojů	
Seznam použitých symbolů a zkratk	
Seznam obrázků	
Seznam tabulek	
Seznam příloh	
Seznam výkresů	

ÚVOD [2], [4], [6], [8], [13], [15], [17]

Ozubená kola tvoří podstatnou část výroby ve strojírenství. Obvykle slouží pro přenos točivého momentu buď na další ozubené kolo, nebo mezi dvěma hřídeli. Výroba ozubených kol patří ke složitým výrobním procesům a je nutné jej provést v co nejlepší možné přesnosti.

K výrobě řetězového kolečka můžeme přistupovat mnoha způsoby. Mezi základní způsoby výroby můžeme zařadit například frézování, obrážení nebo broušení. Všechny tyto způsoby spadají do odvětví obrábění. Druhou možnou variantou, která se hodí spíše pro sériovou výrobu je technologie tváření.

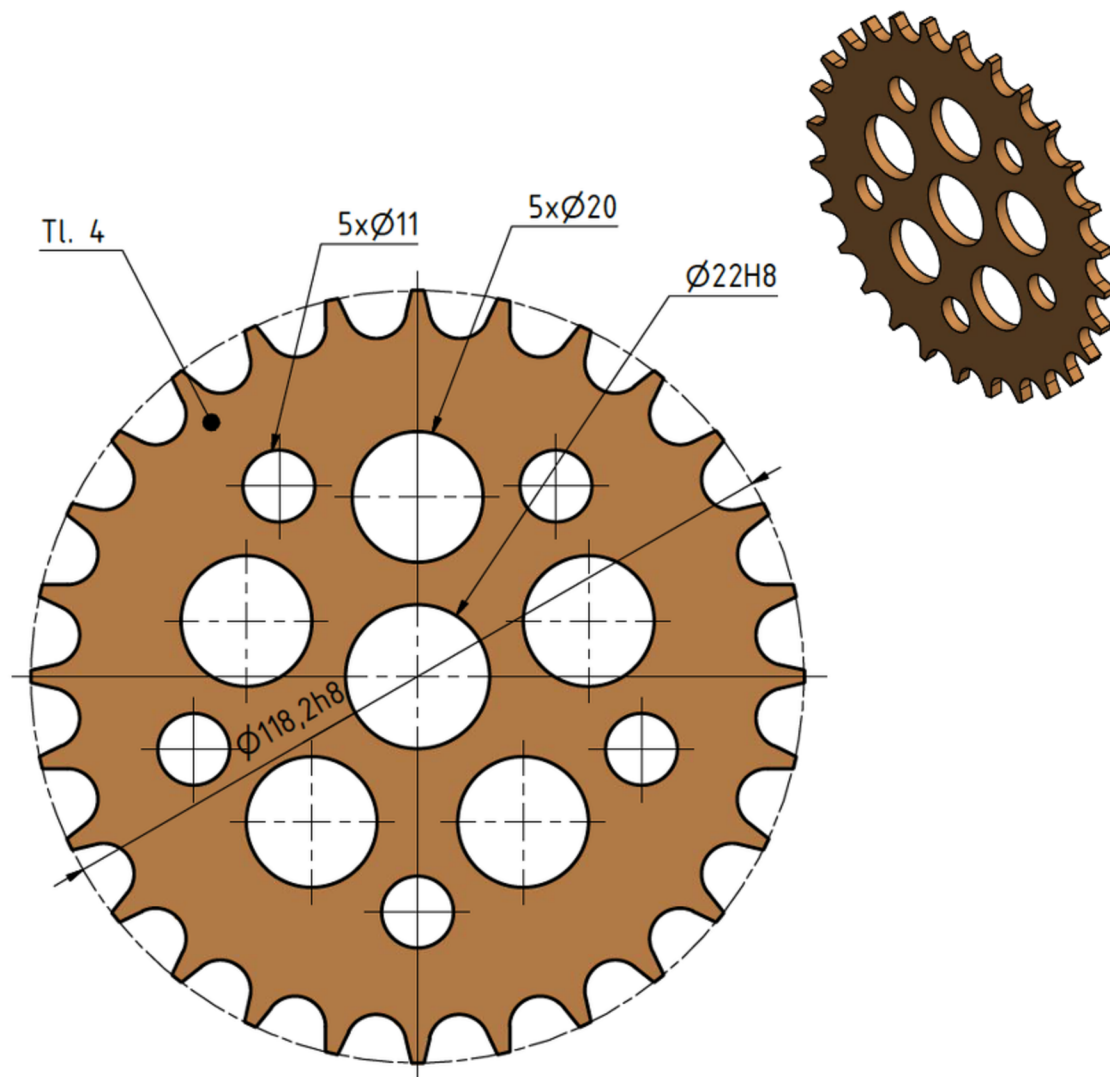
Technologie tváření lze rozdělit do dvou základních skupin: objemové tváření a plošné tváření. Plošné tváření je technologie, při které se výrobky zhotovují z plechového polotovaru. Mezi jednu z nejrozšířenějších technologií plošného tváření se řadí operace stříhání. To lze dále dělit na různé podkategorie, jako například postupové stříhání nebo stříhání přesné. Stříhání obecně má v dnešní době vysokou konkurenci v oblasti nekonvenčních technologií, jako Řezání laserem, plasmou, či vodním paprskem. Nicméně stále jsou určitá odvětví, ve kterých je tato technologie nenahraditelná. Příklady výrobků pomocí přesného stříhání jsou na obr. 1.



Obr. 1 Výrobky přesného stříhání [12]

1 ROZBOR ZADÁNÍ [1], [17]

Vyráběná součást, řetězové kolečko BMX kola, v cyklistice označováno též jako převodník, zajišťuje synchronizaci kroutícího momentu vyvolaného šlapáním jezdce na zadní kolony pomocí řetězu. Ozubené kolo i s jeho základními rozměry je vyobrazeno na obr.2.



Obr. 2 Ozubené kolo

Součást se vyrábí v mnoha variantách v závislosti na odlehčení, počtu zubů, pevnosti, ale především ceně. Z důvodu absence převodů u BMX kola, je zásadním kritériem převodníku počet zubů. Dle toho se rozlišuje mezi dvěma základními typy: 28 zubů a 25 zubů. Označováno také jako 28T a 25T. Předpokládaný požadavek pro výrobu je 28 zubů při sérii 200 000 ks/rok.

Součást je kruhovitého tvaru s deseti otvory pro odlehčení a vnitřní funkční dírou. Vnitřní díru, která slouží pro nasazení převodníku na středovou osu BMX kola, je nutné vyrobít s přesností IT 7. Tato přesnost se běžně vyskytuje ve strojírenském průmyslu, a proto by neměl být problém tuto součást v dané toleranci vyrobít. Ostatní otvory pro odlehčení nepožadují žádnou vyšší přesnost výroby. Dále je požadována drsnosti povrchu $Ra = 0,8 \mu m$ v oblasti zubů. Tato drsnost bude dosažena pomocí některé z dokončovacích operací. Z důvodu toho, že není uveden žádný požadavek pro drsnost povrchu na ostatních plochách, lze použít neopracovaný materiál.

Vzhledem k tomu, že převodník bude vystavován mechanickému zatížení a jiným vnějším vlivům, byl jako materiál zvolena ocel 14 220.3, což je manganchromová ocel, žíhaná na měkko s následujícími specifikacemi (tab. 1, tab. 2).

Tab. 1 Ekvivalentní označení pro ocel 14 220.3 [17]

ISO	TYPE 5	ISO 683/11-70
EURO	16MnCr5	EN 10084-94, EN 84-70
Německo	16MnCr5	DIN 17210-86 (1.1191)

Tab. 2 Chemické složení oceli 14 220.3 [17]

C	Mn	Si	Cr	P	S
0,14 – 0,19	0,10 – 1,40	0,17 – 0,37	0,80 – 1,10	max. 0,035	max. 0,035

Žíháním této oceli se sice zhoršuje její obrobiteľnosť, nicméně pro tváření za studena má příznivý vliv. Především se jedná o snížení tvrdosti, meze kluzu a meze pevnosti. Naopak se zvyšuje tažnost. Přesné mechanické vlastnosti jsou uvedeny v tab. 3.

Tab. 3 Mechanické vlastnosti oceli 14 220.3 [17]

Mez kluzu	R _e	[MPa]	247
Mez pevnosti	R _m	[MPa]	441
Tažnost	A _S	[%]	38
Kontrakce (zúžení)	Z ₁	[%]	40
Tvrdost	HV ₁₀	[-]	120
	HB	[-]	max. 197
Modul pružnosti v tahu	E _p	[GPa]	290

1.1 Výrobní varianty [1], [2], [3], [6], [8], [11], [13], [16], [18], [19]

Výrobu převodníku lze provést několika způsoby. Na jednotlivých způsobech je důležité zhodnotit jejich časovou náročnost, vzhledem k sérii 200 000 ks/rok a především přesnost výroby vzhledem ke vstupním parametrům. V neposlední řadě je nutné se zaměřit také na náklady spojené s danou technologií.

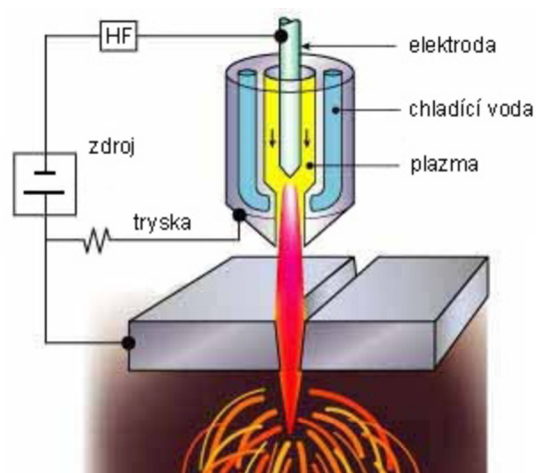
a) řezání kyslíkem – v praxi se běžně používá pro řezání ocelí. Princip řezání kyslíkem spočívá



v ohřevu materiálu na zápalnou teplotu, běžně mezi 1050 °C až 1300 °C, která zajistí vznik strusky, která je kyslíkem vyfukována z místa řezu. Tato technologie si své místo na trhu udržuje především možností teoreticky neomezené tloušťky řezu. Obvyklé tloušťky se pohybují v rozmezí 3 až 300 mm, což je v běžné praxi dostačující, nicméně se podařilo úspěšně řezat i tloušťku 2000 mm. Řezná rychlost této metody je ale příliš pomalá a proto se nehodí pro uvažovanou sérii. Metoda je vyobrazena na obr. 3.

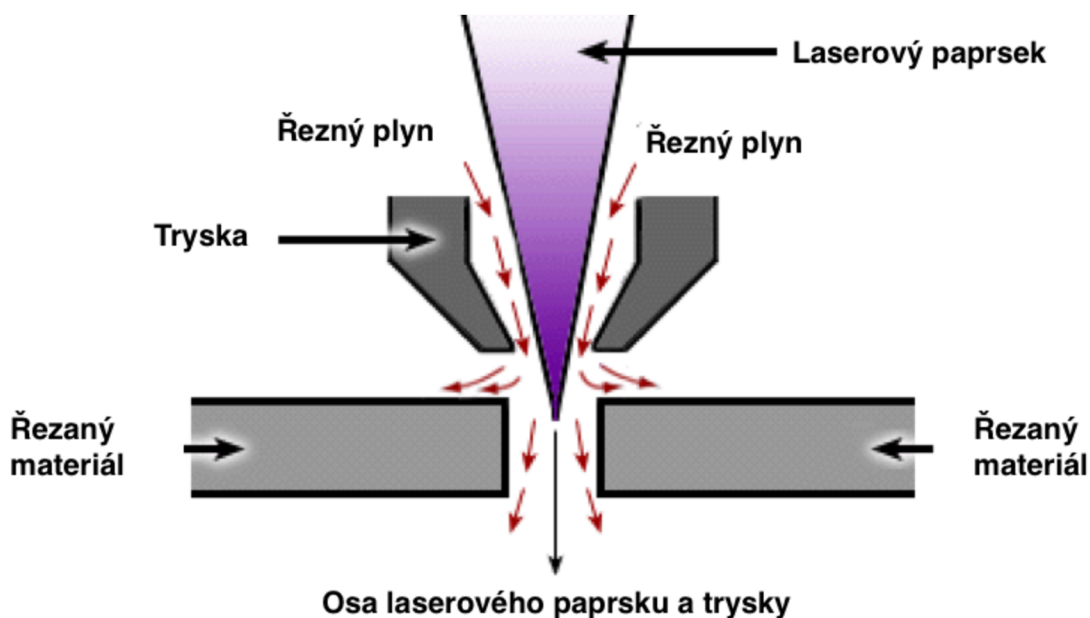
Obr. 3 Řezání kyslíkem [8]

b) řezání plasmou – jedná se o ionizovaný plazmový plyn v elektrickém oblouku. Tuto metodu lze použít prakticky pro jakýkoliv elektricky vodivý materiál. Plazmový paprsek se pohybuje ve vysokých teplotách, různé zdroje uvádí až 30 000 °C. Tím lehce nataví řezaný materiál a vyfoukne ho při výstupních rychlostech 1000 m·s⁻¹ až 2000 m·s⁻¹. Schéma této metody lze vidět na obr. 4. Jak již bylo zmíněno, výhodou této metody je bezesporu možnost řezat jakýkoliv elektricky vodivý materiál. Další výhodou je vysoká řezná rychlost, která je až 10× větší než u řezání kyslíkem. Pořizovací náklady jsou taktéž přijatelné, v porovnání např. s laserovým řezáním, ovšem kvalita povrchu je nedostačující.



Obr. 4 Řezání plasmou

c) řezání laserem – v současnosti se jedná o jednu z nejmodernějších technologií, jejíž hlavní výhodou je možnost řezání nejrůznějších materiálů. Lze dělit všechny druhy kovů, nejrůznější plasty, ale dokonce i pryž nebo dřevo. Z hlediska fyziky se jedná o fokusovaný svazek fotonů, který materiál ohřátý do bodu varu vyfoukne z místa řezu. Schéma je možné vidět na obr. 5. Výsledná řezná plocha má drsnost přibližně $R_a = 1,6 \mu\text{m}$ a dosahuje vysokých přesností. Zpravidla do 0,05 mm. Mezi další výhody laserového dělení patří možnost vyřezávat malé otvory, úzké pásy nebo tvary s ostrými úhly a neposledně i hospodárnost této technologie při malých sériích. Laserovým zařízením se díky různým nastavením dají zhotovit součásti různého tvaru a požadavků. Tato metoda se zdá být vhodná pro výrobu zadané součásti, nicméně z hlediska pořizovací ceny je příliš nákladná a nevyplácí se.



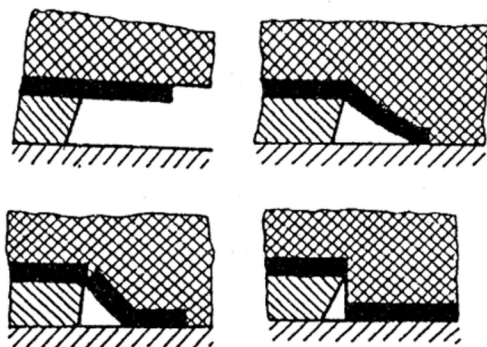
Obr. 5 Řezání laserem [19]

d) řezání vodním paprskem – běžně používaná metoda u mnohých materiálů, jako jsou pěnové materiály, plasty, pryže, ale také různé slitiny a ocel. Princip řezání vodním paprskem je obroušování materiálu pomocí vodního paprsku (obr. 6), který je v dnešní době generován při tlaku vody až přes 400 MPa. Hlavní výhodou této metody spočívá v tom, že nedochází k žádným metalurgickým změnám. Maximální teplota, se kterou se materiál dostane do kontaktu, se pohybuje okolo 50 °C. Na druhou stranu se může jako nevýhoda jevit nevyhnutelný kontakt materiálu s kapalinou, jenž může způsobit korozi, znečištění apod. Srovnáme-li tuto metodu například s plazmovým řezáním, investiční náklady jsou 5× až 20× větší. Z hlediska drsnosti povrchu se u řezání vodním paprskem dosahuje drsnosti $Ra = 3,2 \mu\text{m}$, která je pro zadanou součást nevhodující.



Obr. 6 Řezání vodním paprskem [16]

e) stříhání na elastických stříhadlech – pro vystřihování je také možné použít nekonvenční metody stříhání.

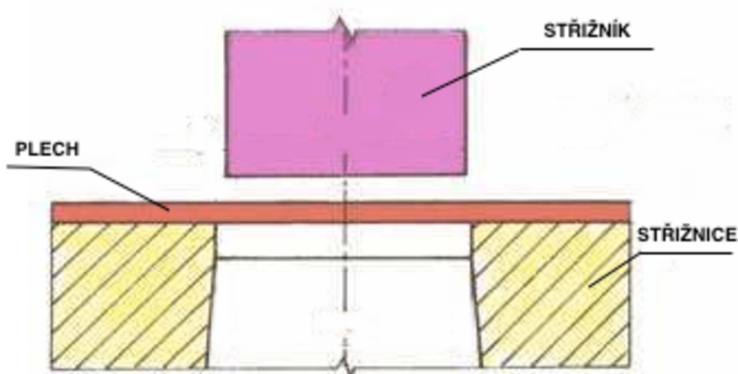


Obr. 7 Stříhání na elastických stříhadlech [3]

Speciálně upravené střížné nástroje, kde je střížnice nahrazena elastickým materiálem; např. pryží nebo polyuretanovými deskami. Průběh stříhu při této technologii je odlišný od běžného stříhání, neboť nedochází k ustřížení dvěma protichůdnými noži, nýbrž k utržení materiálu (obr. 7). Hlavní výhodou tohoto způsobu stříhání je levný a jednoduchý nástroj se snadným seřizením. Dále pak možnost stříhání několika různých součástí najednou a možnost kombinace této technologie s dalšími operacemi jako ohýbáním či tažením. Velkou nevýhodou je ovšem omezená tloušťka stříhaného materiálu, která je uváděna maximálně 1 mm pro ocel. U většiny případů je navíc nevyhnutelná další dokončovací operace, např. frézování. Z těchto hlavních nevýhod stříhání na elastických stříhadlech je patrné, že se tato metoda pro zadanou součást nehodí.

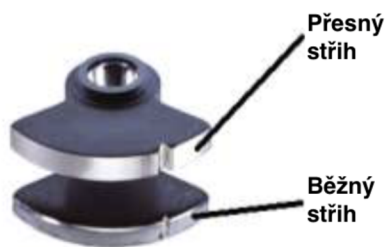
f) postupové stříhání – jedná se o technologii hojně využívanou, zejména díky své efektivitě. V principu jde o vyvození smykového napětí mezi dvěma protilehlými hranami v rovině stříhu s následným oddělením materiálu.

To lze vidět na obr. 8. I přes oblíbenost tohoto způsobu výroby lze dosáhnout maximální přesnosti IT 12 a kvality střížné plochy $Ra = 3,2 \mu\text{m}$. Tyto hodnoty jsou ale pro zadanou součást nedostačující. Z tohoto důvodu tedy nelze uvažovat o výrobě metodou postupovým stříháním.



Obr. 8 Postupové stříhání [2]

g) přesné stříhání – ve srovnání s postupovým stříháním lze touto metodou dosáhnout daleko lepších výsledků, ať už z hlediska přesnosti, drsnosti, nebo jiných kritérií. U přesného stříhání lze dosáhnout přesnosti IT 6. Střížná plocha je hladká, bez trhlin a dosahuje drsnosti $Ra = 0,8 \mu\text{m}$. Srovnání jednotlivých střížných ploch lze vidět na obr. 9. Jako negativní aspekt zde figuruje vysoká pořizovací cena. Z tohoto důvodu se přesné stříhání využívá pouze ve velkosériové výrobě.

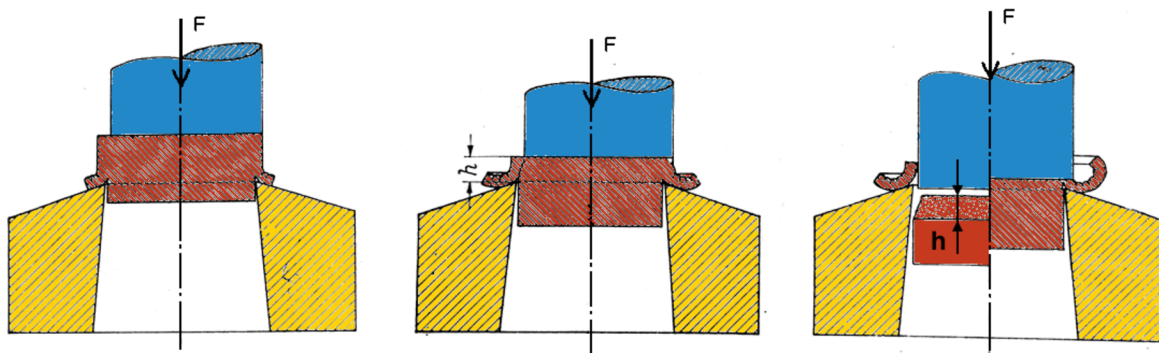


Obr. 9 Kvalita střížné plochy [12]

1.2 Možnosti přesného stříhání [1], [2], [3], [5], [7]

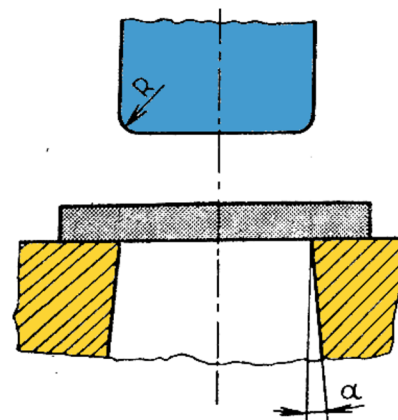
Přesné stříhání je pojem zahrnující jednotlivé varianty stříhání plechů, u kterých lze dosáhnout lepších výsledků, jako je kolmost stříhu $0,01 - 0,02 \text{ mm}$, přesnost rozměrů až IT 6 a v neposlední řadě také drsnost střížné plochy $Ra = 0,4 - 1,6 \mu\text{m}$.

a) přistříhování – jedná se o dodatečné opracování (obr. 10), které následuje po stříhu na běžném střížném nástroji, kde byl výstřížek vystřížen s určitým přídavkem pro přistřížení. Cílem je dosažení vyšší přesnosti a kvality střížné plochy, čehož se dosahuje oddělováním malého množství kovu. Tloušťka odděleného kovu se pohybuje v rozmezí $0,1$ až $0,5 \text{ mm}$. Přistříhování se provádí ve dvou základních variantách, s kladnou vůlí, nebo s vůlí zápornou (obr. 10). Přistříhováním se dosahuje velice dobrých výsledků. Přesnost se pohybuje mezi IT 9 až IT 6 a drsnost střížné plochy mezi $Ra = 0,6$ až $1,6 \mu\text{m}$. Tato Technologie se používá pro malosériovou výrobu, pro velkosériovou výrobu není vhodná, a proto se nehodí pro zadanou součást.



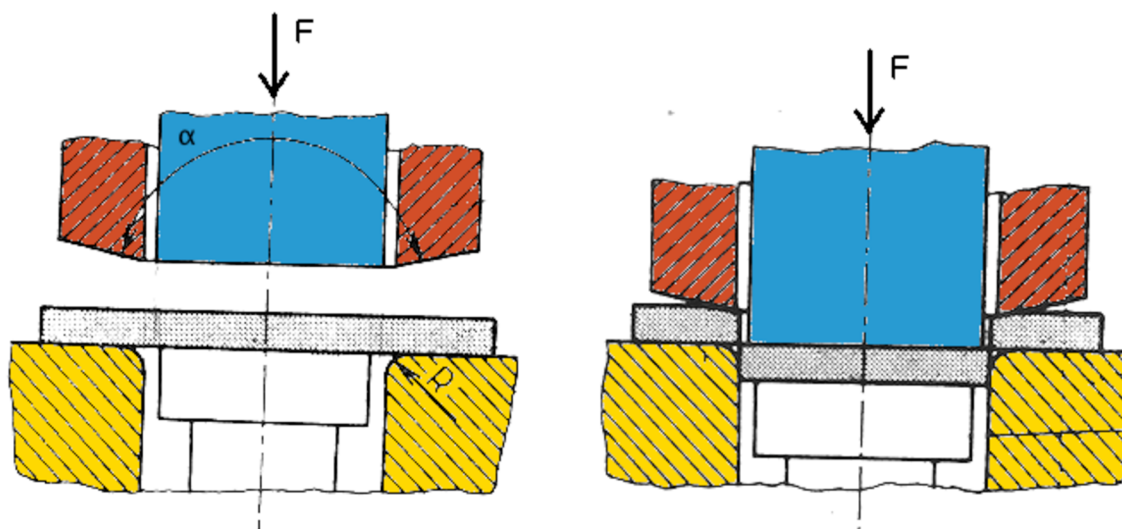
Obr. 10 – Přistříhování [5]

b) stříhání se zaoblenou hranou – při této technologii se dosahuje hladké a kolmé plochy, neboť v místě stříhu vzniká dvojosá napjatost a materiál, který je stříhán, je částečně dopředně protlačován. Hlavním parametrem technologie je určení poloměru zaoblení, který má vliv na jakost povrchu tím větší, čím je menší mezera. Poloměr zaoblení se doporučuje volit mezi 15% až 20% tloušťky stříhaného materiálu. V případě složitějších součástí se poloměr zaoblení volí až 25% tloušťky materiálu a střížná mezera $0,01$ až $0,02 \text{ mm}$. Tato metoda se využívá především u měkkých a tvárných ocelí a z tohoto důvodu se taktéž nehodí pro výrobu zadané součásti. Schéma stříhání se zaoblenou hranou je vyobrazeno na obr. 11.



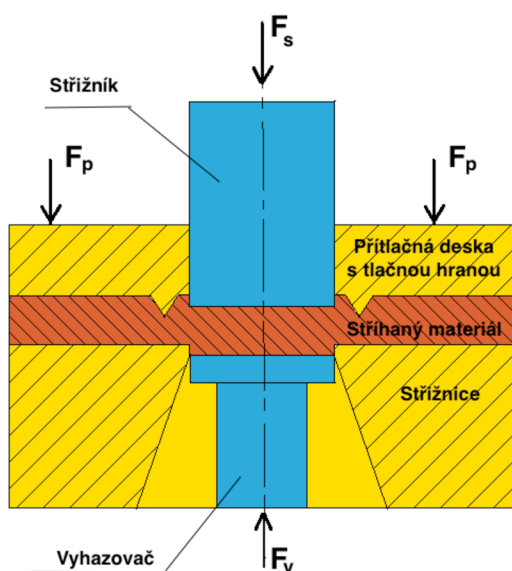
Obr. 11 Stříhání se zaoblenou hranou [7]

d) stříhání se zkoseným přídržovačem – tato málo používaná technologie na rozdíl od běžného stříhání vyvozuje dvojosý stav napjatosti pomocí zkoseného přídržovače (obr. 12), jehož úhel je $\alpha = 178^{\circ}30'$ a zaoblení na střížné hraně 0,01 mm. I když lze touto metodou dosáhnout vysoké přesnosti, zkosený přídržovač se lehce opotřebí, a tak je tato technologie náročná na údržbu. Z tohoto důvodu není vhodná pro zadanou součást velkosériové výroby.



Obr. 12 Stříhání se zkoseným přídržovačem [7]

e) přesné stříhání s tlačnou hranou – základním principem je vyvození tříosé tlakové napjatosti. Toho je dosaženo tlačnou hranou, která je vtlačena do materiálu před samotným stříhem a zároveň mimo křivku stříhu (obr. 13).



Obr. 13 Přesné stříhání s tlačnou hranou [7]

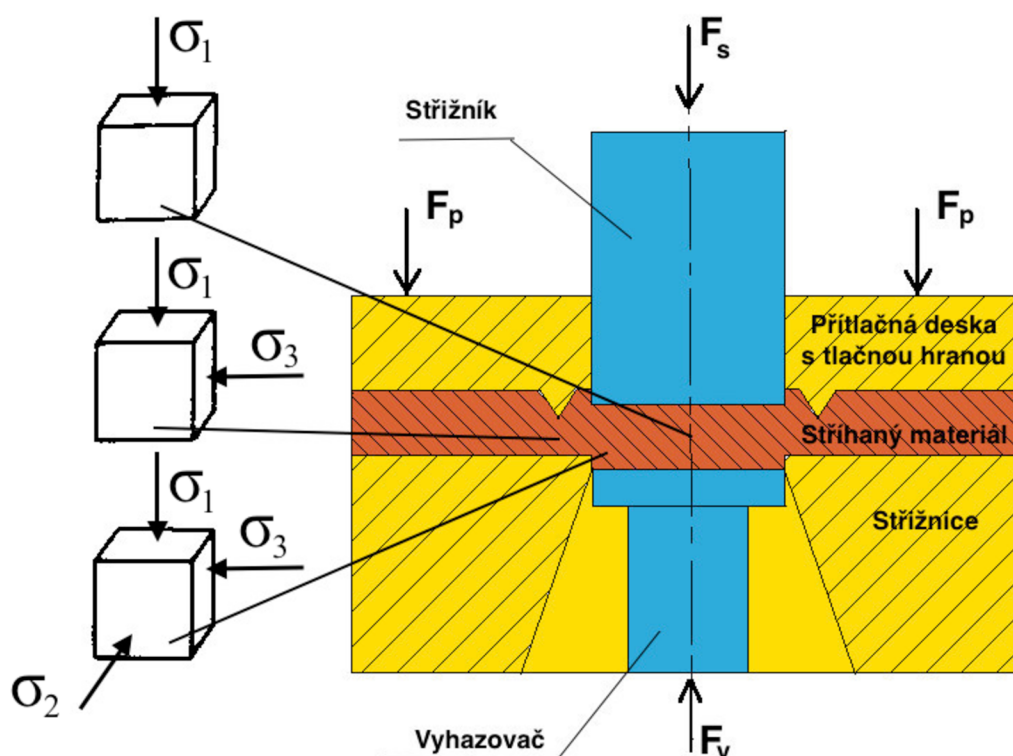
Tímto vzniká nejvýhodnější rozložení napětí přímo v rovině stříhu a dochází tak ke čistě plastickému stříhu. Touto technologií lze dosáhnout významně vyšších přesností, dokonce až IT 6. Obdobně je na tom i kvalita střížné plochy, kde lze dosáhnout drsnosti $R_a = 0,8 \mu\text{m}$. Dalším neméně důležitým pozitivem je zachování rovinnosti výstřížku, který je během stříhu sevřen mezi vyhazovačem a střížníkem. Díky tomu všemu je přesné stříhání s tlačnou hranou v dnešní době jednou z nejlepších technologií plošného tváření. Snad jedinou nevýhodou jsou vyšší pořizovací náklady, které se nevyplátí při menších sériích. Proto se přesné stříhání s tlačnou hranou používá zejména pro velkosériovou výrobu.

Po zhodnocení všech možností výroby se jako nejvýhodnější varianta jeví technologie přesného stříhání s tlačnou hranou. S touto technologií lze dosáhnout výrobní přesnosti až IT6 bez nutnosti dalších dokončovacích operací. Tato přesnost je dokonce vyšší než je stanovena u zadané součásti. Výroba zadané součásti s danou přesností je z tohoto hlediska bezproblémová. Zároveň je také u výstřížku zachována rovinnost, kolmost střížných hran a v neposlední řadě také kvalitní střížná plocha. Vzhledem k velikosti sérii se ani vyšší pořizovací cena nástroje nezdá být problémem.

2 TECHNOLOGIE PŘESNÉHO STŘÍHÁNÍ S TLAČNOU HRANOU [4], [5], [7]

Technologie přesného stříhání s tlačnou hranou se v dnešní době považuje za jeden z nejdokonalejších způsobů stříhání. Tato technologie se používá především pro velkosériovou výrobu tam, kde je potřeba zajistit vysokou rozměrovou přesnost nebo kvalitní střížnou plochu.

Hlavním rozdílem od běžných stříhacích metod je použití přidržovače s tlačnou hranou, která je vtlačena do materiálu a díky které se vytvoří přidavné tlakové napětí. V materiálu tak vznikají 3 oblasti s různými schématy napjatosti, což je znázorněno na obr. 14. Nejvýhodnější schéma napjatosti, tedy trojosá tlaková napjatost, vzniká právě v oblasti stříhu. Díky této všestranné tlakové napjatosti se vylučuje možnost vzniku trhlin a je podpořen čistý plastický stříh.



Obr. 14 - Trojosá tlaková napjatost [7]

Tlačná hrana má v přesném stříhání velký vliv. Zabraňuje toku materiálu, což napomáhá ke kvalitě střížné plochy. Na rozdíl od jiných, běžných metod stříhání, jako je např. postupové, kde dochází k čistě plastickému stříhu pouze asi v 0,1 až 0,4 tloušťky materiálu, což není příliš dostačující. Oproti běžnému stříhání se v přesném stříhání s tlačnou hranou používá ještě vyhazovač. Materiál je sevřený mezi tímto vyhazovačem a střížníkem, čímž je zajištěno, že se neprohýbá.

Samotný pracovní postup se od běžného stříhání příliš neliší. Polotovar v podobě plechu je zasunut do střížného nástroje, kde je následně sevřen mezi střížnicí a přítlačnou deskou s tlačnou hranou. Zároveň je část plechu, která bude vystřihnuta, přitlačena ke střížníku, aby bylo dosaženo co možná nejdokonalejšího upevnění polotovaru ve střížném nástroji. Poté následuje již samotný stříh, kdy je střížník a vyhazovač uveden do pohybu pomocí lisu. Výstřížek je přitom stále sevřený mezi střížníkem a vyhazovačem, aby se tak zabránilo ohýbání.

2.1 Tlačná hrana [2], [3], [5], [7]

Jak už bylo zmíněno, hlavním úkolem tlačné hrany je vyvození všestranného tlakového napětí a v případě správné konstrukce tlačné hrany lze dosáhnout výrazně kvalitnější střížné plochy oproti střížným plochám při běžných způsobech stříhání. Ovlivňujícími faktory jsou při tom tvar, poloha a rozměry (obr. 15). Je-li vzdálenost od křivky stříhu příliš velká, je tím zároveň zvýšena spotřeba materiálu a účinnost tlačné hrany se snižuje. Naproti tomu příliš malá vzdálenost od křivky stříhu omezuje vliv tlačné hrany a kvalita střížné plochy je také snížena. Tlačná hrana tudíž musí být umístěna v přiměřené vzdálenosti a měla by kopírovat tvar výstřížku. Tlačná hrana se do tloušťky plechu $s < 4$ mm používá pouze jedna na přídržovači, při tloušťce $s > 4$ mm se používají tlačné hrany dvě. Jedna je umístěna na přídržovači, druhá na střížnici. Na tloušťce stříhaného plechu nezávisí pouze počet tlačných hran, ale také jejich geometrie. Pro úhly tlačné hrany platí následující hodnoty:

Pro s do 4 mm $\alpha = 30^\circ$ a $\beta = 45^\circ$,

Pro s přes 4 mm $\alpha = 45^\circ$ a $\beta = 45^\circ$.

Zbývající rozměry tlačné hrany jsou určeny podle následujících platných vztahů:

$$h = \frac{1}{3} \cdot s, \quad (1)$$

kde: h - výška tlačné hrany [mm],
 s - tloušťka polotovaru plechu [mm].

$$a = (0,6 \text{ až } 1,2) \cdot h, \quad (2)$$

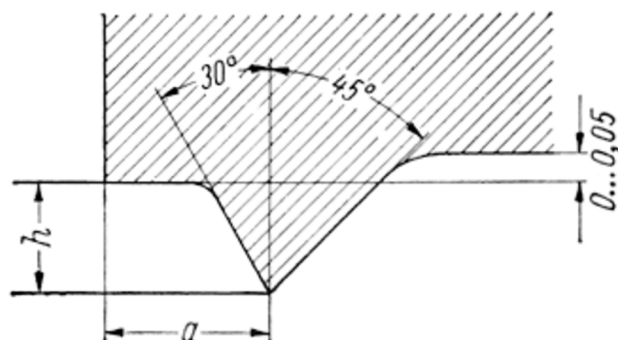
kde: a - vzdálenost hrotu špičky hrany od křivky stříhu [mm].

$$h_1 = h + 0,05, \quad (3)$$

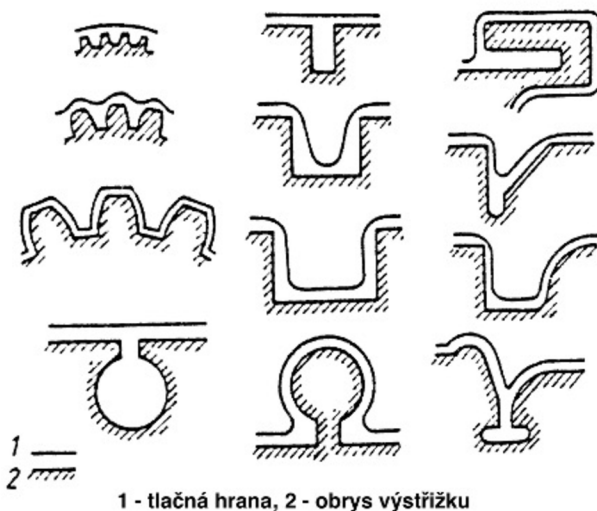
kde: h_1 - výška tlačné hrany s odlehčením [mm].

Vztah ... však platí pouze pro tvárné materiály. Pro výpočet hodnoty tlačné hrany pro málo tvárný materiál je nutné vztah upravit:

$$h = \frac{1}{6} \cdot s. \quad (4)$$



Obr. 15 Tlačná hrana [5]



1 - tlačná hrana, 2 - obrys výstřížku

Obr. 16 Příklady umístění tlačné hrany [5]

Tlačná hrana v převážné většině případů kopíruje křivku stříhu, existují však případy, kde dokonalé kopírování křivky stříhu tlačnou hranou není úplně vhodné, nebo je dokonce nemožné. Příklady některých tvarů lze vidět na obr. 16.

2.2 Střížné síly a střížná práce [2], [3], [5], [7]

Celková síla u přesného stříhání se skládá ze tří sil: střížná síla k oddělování materiálu, síla k zatlačení tlačné hrany do materiálu a kompletní sevření kolem křivky stříhu, síla vyhazovače pro sevření budoucího výstřížku mezi střížníkem a vyhazovačem. Součet těchto sil potom udává celkovou potřebnou sílu:

$$F_{Celk} = F_s + F_p + F_v \text{ [N]}, \quad (5)$$

kde: F_{Celk} - celková síla [N],
 F_s - střížná síla [N],
 F_p - síla přidržovače [N],
 F_v - síla vyhazovače [N].

Celková střížná síla je potom důležitá pro určení lisu. Velikosti jednotlivých sil lze vypočítat podle jednotlivých vzorců, nebo je lze určit pomocí nomogramu. Jako nejdůležitější sílu lze považovat střížnou sílu. Její velikost závisí zejména na tloušťce materiálu, pevnosti materiálu ve stříhu a délky křivky stříhu. Pro výpočet lze použít následující vztah:

$$F_s = l_s \cdot s \cdot \tau_{ps} \cdot n \text{ [N]}, \quad (6)$$

kde: l_s - délka křivky stříhu [mm],
 τ_{ps} - pevnost ve stříhu [MPa],
 s - tloušťka materiálu [mm],
 n - koeficient otupení nože (volí se 1,2 až 1,5) [-].

Přidržovací sílu, která zajišťuje vtlačení hrany do materiálu lze stanovit opět dvěma způsoby. Odečíst z diagramu pro určení přidržovací síly, nebo výpočtem z následujícího vztahu:

$$F_p = 4 \cdot R_m \cdot L_h \cdot h \text{ [N]}, \quad (7)$$

kde: $4 \cdot R_m$ - empirická hodnota pro odpor materiálu proti vtlačení hrany [MPa],
 L_h - délka tlačné hrany [mm],
 h - výška tlačné hrany [mm].

Poslední síla, síla vyhazovače, působí vždy v protisíle přidržovače. Přitlačuje budoucí výstřížek ke střížníku, aby byla zajištěna rovinnost. Její velikost můžeme buďto odečíst z diagramu, stanovit ji orientačně:

$$F_v = 0,2 \cdot F_s \text{ [N]}, \quad (8)$$

kde: F_s - střížná síla [N].

nebo výpočtem:

$$F_v = S_v \cdot p_v \text{ [N]}, \quad (9)$$

kde: S_v - plocha výstřížku [mm²],
 p_v - měrný tlak vyhazovače [MPa].

Podobně jako s celkovou silou u přesného stříhání je to i s celkovou prací. Opět se skládá z několika hlavních dílčích částí, jako jsou střížná práce, práce vykonaná přidržovačem a práce vykonaná vyhazovačem. Součet těchto třech prací nám opět udává celkovou práci přesného stříhání:

$$A_{Celk} = A_s + A_p + A_v \text{ [J]}, \quad (10)$$

kde: A_{Celk} - Celková práce [J],
 A_s - střížná práce [J],
 A_p - práce přidržovače [J],
 A_v - práce vyhazovače [J].

Hlavní složka, kterou představuje střížná práce, je při stříhání dvěma rovnými střížnými hranami rovna ploše pod křivkou střížné síly a lze ji vypočíst ze vztahu:

$$A_s = \frac{0,48 \cdot l_s \cdot R_m \cdot s^2}{1000} \text{ [J]}, \quad (11)$$

kde: l_s - délka křivky stříhu [J],
 R_m - mez pevnosti [MPa].

Zbylé dvě práce, práce přidržovače a práce vyhazovače můžeme taktéž vypočítat z platných vztahů:

$$A_p = \frac{2 \cdot R_m \cdot L_h \cdot h^2}{1000} \text{ [J]}, \quad (12)$$

$$A_v = \frac{S_v \cdot p_v \cdot s}{1000} \text{ [J]}, \quad (13)$$

Celková síla lze ovšem vypočítat taky dle zjednodušeného vztahu:

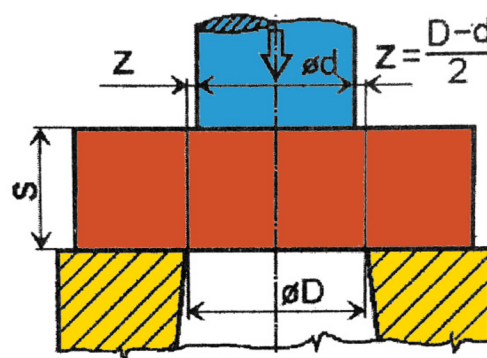
$$A = F_s \cdot s \cdot \lambda_0 \text{ [J]}, \quad (14)$$

kde: λ_0 - součinitel plnosti diagramu F_s -s.

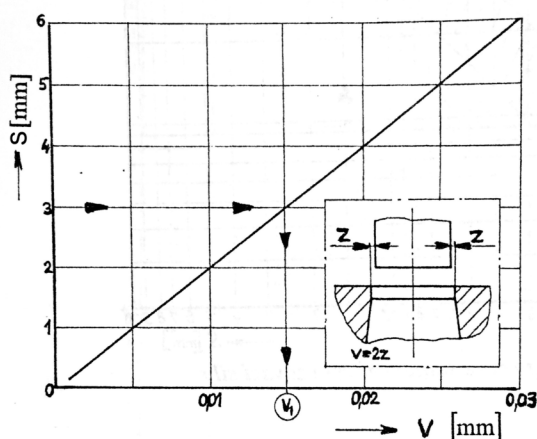
Součinitel plnosti nabývá hodnot 0,2 až 0,75 a lze ho vyčíst z nomogramu pro určení součinitele plnosti diagramu F_s -s.

2.3 Střížná vůle [k], [j], [b], [m]

Pojmem střížná vůle se rozumí rozdíl mezi velikostí střížníku a střížnice (obr. 17). Rovněž se dá ale chápat jako součet dvou střížných mezer. Střížná vůle u přesného stříhání má obrovský vliv na kvalitu střížné plochy. Lze ji určit podle mnoha empirických vztahů, které se ale mnohdy liší. Na rozdíl od běžného stříhání se střížná vůle u přesného stříhání volí přibližně 10 krát menší. Ve všeobecné praxi se střížná mezera volí jako 0,5 % z tloušťky stříhaného materiálu. Pro určení střížné vůle se však také může použít odečet z grafu, který lze vidět na obr. 17. Po správném určení střížné vůli se při stříhání začnou v místě stříhu vytvářet trhliny,



Obr. 18 Střížná vůle [7]



Obr. 17 Graf pro určení střížné vůle [3]

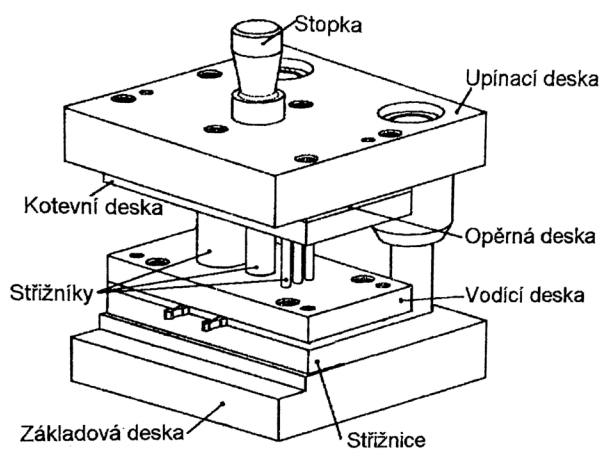
kteří se nakonec potkají ve stejném místě. V případě, kdy je střížná vůle zvolena špatně (je buď malá nebo příliš velká) se trhliny mohou míjet nebo případně zdvojit.

Střížné hrany musí být hladké. Střížnice musí mít zaoblené ostří a střížník musí být přesně vybroušený. Zaoblení ostří na střížnici lze odečíst z diagramu pro závislost zaoblení střížnice na kvalitě střížné plochy.

2.4 Konstrukce nástroje [4], [5], [7],

U technologie přesného stříhání je očekávána vysoká kvalita i přesnost. Proto musí být jednotlivé části přesného stříhadla vyrobeny a konstruovány s vysokou přesností. Prvky střížného nástroje pro přesné stříhání musí být však nejen přesně vyrobeny, musí být taky konstruovány tak, aby dokázaly odolávat vysokému zatížení, které je přesným stříháním vyvoláváno. Obecný náčrt střížného nástroje lze vidět na obr. 19.

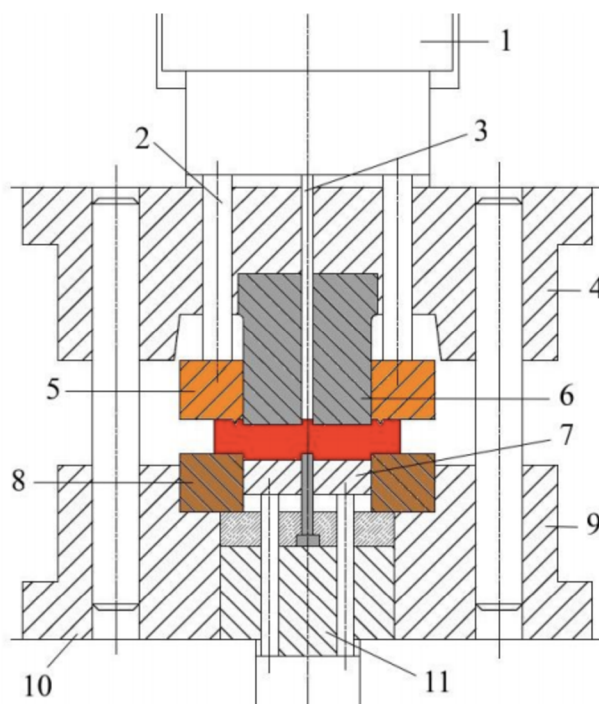
U stříhadel rozlišujeme mezi dvěma základními typy. Podle způsobu konstrukce se stříhadla dělí na nástroje s pevným střížníkem a pohyblivým přidržovačem a na nástroje s pevným přidržovačem a pohyblivým střížníkem. V dnešní době se ovšem více než 90 % nástrojů vyrábí ve variantě s pevným přidržovačem a pohyblivým střížníkem.



Obr. 19 Konstrukce nástroje [4]

2.4.1 Nástroje s pevným střížníkem a pohyblivým přidržovačem [4], [5], [7], [9]

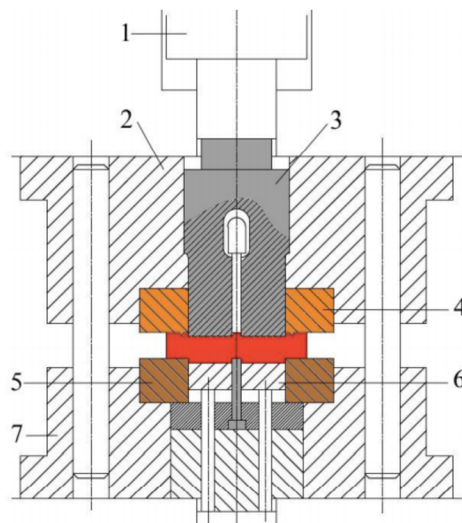
Konstrukce tohoto nástroje je zobrazena na obr. 20. Střížník (6) je upevněn v horní části upínacího stojánku (4) a je obepínán přidržovačem (5) s tlačnou hranou. Síla potřebná k zatlačení hrany do stříhaného materiálu se přenáší prostřednictvím tlačných kolíků (2) od tlakového pístu na přidržovač. Stejným principem je převáděna síla na vyhazovač (7). Vyhazovač společně se střížnicí (8) a podložkou (11) je umístěn ve spodní části. Materiál určený ke stříhání se zasouvá mezi přidržovač a střížnicí, kde bude následně sevřený, což zajistí převod síly z tlakového pístu. Na obr. 20 lze vidět že materiál není sevřený pouze mezi střížnicí a přidržovačem, nýbrž taky mezi střížníkem a vyhazovačem, což zajišťuje již zmíněnou rovinnost.



Obr. 20 Nástroj s pevným střížníkem a pohyblivým přidržovačem [9]

2.4.2 Nástroje s pohyblivým střížníkem a pevným přídržovačem [4], [5], [7], [9]

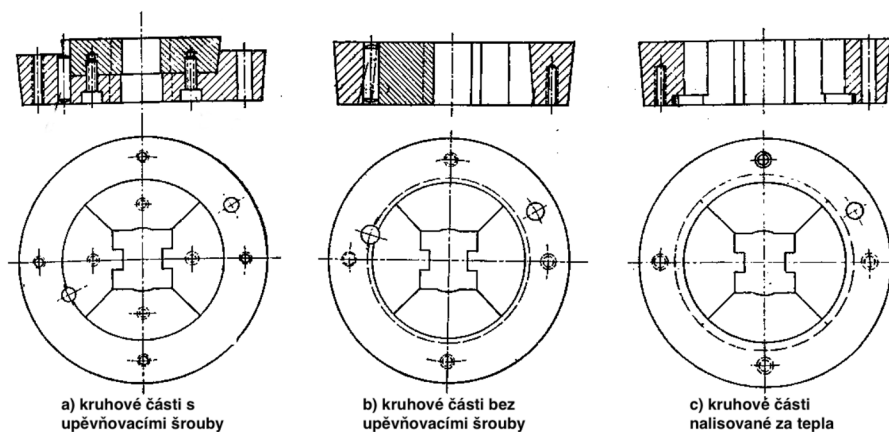
Konstrukce tohoto typu je zobrazena na obr. 21. Přídržovač s tlačnou hranou je pevně spojen s horní částí stojánku (2) a opět dokola obepíná střížník (3). U tohoto typu hlavní střížný pohyb vykonává střížník, který je spojen s pístem (1). Střížnice (5) a vyhazovač (6) jsou jako v předchozím případě ve spodní části a plní stejné funkce. Materiál je tedy opět vsunut mezi střížnici a přídržovač (4). Do stříhaného materiálu je vtačena tlačná hrana a materiál je sevřený mezi střížnicí a přídržovačem. Funkce vyhazovače opět není pouze ve vyhazování výstřížků, ale svírá materiál během stříhu společně se střížníkem.



Obr. 21 Nástroj s pohyblivým střížníkem a pevným přídržovačem [9]

2.4.3 Konstrukce funkčních částí nástroje [4], [5], [7]

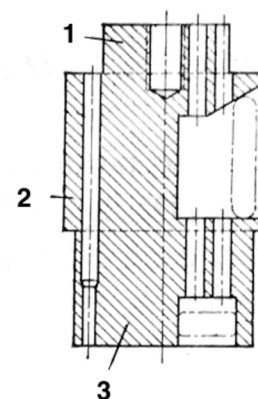
Střížnice a přídržovač se rozdělují podle dvou základních kritérií. Podle tvaru se rozlišují kulaté přídržovače, obdélníkové přídržovače a střížnice. Podle konstrukce pak střížnice a přídržovače z jednoho kusu, nebo skládané. Tyto jednodukusové střížnice a přídržovače mají často nejvíce namáhané určité partie, kterým následně hrozí poruchy. Proto jsou tyto partie většinou vsazeny jako vložka. Skládané přídržovače a střížnice jsou sestaveny z několika částí v jeden celek v objímkách. I přes složení z více částí je však nutné aby byla střížnice a přídržovač bez přechodů. Tyto celky jsou potom buď rozebíratelné, nebo nerozebíratelné. To lze vidět na obr. 22. Aby i po několikátém rozebrání a složení měly přídržovač a střížnice ve



Obr. 22 Skládané střížnice [5]

stojánku pořád stejnou polohu, je třeba zajistit jejich ustředění. V praxi je osvědčen způsob ustředění kruhových přídržovačů a střížnic kuželovité uložení o malém úkosu v horní nebo dolní části vodícího stojánku.

Střížníky lze dělit podle typu konstrukce na jednoduché nebo skládané. Dělí se tak podle toho, jsou-li střížníky vyrobeny z jednoho kusu, nebo poskládaný z kusů více. U obou typů však můžeme rozlišovat 3 hlavní části střížníku (obr. 23): hlava (1), dřík (2) a tvarové části (3). Tvarová část střížníku tvarově odpovídá výstřižku. V dříku střížníku jsou pak otvory a vybrání pro vyhazovače odpadů, nebo případně pro jiné pomocné pohybové části. Ať už se jedná o jakýkoliv typ střížníku, jednoduchý nebo skládaný, je vždy vhodné části, které budou nejvíce namáhány, vložkovat. Dále musí střížník splňovat požadavky jako být odmagnetizován, souosý, zalícovaný v kotevní desce a zajištěný proti pootočení.



Konstrukce vyhazovače je v jistých ohledech poněkud jednodušší. Obr. 23 Střížník [5]
 Vyhazovač totiž může být vyroben z více částí, které spolu nemusí být spojeny, má-li nástroj k jejich podepření dostatek tlakových kolíků. Tlakové kolíky se používají pro uvolňování výstřižků a zabraňují ulpívání výstřižků v nástroji. Vyhazovač je uložen v otvoru střížnice a měl by vyčnívat nad střížnicí asi o 0,1 až 0,2 mm. Vyhazovače mohou mít přesně daný kruhovitý tvar. Můžou mít však taky tvar nejrůzněji zakřivený. Jedinými požadavky, které jsou u vyhazovače zapotřebí, je zajištění proti pootočení či vypadnutí.

2.5 Materiály střížných nástrojů [5], [7]

Na zvoleném materiálu a jeho tepelném zpracování stojí především ekonomická stránka výroby. Pro výrobu částí střížných nástrojů se v současné době používá nástrojová ocel. Ta je ovšem poměrně drahá. Z tohoto důvodu se přesné stříhání využívá především ve velkosériové výrobě. Kvůli snížení nákladů se při konstruování stříhadla pro výrobu velkých výstřižků tepelně upravují pouze funkční části. Například u střížníku se tak tepelně upravuje pouze dřík, aby se dosáhlo větší odolnosti, nicméně hlava střížníku zůstává bez tepelného zpracování, protože na ni nejsou tak vysoké nároky. Materiály, které se používají pro výrobu částí stříhadla pro přesné stříhání jsou v tab. 4. Při výběru materiálu pak rozhoduje řada věcí, jako: typ nástroje a způsob namáhání; zpracovaný materiál; počet kusů.

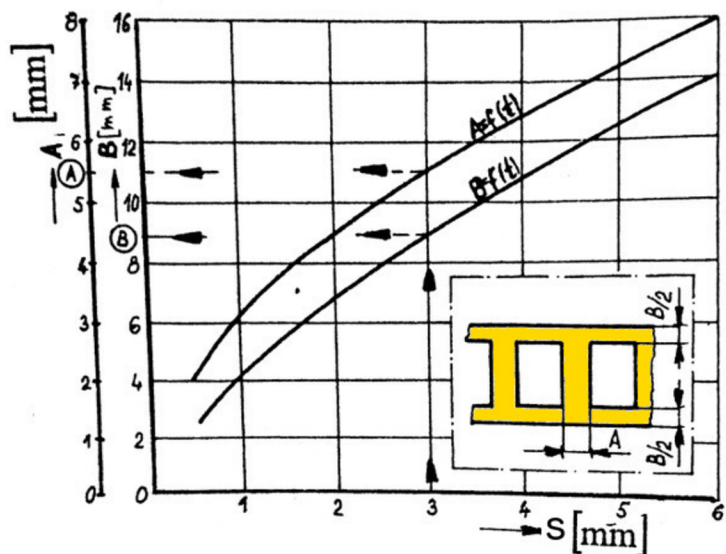
Tab. 4 Materiály střížných nástrojů [7]

Ocel	Chemické složení						Vhodnost použití
	C	Si	Cr	W	V	Mo	
19 735	0,6	0,6	1,1	2,0	0,2	-	Pro výkonné střížné nástroje, kruhové nože, ostříhování a děrování materiálu větších tloušťek a vyšších pevností
19 550	0,5	-	3,2	-	0,2	1,4	Pro výkonné střížné nástroje, kruhové nože, ostříhování a děrování materiálu větších tloušťek a vyšších pevností
19 559	0,5	0,9	8,5	1,1	0,2	1,1	Pro výkonné střížné nástroje pro tváření za studena se zvýšenými požadavky na houževnatost
19 574	2,0	-	12	1,0	0,4	0,5	Pro střížné a děrovací nástroje s maximální životností, pro stříhání materiálu o vysoké pevnosti a malé tloušťce
19 575	1,6	12	12	-	0,2	0,8	Pro vysoce namáhané střížné a děrovací nástroje pro stříhání materiálu o vysoké pevnosti, do tloušťky 10 mm

2.6 Technologičnost [1], [2], [3]

Technologičnost výroby má za úkol zhodnocení, zdali je zadanou součástí možno danou technologií vyrobit. Dále se pak technologičnost zabývá ještě hospodárností dané výroby.

U stříhání z tabulí plechu je zapotřebí zhotovit nástřihový plán. Ten určuje, jakým způsobem budou výstřižky na tabuli plechu rozloženy. Nástřihový plán by měl být zhotoven důkladně, protože určuje celkové využití materiálu. A jelikož je přesné stříhání záležitostí velkosériové výroby i malá změna v nástřihovém plánu může v konečném důsledku udělat velké změny v hospodárnosti výroby.



Obr. 24 Graf pro určení můstku [3]

Vzhledem k technologiím se můžou nástřihové plány lišit. Hlavním kritériem, podle kterého můžeme nástřihové plány rozdělit, je přepážka. Nástřihové plány můžeme tedy dělit na ty s přepážkou a bez přepážky. Umístění výstřižků na tabuli plechu bez přepážky se obvykle používá při běžném stříhání. Tato metoda ovšem nejde využít při přesném stříhání, z toho důvodu, že by tlačná hrana zasahovala do sousední části, tedy budoucího dalšího výstřižku. To není přípustné.

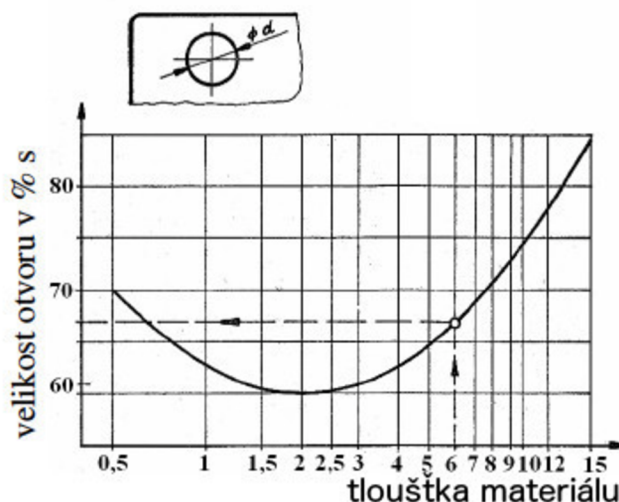
U nástřihového plánu je důležitá volba co nejeekonomičtějšího rozložení výstřižků na tabuli plechu. Výstřižky je možné rozložit mnoha způsoby. Je důležité propočítat využití materiálu, aby nedocházelo ke zbytečným ztrátám. Dále je důležité zvolit velikost můstku a postranního odpadu. To lze určit buďto z tabulky, nebo odečíst z diagramu pro určení můstku a postranního odpadu (obr. 24). Z důvodu technologičnosti součásti lze provádět i mírné změny zadané součástí, např. z důvodu nesplnění některých základních kritérií jako minimální šířka drážky, minimální průměr otvoru, minimální vzdálenost mezi otvory nebo minimální vzdálenost otvoru od hrany výstřižku. Všechny tyto hodnoty je možné odečíst z diagramu pro danou veličinu. Všechny úpravy, které vznikly v důsledku snahy o dodržení technologičnosti však musí být v souladu s funkcí dané součásti. Nedodržení technologičnosti má pak za následek zhoršení kvality střížné plochy a menší přesnost výroby.

3 NÁVRH VÝROBY SOUČÁSTI [1], [2], [3], [5], [7], [10]

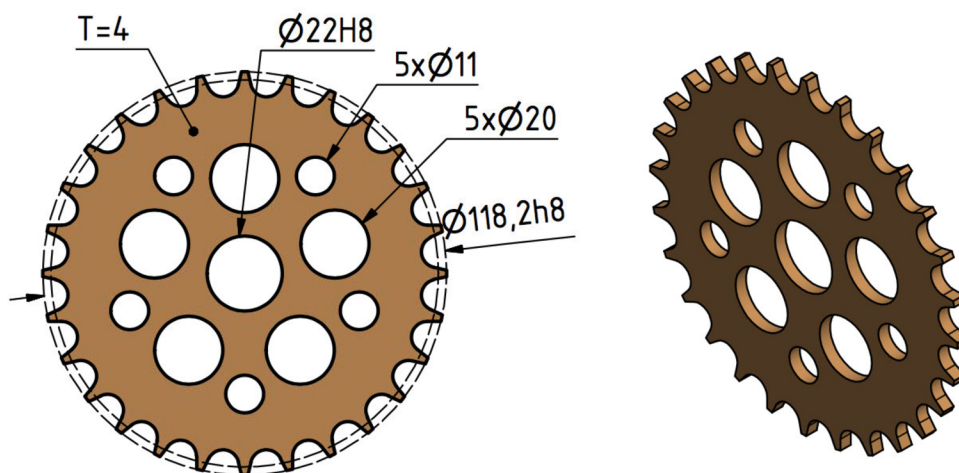
Jak již bylo zmíněno výše, jako nejvhodnější technologie pro výrobu zadaného převodníku se zdá být technologie přesného stříhání s tlačnou hranou. U této technologie je před samotným návrhem výroby ještě nutné provést kontrolu technologičnosti, vyrobitelnosti a vhodnosti zvoleného materiálu.

Zvolený materiál, manganochromová ocel, jenž je žíhaná naměkko, vyhovuje požadavkům pro přesné stříhání. Tyto požadavky jsou především mez pevnosti, která musí ležet v rozmezí 300 až 600 MPa a také obsah uhlíku, který musí být menší než 0,5 %.

V porovnání s např. postupovým stříháním z hlediska minimálních rozměrů stříhání otvorů, je přesné stříhání s tlačnou hranou ještě tolerantnější. A z důvodu toho, že nejmenší průměr stříhaného otvoru v zadané součásti je několikanásobně větší, než tloušťka stříhaného materiálu, je proto kontrola minimálních rozměrů stříhaných otvorů bezpředmětná a může být označena za bezproblémovou. Za stejně bezproblémovou hodnotu lze označit minimální vzdálenost mezi stříhaným otvorem a hranou výstřižku. Co by se jako problémová hodnota mohlo zdát, je minimální vzdálenost mezi jednotlivými stříhanými otvory. Pro ověření bezproblémovosti tohoto rozměru lze nahlédnout do nomogramu pro určení minimálního rozměru mezi stříhanými otvory. (obr. 25) Po vyčtení hodnoty z nomogramu, která při tloušťce 4 mm odpovídá hodnotě 3 mm, lze i tento rozměr prohlásit jako bezproblémový.



Obr. 26 Nomogram pro určení minimálního rozměru mezi stříhanými otvory [10]



Obr. 25 Základní vyráběné součásti

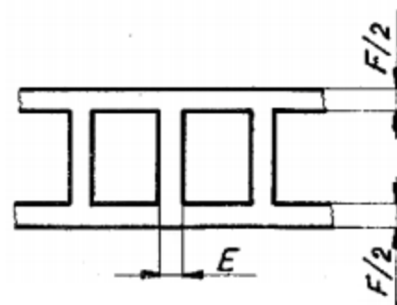
Požadovaná přesnost výroby řetězového kolečka IT 8 je vzhledem ke zvolené technologii taktéž přijatelná. Zbylé netolerované rozměry jsou všeobecně tolerovány dle ČSN ISO 2768-1 střední třídy. Základní rozměry vyráběné součásti lze vidět na obr. 25.

3.1 Určení můstku a postranního odpadu [1], [2], [3]

Hodnota postranního odpadu F a velikost můstku E byla stanovena podle tab. Z důvodu toho, že je hodnota postranního odpadu F celková a postranní odpad se nachází na obou krajích pásu plechu, je tato hodnota poloviční. Jednotlivé hodnoty pro můstek a postranní odpad jsou uvedeny v tab. 5.

Tab. 5 Velikost můstku a postranního odpadu [10]

Tloušťka materiálu	E	F	Tloušťka materiálu	E	F
[mm]			[mm]		
0,5	2	3	6	8	14
0,8	3	3,5	7	9	15
1	3	4	8	10	16
1,2	3,5	4	9	11	17
1,5	4	5	10	12	18
2	4,5	6	12,5	15	20
2,5	5	8	15	18	25
3	5,5	9	16,5	22	28
3,5	6	10	18	23	32
4	6,5	11	20	25	35
5	7	12			



Obr. 27 Znárodnění můstku a postranního odpadu [3]

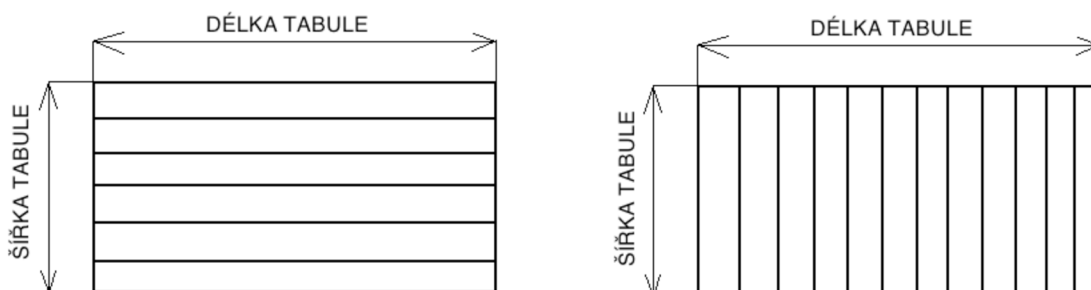
Podle tabulky byly stanoveny hodnoty můstku $E = 6,5$ mm. Tento rozměr můžeme považovat za přijatelný, jelikož se tlačné hrany při tomto rozměru nebudou překrývat. Dále byla stanovena velikost postranního odpadu $F = 11$ mm, která je celková a na každém okraji tudíž bude její poloviční hodnota. Díky určení

těchto hodnot je nyní možné přistoupit k návrhům jednotlivých nástřihových plánů a propočtu využití materiálu.

3.2 Využití materiálu [1], [3]

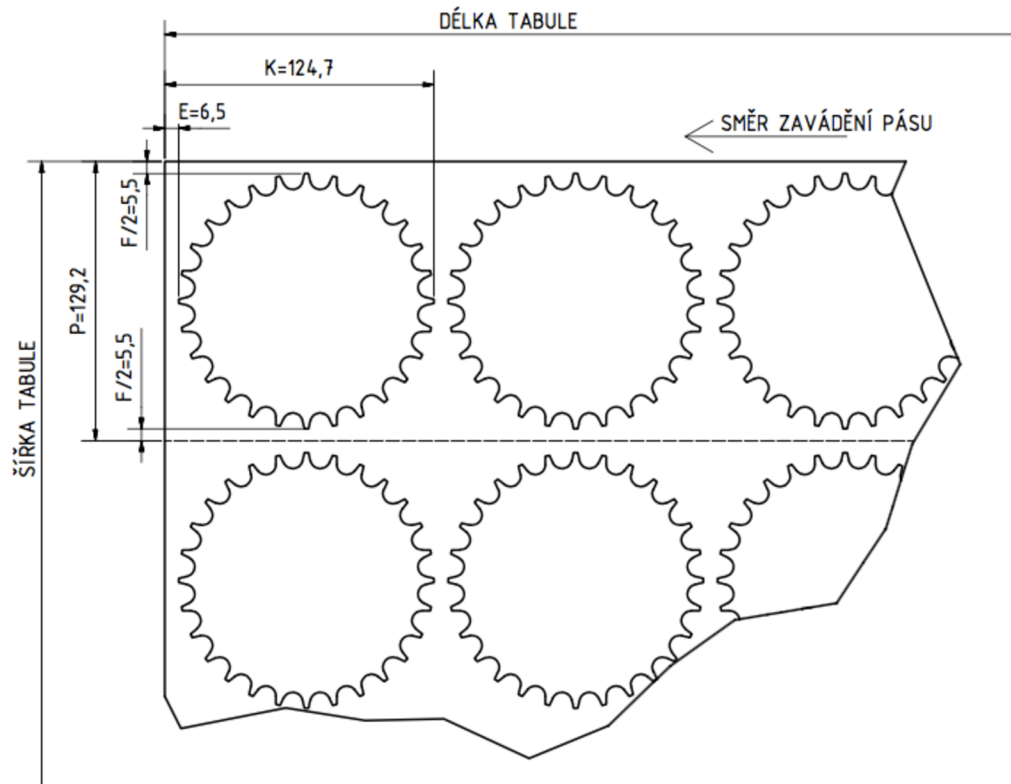
Z důvodu toho, že v době vyhotovení návrhu výroby zadané součásti nejsou dostupné polotovary v podobě svitků plechu tloušťky 4 mm, bude dále uvažována pouze varianta zahrnující tabule plechu tloušťky 4 mm.

Zadaná součást má kruhový tvar. Proto budou uvažovány pouze dvě varianty nástřihového plánu (obr. 28) a to vertikální dělení a horizontální dělení.

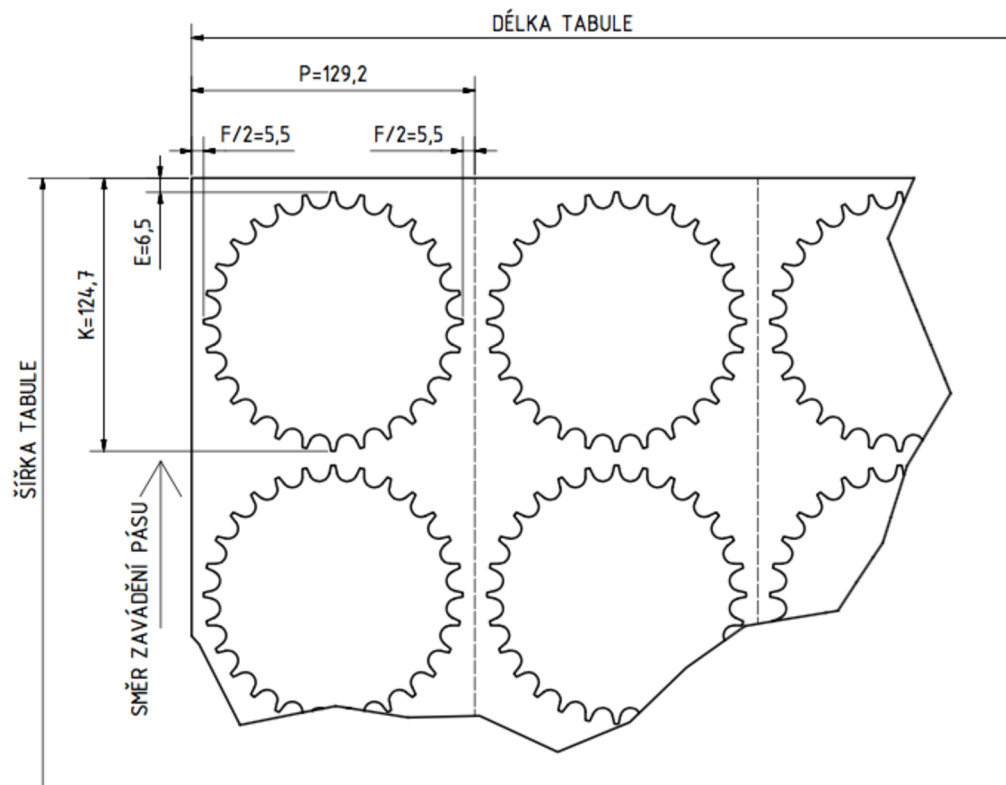


Obr. 28 vlevo - horizontální rozdělení tabule, vpravo - vertikální rozdělení tabule

Jednotlivé varianty nástřihového plánu jsou vyobrazeny na obr. 29 a obr. 30. Výstřižky jsou řazeny vedle sebe společně s hodnotami můstku a postranního odpadu, které byly určeny v kapitole 3.1.



Obr. 29 Horizontální nástřihový plán



Obr. 30 Vertikální nástřihový plán

Tyto nástřihové plány budou porovnány s několika rozměry tabulí plechu a následně propočítány v závislosti na využití materiálu.

Vzorový výpočet bude vypočítán pro variantu s vertikálním nástřihovým plánem s velikostí tabule 6000x3000.

Počet pásů z jedné tabule:

$$n_{PTab} = \frac{D_{Tab}}{\check{S}_P} = \frac{6000}{129,2} = 46,43 \cong 46 \text{ ks.}$$

Počet dílů na pás:

$$n_{DP} = \frac{\check{S}_{Tab}}{K} = \frac{3000}{124,7} = 16,06 \cong 16 \text{ ks.}$$

Počet dílů z jedné tabule:

$$n_{DTab} = n_{PTab} \cdot n_{DP} = 46 \cdot 16 = 736 \text{ ks.}$$

Plocha dílů z jedné tabule:

hodnota plochy výstřižku byla stanovena pomocí počítačového softwaru Autodesk Inventor 2014 na 6867,3 mm². Plocha výstřižků na jedné tabuli je tedy:

$$S_{DTab} = S_V \cdot n_{DTab} = 6867,3 \cdot 736 = 5\,054\,332,8 \text{ mm}^2.$$

Ekonomické využití tabule:

$$E_{Tab} = \frac{S_{DTab}}{S_{Tab}} = \frac{5\,054\,332,8}{6000 \cdot 2000} \cdot 100 = 41,204 \text{ \%}.$$

Pro zjednodušení výpočtu byl vytvořen jednoduchý výpočetní skript v programu GNU Octave 4.0.3 (příloha 1).

Pro výpočet bylo zvoleno 5 tabulí plechu o různých rozměrech. Jako zdroj tabulí plechu byl zvolen velkoobchod s hutním materiálem Feron. Uvažovány byly tyto tabule plechu:

- Plech válcovaný za tepla, EN 10051, 4x1000x2000
- Plech válcovaný za tepla, EN 10051, 4x1250x2500
- Plech válcovaný za tepla, EN 10051, 4x1500x3000
- Plech válcovaný za tepla, EN 10051, 4x2000x4000
- Plech válcovaný za tepla, EN 10051, 4x2000x6000

Výsledné hodnoty jednotlivých variant, vypočteny dle uvedeného skriptu, jsou pro přehlednost zaznačeny v tab. 6.

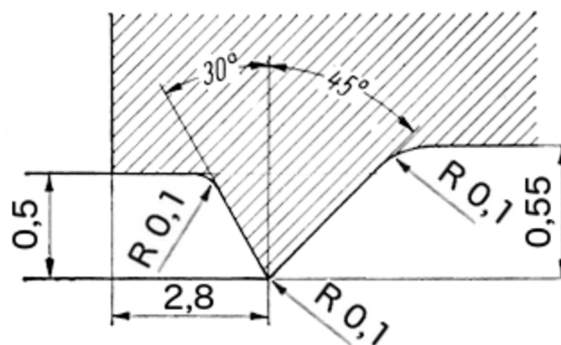
Tab. 6 Výsledné hodnoty jednotlivých nástřihových plánů

Dělení	Rozměry tabule				
	2000x1000	2500x1250	3000x1500	4000x2000	6000x2000
Vertikální	36,053 %	37,578 %	40,288 %	41,204 %	41,204 %
Horizontální	36,053 %	37,578 %	38,609 %	38,629 %	39,487 %

Z výsledků je patrné, že jako neekonomičtější varianta se jeví vertikální dělení s rozměry tabule 4x2000x4000 nebo 4x2000x6000. Naopak nejméně ekonomická varianta je pak tabule s nejmenším rozměrem 4x1000x2000 ať už s použitím vertikálního, nebo horizontálního dělení. Jako další a možný neekonomičtější nástřihový plán by mohl být při uspořádání výstřižků s více řadami na jednom pásu plechu. Nicméně toto řešení by vyžadovalo složitější návrh nástroje a taky vyšší celkovou sílu, a proto nebude uvažováno. Neekonomičtější variantou proto zůstává vertikální dělení se zvolenou velikostí tabule 4x2000x6000.

3.3 Tlačná hrana [3], [5], [7]

V závislosti na tloušťce stříhaného materiálu, která je 4 mm, bude pro stříh použita pouze jedna tlačná hrana, a to na střížnici. Její rozměry jako výška h , výška h_1 , vzdálenost vrcholu tlačné hrany a nebo poloměr zaoblení R , jsou určeny pomocí směrnic pro přesné stříhání s tlačnou hranou, vytvořené pro firmu Zbrojovka Brno. Konkrétně má pak tlačná hrana následující rozměry (obr. 31):



Obr. 31 Rozměry tlačné hrany [5]

- vzdálenost vrcholu tlačné hrany od stříhaného obvodu $a = 2,8$ mm,
- výška tlačné hrany $h = 0,5$ mm,
- výška tlačné hrany $h_1 = 0,55$,
- poloměr zaoblení tlačné hrany $R = 0,1$.

Dalším důležitým krokem je určení polohy tlačné hrany, neboli způsob, jakým bude tlačná hrana kopírovat tvar výstřížku. Pro toto určení lze použít vztah:

$$b \geq 15 \cdot h \text{ [mm]}, \quad (15)$$

kde: b – šířka zářezu [mm],

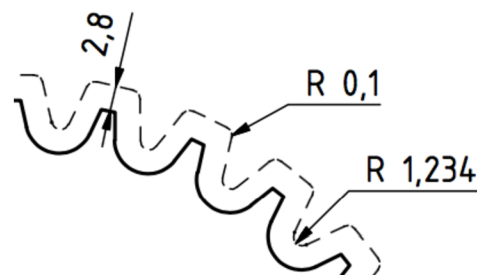
A_s – výška tlačné hrany [mm].

Pokud je tato nerovnostní podmínka splněna, tlačná hrana kopíruje tvar výstřížku. V opačném případě, kdy je šířka zářezu příliš malá, je nutné zvolit pouze přibližné kopírování tvaru výstřížku. V případě, že za šířku zářezu bude dosazena hodnota, která byla vypočtena softwarem Autodesk Inventor 2014 na roztečné kružnici stříhaného řetězového kolečka mezi jednotlivými zuby, pak platí nerovnost:

$$b \geq 15 \cdot 0,5,$$

$$9,7 \geq 7,5.$$

Z výsledné nerovnosti tedy vyplývá, že tlačná hrana bude kopírovat tvar řetězového kolečka (obr. 32), a to ve vzdálenosti $a = 2,8$ mm. Náčrt polohy tlačné hrany je vyobrazen na obr.



Obr. 32 Poloha tlačné hrany

3.4 Střížná vůle [5], [7]

Střížná vůle, neboli mezera mezi střížnicí a střížníkem, lze určit více způsoby. Prvním z nich je pomocí empirického vztahu, který se ovšem v praxi příliš nepoužívá. Dále lze střížnou vůli určit pomocí nomogramu pro střížnou vůli při přesném stříhání, který je uveden v kapitole 2.3. Nicméně nejčastější způsob, který se používá v praxi je určení pomocí jednoduchého vzorce (16) závislého na tloušťce materiálu.

$$v = 0,005 \cdot s = 0,005 \cdot 4 = 0,02 \text{ mm} \quad (16)$$

Střížná vůle bude tedy určena pomocí 0,5 % tloušťky stříhaného materiálu, která se zároveň shoduje s hodnotou vyčtenou z nomogramu. Zároveň však můžeme určit i střížnou mezeru z , která má poloviční hodnotu vůle v (17).

$$z = 0,5 \cdot v = 0,5 \cdot 0,02 = 0,01 \text{ mm} \quad (17)$$

3.5 Síly a práce [2], [3], [5], [7]

Aby bylo možné zvolit lis vhodný pro přesné stříhání s tlačnou hranou, je nejprve nutné určit celkovou sílu, která je popsána vztahem 5. Nejprve je ovšem nutné vypočítat jednotlivé složky celkové síly, jenž jsou popsány v kapitole 2.2 vztahy 6 7 a 9.

a) Střížná síla – pokud bude do vztahu 6 dosazena hodnota $l_s = 1151,1$ mm, která byla vypočtena programem Autodesk Inventor 2014, a zvolená nejvyšší hodnota otupení nože $n = 1,5$, pak je výsledný vztah:

$$F_s = l_s \cdot s \cdot \tau_{ps} \cdot n = 1151,1 \cdot 4 \cdot 0,8 \cdot 441 \cdot 1,5 = 2\,436\,648 \text{ N},$$

$$F_s \cong 2\,437 \text{ kN}.$$

b) Síla na přídržovací desce – do vztahu 7 za délku střížné hrany L_h bude opět dosazena hodnota vypočtená programem Autodesk Inventor 2014 $L_h = 660,6$ mm. Výsledný vztah potom bude následující:

$$F_p = 4 \cdot R_m \cdot L_h \cdot h = 4 \cdot 441 \cdot 660,6 \cdot 0,5 = 582\,649 \text{ N},$$

$$F_p \cong 583 \text{ kN}.$$

c) Síla vyhazovače – do vztahu 9 byla dosazena opět hodnota vypočtena programem Autodesk 2014 $S_v = 6867,3$ mm². Dále byl zvolen a dosazen měrný tlak $p = 70$ MPa.

$$F_v = S_v \cdot p_v = 6867,3 \cdot 70 = 480\,711 \text{ N}$$

$$F_v \cong 481 \text{ kN}$$

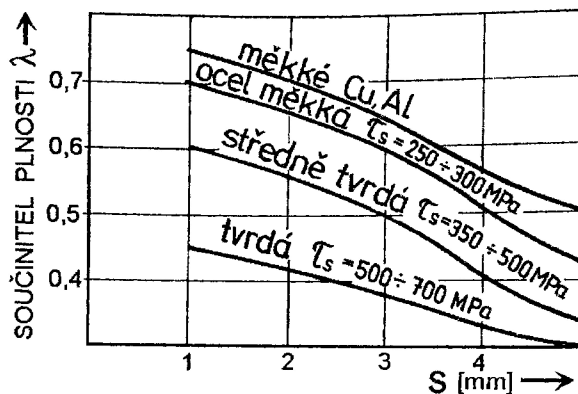
Celková síla – Součet třech doposud vypočtených sil udává celkovou sílu:

$$F_{Celk} = F_s + F_p + F_v = 2\,437 + 583 + 481 = 3\,501 \text{ kN}.$$

d) Střížná práce – hodnota střížné práce lze vypočítat dle vztahu 14, je ovšem nutné určit ukazatel plnosti λ_0 . Ten lze určit pomocí nomogramu závislosti materiálu a tloušťky stříhaného materiálu. Hodnota součinitele plnosti je tedy vyčtena z nomogramu (obr.) $\lambda_0 = 0,4$.

$$A = F_s \cdot s \cdot \lambda_0 = 2\,436\,648 \cdot 4 \cdot 0,4 = 3\,898\,636 \text{ J}$$

$$A \cong 3\,900 \text{ kJ}$$

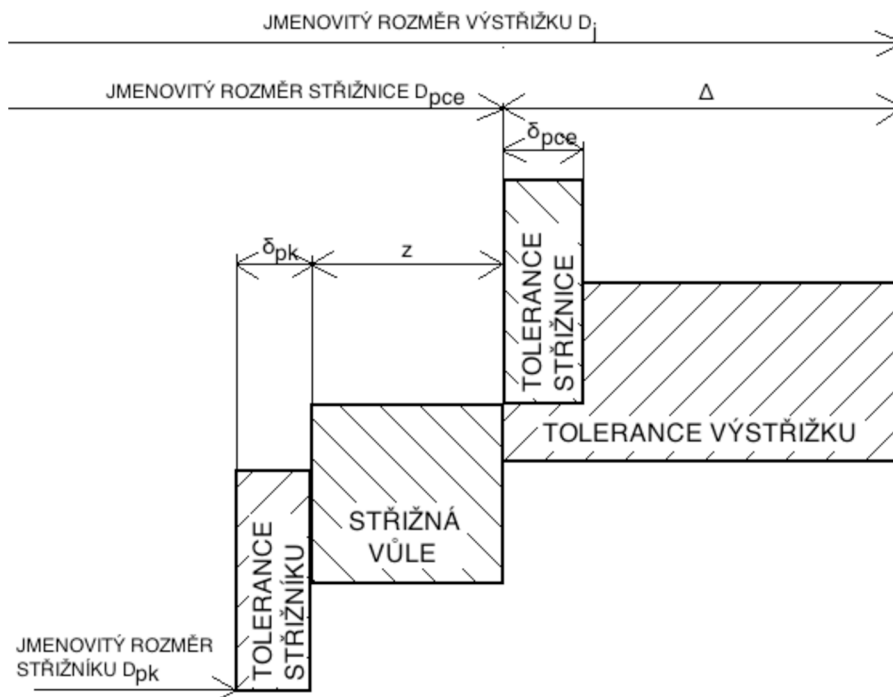


Obr. 33 Nomogram pro určení součinitele plnosti [3]

3.6 Určení rozměrů střížnice a střížníku

Části nástroje realizující stříh, tedy střížník a střížnice, musí být nezbytně vyrobeny v takových rozměrech, aby i po určitém opotřebení byl zachován tvar a tolerance výstřížku. V úvahu je tedy nutné vzít opotřebení střížníku a střížnice a přizpůsobit tak jejich tolerance, a to v závislosti na vystřihování, nebo děrování.

Vystřihování – jedná se o proces, kdy je výsledkem výstřížek. Při této operaci je nutné vycházet z rozměrů střížnice. Střížnice se postupem času opotřebovává a obrys výstřížku v ní se zvětšuje. Proto je nutné při výrobě střížnice vyrobít otvory menší, aby se i při opotřebení nacházeli v požadované toleranci výstřížku (obr. 34). Tímto je zaručeno, že bude výstřížek vyroben v zadaných přípustných odchylkách.



Obr. 34 Určení rozměrů střížníku a střížnice při vystřihování

Obecný vztah pro výpočet jmenovitého rozměru střížníku:

$$D_{pk} = (D_j - \Delta - z_{min}) - \delta_{pk} \text{ [mm]},$$

kde: D_j – jmenovitý rozměr výstřížku [mm],

Δ – tolerance výstřížku [mm],

z_{min} – nejmenší střížná mezera [mm],

δ_{pk} – tolerance střížníku [mm].

Po dosazení jednotlivých rozměrů do vzorce:

$$D_{pk118} = (118,2 - 0,054 - 0,02) - 0,013 = 118,126_{-0,013} \text{ mm},$$

$$D_{pk113} = (113,3 - 0,054 - 0,02) - 0,013 = 113,226_{-0,013} \text{ mm},$$

$$D_{pk104} = (104 - 0,054 - 0,02) - 0,013 = 103,926_{-0,013} \text{ mm}.$$

Obecný vztah pro výpočet jmenovitého rozměru střížnice:

$$D_{pce} = (D_j - \Delta) + \delta_{pce},$$

kde: δ_{ce} – tolerance střížnice.

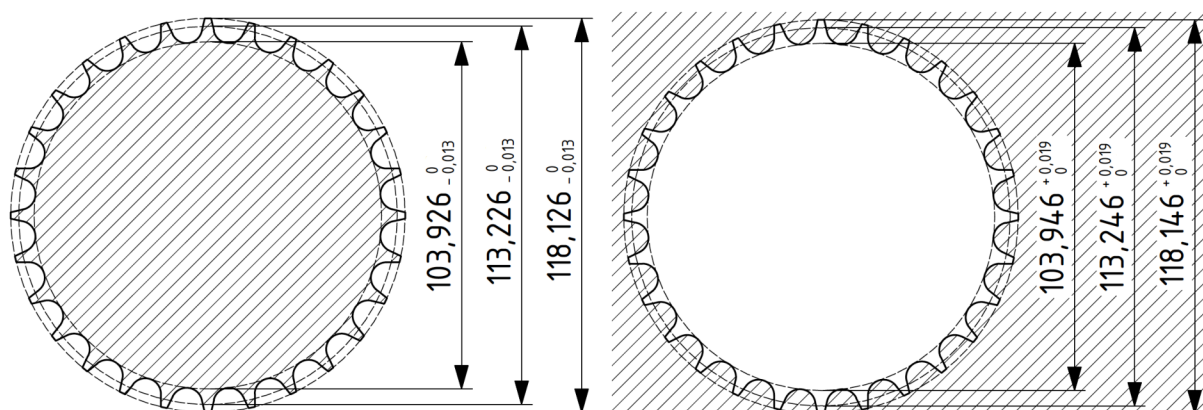
Po dosazení jednotlivých rozměrů do vzorce:

$$D_{pce118} = (118,2 - 0,054) + 0,019 = 118,146^{+0,019} \text{ mm},$$

$$D_{pce113} = (113,3 - 0,054) + 0,019 = 113,246^{+0,019} \text{ mm},$$

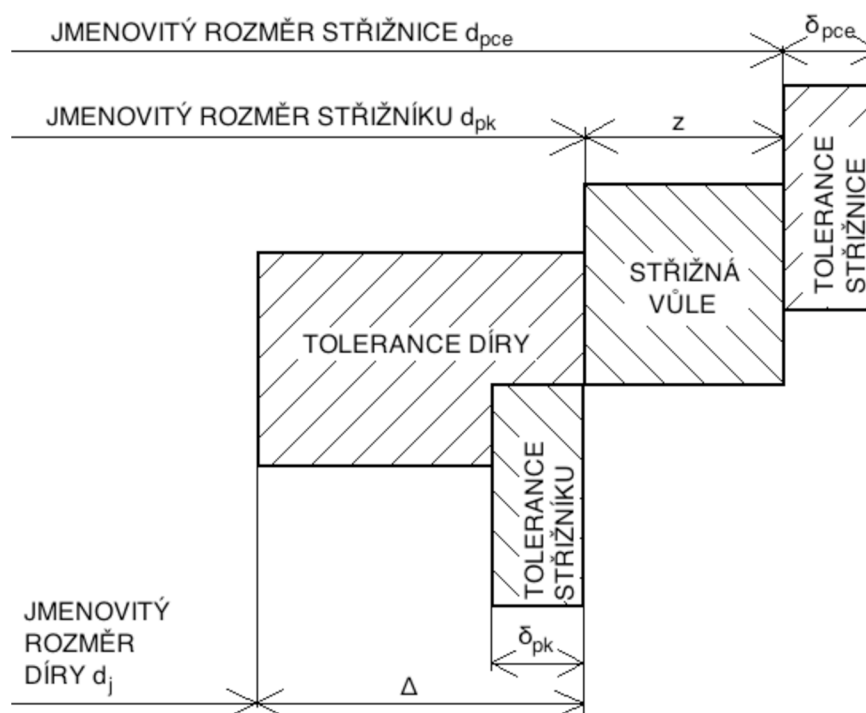
$$D_{pce104} = (104 - 0,054) + 0,019 = 103,946^{+0,019} \text{ mm}.$$

Výsledné hodnoty jsou pro přehlednost znázorněny na obr. 35.



Obr. 35 Znázornění funkčních rozměrů nástroje pro vystřihování, vlevo - střížník, vpravo - střížnice

Děrování – jedná se o proces, jehož výsledkem je díra. V tomto případě je nutné vycházet z rozměrů střížníku. Střížník se postupem času opotřebí a jeho rozměry se tak zmenšují. Střížník tedy musí být vyroben s větším rozměrem, aby tak bylo zajištěno, že díra, vyrobená opotřeбенým střížníkem, se bude stále nacházet v přípustných odchylkách.



Obr. 36 Určení rozměr střížníku a střížnice při děrování

Obecný vztah pro výpočet jmenovitého rozměru střížníku:

$$d_{pk} = (D_j + \Delta) - \delta_{pk} [mm].$$

Po dosazení jednotlivých rozměrů do vzorce:

$$d_{pk22H8} = (22 + 0,033) - 0,006 = 22,033_{-0,006} \text{ mm},$$

$$d_{pk20} = (20 + 0,2) - 0,006 = 20,2_{-0,040} \text{ mm},$$

$$d_{pk11} = (11 + 0,2) - 0,006 = 11,2_{-0,040} \text{ mm}.$$

Obecný vztah pro výpočet jmenovitého rozměru střížnice:

$$d_{pce} = (D_j + \Delta + z_{min}) + \delta_{pce} [mm].$$

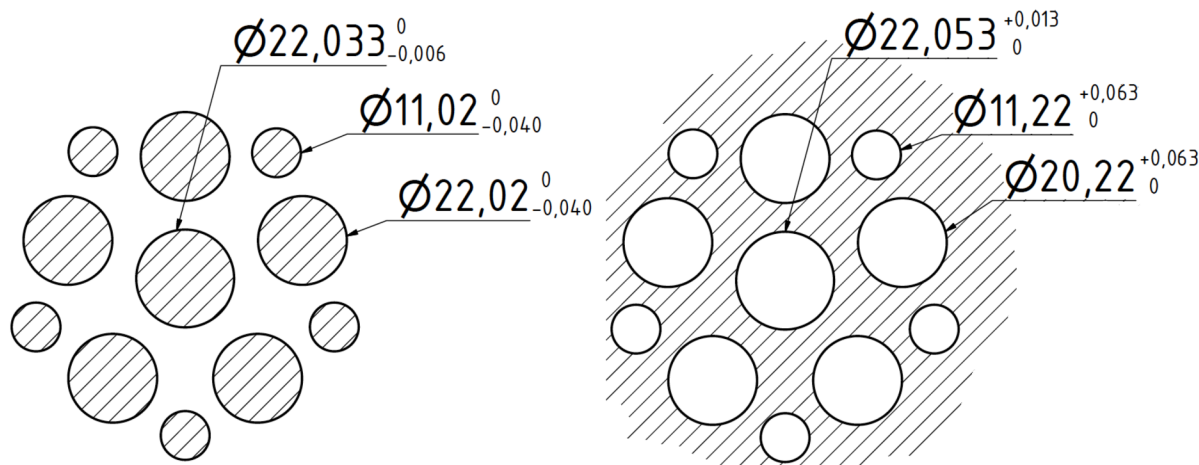
Po dosazení jednotlivých rozměrů do vzorce:

$$d_{pce22H8} = (22 + 0,033 + 0,02) + 0,013 = 22,053^{+0,013}_0 \text{ mm.}$$

$$d_{pce20} = (20 + 0,2 + 0,02) + 0,013 = 20,22^{+0,063}_0 \text{ mm,}$$

$$d_{pce11} = (11 + 0,2 + 0,02) + 0,013 = 11,22^{+0,063}_0 \text{ mm,}$$

Výsledné hodnoty jsou pro přehlednost znázorněny na obr. 37.



Obr. 37 Znárodnění funkčních rozměrů nástroje při děrování, vlevo - střížník, vpravo - střížnice

3.7 Výška střížnice

Střížnice bude při stříhání namáhána na tlak a případně i ohyb. Je proto důležité určit bezpečnou výšku střížnice, při které bude zaručeno, že nedojde k jejímu zlomení nebo jinému druhu poškození. Výšku střížnice lze určit pomocí vztahu:

$$H = \sqrt{\left(1 - \frac{2}{3} \cdot \frac{D_0}{D_1}\right) \cdot 1,5 \cdot \frac{F_s}{\frac{R_{mo}}{1,8}}}, \quad (18)$$

kde: D_0 – vnitřní průměr střížnice [mm],

D_1 – vnější průměr střížnice [mm],

R_{mo} – mez pevnosti v ohybu (pro ocel 19 437 $R_{mo} = 3\,750$ MPa).

Po dosazení je určena výsledná hodnota výšky střížnice:

$$H = \sqrt{\left(1 - \frac{2}{3} \cdot \frac{104}{190}\right) \cdot 1,5 \cdot \frac{2,437 \cdot 10^6}{\frac{3750}{1,8}}} = 33,3795 \cong 34 \text{ mm.}$$

3.8 Kontrola střížníku na vzpěr

Při návrhu střížníku musí být brána v potaz skutečnost, že během stříhu může být střížník o malém průměru pokriven, nebo jinak zdeformován. Z tohoto důvodu je nutné provést kontrolu střížníku na vzpěr. Uvažovaný střížník, který se bude na vzpěr kontrolovat, bude střížník o průměru 11 mm, neboli nejmenší střížník určený pro zadanou součást. Kontrola bude provedena pomocí vztahu pro kritickou délku:

$$l_{krit} = \sqrt{\frac{4 \cdot \pi^2 \cdot E_{pt} \cdot I}{\mu \cdot d_{11} \cdot t \cdot \tau_s}} [mm], \quad (19)$$

kde: E_{pt} – modul pružnosti v tahu,
 I – moment setrvačnosti daného průřezu [mm^4],
 μ – koeficient bezpečnosti (1 až 2) [-],
 d_{11} – průměr nejmenšího střížníku [mm].

Před dosazením do vztahu je nejprve nutné určit koeficient bezpečnosti a vypočítat moment setrvačnosti daného průřezu. Koeficient bezpečnosti bude zvolen jako $\mu = 2$ a moment setrvačnosti lze spočítat dle vztahu:

$$I = \frac{\pi \cdot d_{11}^4}{64} = \frac{\pi \cdot 11^4}{64} = 718,6884 \text{ mm}^4. \quad (20)$$

Po dosazení do vztahu:

$$l_{krit} = \sqrt{\frac{4 \cdot \pi^2 \cdot 2,1 \cdot 10^5 \cdot I}{2 \cdot 11 \cdot 4 \cdot 0,8 \cdot 441}} = 438,0808 \text{ mm}.$$

Kritická hodnota střížníku, neboli hodnota, při jejímž překročení může dojít k poškození střížníku, je několikanásobně větší než uvažovaných 65 mm. Proto lze uvažovanou hodnotu 65 mm považovat za bezpečnou.

3.9 Kontrola pevnosti střížníku

Podobně jako kontroly nejmenšího střížníku na vzpěr, je nutné tento střížník překontrolovat, jestli nemůže nastat situace, kdy by nebyl schopen odolat pevnostnímu zatížení. Materiál střížníku, tedy nástrojová ocel třídy 19 436, je schopná odolávat napětí v rozmezí 2 490 MPa až 2610 MPa. Pro zachování bezpečnosti bude uvažována nižší mez tohoto intervalu, tedy 2 436 MPa. Tuto hodnotu by proto daný střížník neměl překročit. Pevnostní napětí střížníku je pak dáno vztahem:

$$\delta_{PS} = \frac{F_{s11}}{S_{s11}} = \frac{n \cdot l_{s11} \cdot 4 \cdot \tau_s}{\frac{\pi \cdot d_{11}^2}{4}} [MPa] \quad (21)$$

kde: F_{s11} – střížná síla nejmenšího střížníku [N],
 S_{s11} – plocha průřezu nejmenšího střížníku [mm^2],
 l_{s11} – křivka stříhu nejmenšího střížníku [mm].

Po dosazení:

$$\delta_{PS} = \frac{1,5 \cdot \pi \cdot 11 \cdot 4 \cdot 0,8 \cdot 441}{\frac{\pi \cdot 11^2}{4}} = 769,7455 \text{ MPa}. \quad (22)$$

Výsledné pevnostní napětí střížníku nepřevyšuje stanovenou bezpečnostní hodnotu. Střížník tedy pevnostně vyhovuje.

3.10 Výpočet tlačných a vyrážecích kolíků

Pro přenášení pohybu v nástroji bez toho, aniž by byly ovlivněny nepohyblivé části nástroje, je využíváno tlačných a vyrážecích kolíků. Bezpečné množství těchto kolíků je nutno vypočítat v závislosti na jejich uvažovaném průměru a působících sil podle následujících vztahů.

Výpočet tlačných kolíků:

$$B_{TK} = \frac{S_v}{S_{TK}} = \frac{\frac{F_v}{3 \cdot p}}{\frac{\pi \cdot d_{TK}^2}{4}} [ks], \quad (23)$$

kde: S_v – plocha působení síly vyhazovače [mm^2]

S_{TK} – průřez tlačného kolíku [mm^2]

d_{TK} – průměr tlačného kolíku [mm]

Po dosazení:

$$B_{TK} = \frac{S_v}{S_{TK}} = \frac{\frac{480711}{3 \cdot 70}}{\frac{\pi \cdot 22^2}{4}} = 6,0218 [ks].$$

Vzhledem k minimálnímu přesahu hodnoty 6 ks bude zvoleno celkem 6 ks tlačných kolíků.

Výpočet vyrážecích kolíků:

$$B_{VK} = \frac{S_p}{S_{VK}} = \frac{\frac{F_p}{3 \cdot p}}{\frac{\pi \cdot d_{VK}^2}{4}} [ks], \quad (24)$$

kde: S_p – plocha působení přitlačné síly [mm^2],

S_{VK} – průřez vyrážecího kolíku [mm^2],

d_{VK} – průměr vyrážecího kolíku [mm].

Po dosazení:

$$B_{VK} = \frac{S_p}{S_{VK}} = \frac{\frac{582649}{3 \cdot p}}{\frac{\pi \cdot 30^2}{4}} = 3,9251 [ks].$$

Bude zvolen nejbližší vyšší celý počet vyrážecích kolíků, tedy 4 ks.

Jako nezbytné by se mohla zdát opětovná kontrola na vzpěr a otláčení, jako tomu bylo u střížníku. Nicméně vzhledem k materiálové podobnosti a uvažovaným průměrům kolíků tato kontrola není nutná.

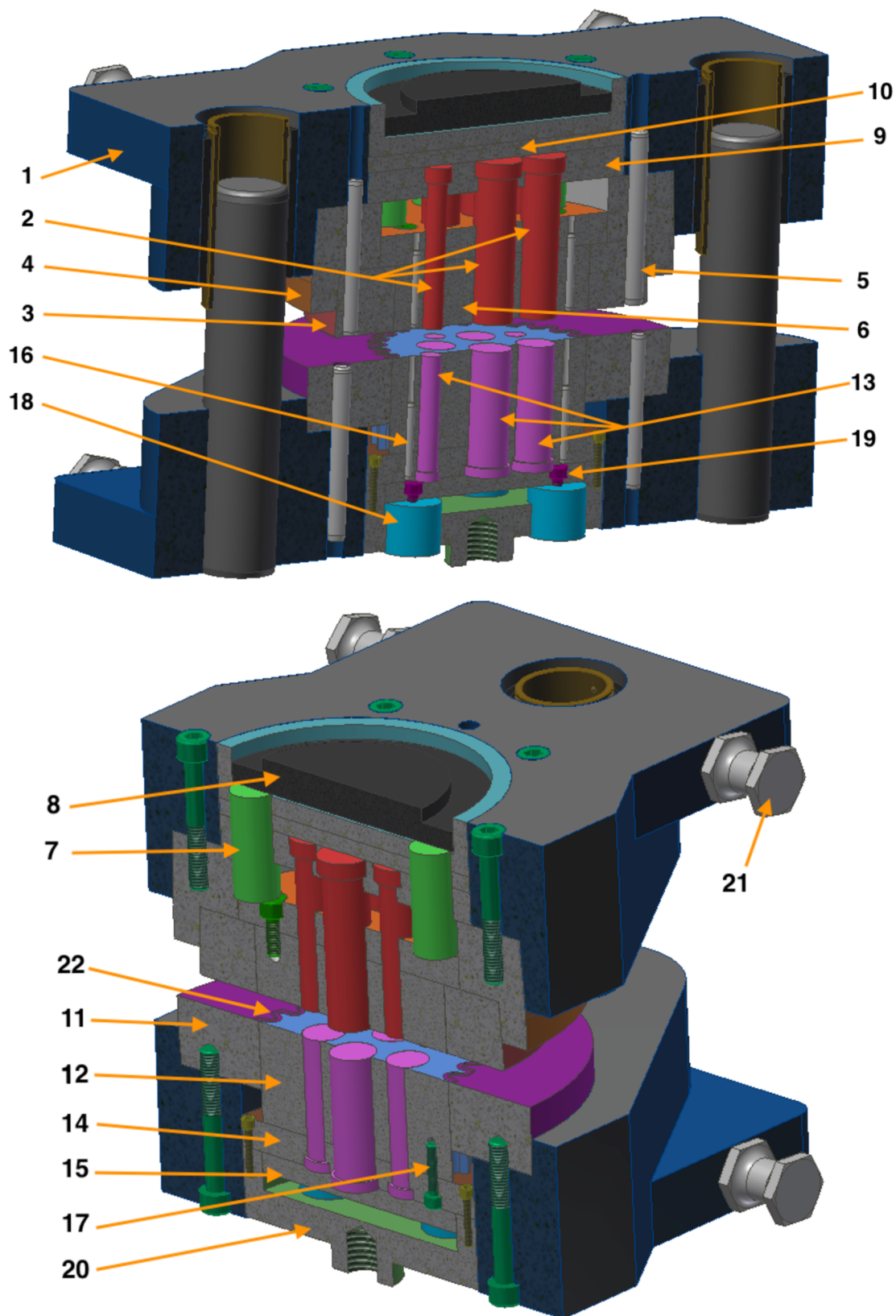
3.11 Princip nástroje [5], [7]

Návrh nástroje byl sestaven na základě směrnic pro konstrukci nástroje přesného stříhání pro firmu Zbrojovka Brno. Jako typ nástroje byla zvolena varianta s pohyblivým střížníkem a pevnou přitlačnou deskou. Tento typ je vzhledem ke členitosti výstřížku vhodnější než varianta s pohyblivou přitlačnou deskou a pevným střížníkem, jelikož zajišťuje přesnější chod střížníku vůči střížnici a je tak dosaženo přesnějších vystřížených rozměrů.

Střížný nástroj je tvořen vodícím stojánkem (1) od firmy Fibro s kluzným vedením. Ve stojánku je pro zjednodušení manipulace s nástrojem umístěno na horní i spodní desce celkem 8 úchytných čepů (21).

V horní části se nachází jednotlivé střížníky (2) pro děrování otvorů. Dále se v horní části nachází také střížnice (3), která má tvar ozubení a je zmenšena o příslušné tolerance. Střížnice je vzhledem ke značnému opotřebení uložena (zalisována) ve zděři střížnice (4) s uložením H7/n6. S ní je taktéž zkolíkována (5) a sešroubována. Suvně, v prostoru mezi střížníky a střížnicí, se pohybuje vyhazovač ozubení (6). Tomu je díky vyrážecím kolíkům (7) společně

s vyhazovacím kroužkem (8) umožněno během vystřihování konat pohyb směrem nahoru a poté se díky tlaku vrátit zpět a vysunout výstřižek pryč ze střížnice. Aby se výstřižek neměl tendenci lepit na vyhazovač, je v něm umístěn odlačovací kolík. Střížníky jsou přitom pevně ukotveny v kotevní desce (9). Nad níž je z důvodu otlačení umístěna kalená opěrná deska (10).



Obr. 38 Princip nástroje

Spodní část nástroje je tvořena obdobně. Funkce střížníků se zde zaměňuje za funkce vyhazovačů. V přítlačné desce (11), na které je umístěna tlačná hrana (22) pro dosažení všestranné tlakové napjatosti, je uložen střížník (12) s patřičnou vůlí, který zajišťuje vystřížení obrysu ozubení výstřížku. V tomto střížníku jsou posuvně uloženy vyrážecí (13), které jsou zasazeny v podložce střížníku (14) a opřeny o vyrážecí lištu (15). Samotný střížník je v podložce střížníku ustanoven pomocí kolíků (16) a šroubů (17). Vyrážecí lišta je podepřena za pomoci vyrážecích kolíků (18), které zabraňují současnému pohybu střížníků a vyrážecí a jsou pomocí šroubů (19) zajištěny proti vypadnutí. Samotný pohyb střížníku zajišťuje tzn. držák střížníku (20) přes spodní pohon lisu.

3.12 Výběr lisu [12]

Pro výrobu součástí za pomoci technologie přesného stříhání se ve velkosériové výrobě obvykle používají trojčinné hydraulické lisy, tzn. pohyb beranu, vyhazovače a přidržovače probíhá nezávisle na sobě. Samotný výběr lisu pak vychází z celkové střížné síly a taky z dílčích sil: střížná síla, přidržovací a vyhazovací.

Pro výrobu zadaného převodníku byl na základě celkové vypočtené síly, síly střížné, přidržovací a vyhazovací, zvolen trojčinný hydraulický lis HFA 4500 plus od firmy Feintool (obr. 39). V tab. 7 Jsou uvedeny základní parametry tohoto zvoleného lisu.



Tab. 7 Technické parametry lisu HFA 4500 plus [12]

Obr. 39 Lis HFA 4500 plus [12]

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

4 TECHNICKO-EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ [14]

Pro ověření, jestli by se vyplatilo vyrábět zadanou součást pomocí technologie přesného stříhání, budou provedeny ekonomické výpočty. Hlavním cílem technicko-ekonomického zhodnocení je tzn. bod zvratu, tedy bod, který zobrazuje přechod mezi ztrátovou a ziskovou výrobou.

Aby bylo možné toto zhodnocení provést, je nejprve nutné vytvořit základní představu o cenách a zjistit, při kolika vyrobených kusech se ze ztrátové výroby stane výroba zisková. Pro zjednodušení výpočtu nebudou uvažovány některé hodnoty, jako např. pořizovací cena lisu nebo tabulových nůžek.

a) náklady na materiál - nejprve je nutné vypočítat náklady spojené s pořízením základního materiálu pro výrobu zadané součásti. K tomu je nejprve nutný výpočet potřebného množství tabulí pro zadanou sérii 200 000 ks/rok. Jako zvolený polotovár pro výrobu byla zvolena tabule plechu o rozměrech 4x3000x6000 od firmy Feron a.s. Z těchto tabulí se budou na dílně vertikálně vystřihávat pásy plechu o šířce $P = 129,2$ mm pomocí tabulových nůžek. Pro výpočet potřebných tabulí plechu bude využito hodnot ze vzorového výpočtu, který je uveden v kapitole 3.2.

$$n_{Tab} = \frac{n_{DC}}{n_{DTab}} = \frac{200000}{736} = 271,74 \cong 272 \text{ tabulí} \quad (25)$$

Pro výrobu celé série o velikosti 200 000 ks/rok bude nutné tedy použít celkem 272 tabulí plechu o délce 6000 mm a šířce 2000 mm. Nyní je nutné vypočítat hmotnost jedné tabule a spočítat celkové náklady na materiál při ceně 21,2 Kč za jeden kg materiálu.

$$m_{TabC} = \rho \cdot s \cdot \check{S}_{Tab} \cdot D_{Tab} \cdot n_{Tab} \text{ [kg]} \quad (26)$$

$$m_{TabC} = 7850 \cdot 0,004 \cdot 2 \cdot 6 \cdot 272 = 102489,6 \text{ kg}$$

Pro výpočet je ještě nutné započítat cenu odpadu. Ta je uvažována jako 4 Kč / kg a vypočtena je v závislosti na využití materiálu.

$$C_O = 4 \cdot m_{TabC} \cdot \left(1 - \frac{E_m}{100}\right) = 4 \cdot 102489,6 \cdot \left(1 - \frac{41,204}{100}\right) = 241\,039,1409 \text{ Kč}$$

Celkové náklady za materiál jsou tedy:

$$N_{Cmat} = C_p - C_O = m_{TabC} \cdot 21,2 - C_O \text{ [Kč]} \quad (27)$$

$$N_{Cmat} = 102489,6 \cdot 21,2 - 241039,1409 = 1\,931\,740,379 \text{ Kč}$$

Náklady na výrobu nástroje - zahrnuje ceny použitého materiálu, normalizovaných dílců ale také náklady na mzdy dělníků, kteří se účastní výroby. Ceny materiálů jsou uvedeny v tab. 8.

Tab. 8 Ceny materiálů

Třída oceli	Cena za 1 kg	Celková hmotnost	Celková cena
	[Kč]	[kg]	[Kč]
ocel 19	160	38,866	6219
ocel 14	34	4,428	151
ocel 11	28	2,606	73
Σ			6443

Cena potřebného materiálu pro výrobu nástroje je tedy $C_{mat} = 6\,443$ Kč. Nyní je nutné započítat mzdu dělníka, který bude nástroj vyrábět. Průměrná mzda dělníka se pohybuje okolo 190 Kč/hod. Pro výrobu nástroje bude uvažováno 400 Nh. Jednicové mzdy jsou potom:

$$JM = 400 \cdot 190 = 76\,000 \text{ Kč} \quad (28)$$

Z jednicových mezd vycházejí zpracovatelské náklady ZN, které zahrnují: jednicové mzdy - 100%, VR - výrobní režie 370%, SR - správní režie 120%, ostatní náklady 10%.

$$ZN = JM \cdot 500\% = 76000 \cdot 1,5 = 114\,000 \text{ Kč} \quad (29)$$

Do nákladů je nutné započítat také zisk:

$$Z = ZN \cdot 10\% = 114000 \cdot 0,1 = 11\,400 \text{ Kč} \quad (30)$$

Celkové náklady na výrobu nástroje pak činí:

$$N_{CN} = C_{mat} + ZN + Z = 6443 + 114000 + 11400 = 131\,843 \text{ Kč} \quad (31)$$

b) Bod zvratu - vychází se ze závislosti na výrobní sérii. Zohledňuje tzn. fixní náklady, tedy náklady, které se v průběhu výroby nijak nemění, jako např. pronájem výrobní plochy, náklady na strojní vybavení apod. V tomto případě nebudou fixní náklady, jako např. pořizovací cena hydraulického trojčinného lisu, započítány, z důvodu toho, že se s největší pravděpodobností bude používat i pro jiné výrobní operace. Opačně se pak jedná o variabilní náklady, jež jsou závislé na produkci. Dále jsou pak zhodnocovány celkové náklady a tržby.

Náklady na mzdy – určeny na $N_M = 0,6 \text{ Kč} / \text{výstřih}$.

Roční celkové náklady na mzdy a režii při objemu $Q = 200\,000 \text{ ks/rok}$:

$$N_{CMR} = N_M \cdot Q \cdot \left(\frac{VR}{100} + \frac{SR}{100} \right) = 0,6 \cdot 200000 \cdot \left(\frac{370}{100} + \frac{120}{100} \right) = 588000 \text{ Kč.} \quad (32)$$

Materiálové náklady na výrobek:

$$N_{KSMat} = \frac{N_{CMat}}{Q} = \frac{1\,931\,740}{200000} = 9,66 \text{ Kč.} \quad (33)$$

Náklady na výrobu jednoho kusu výrobku ($T = 2 \text{ roky}$, doba životnosti nástroje):

$$N_{KS} = \frac{T \cdot N_{CMR} + N_{CN}}{Q \cdot T} + N_{KSMat} = \frac{2 \cdot 588000 + 131843}{200000 \cdot 2} + 9,66 = 12,93 \text{ Kč.} \quad (34)$$

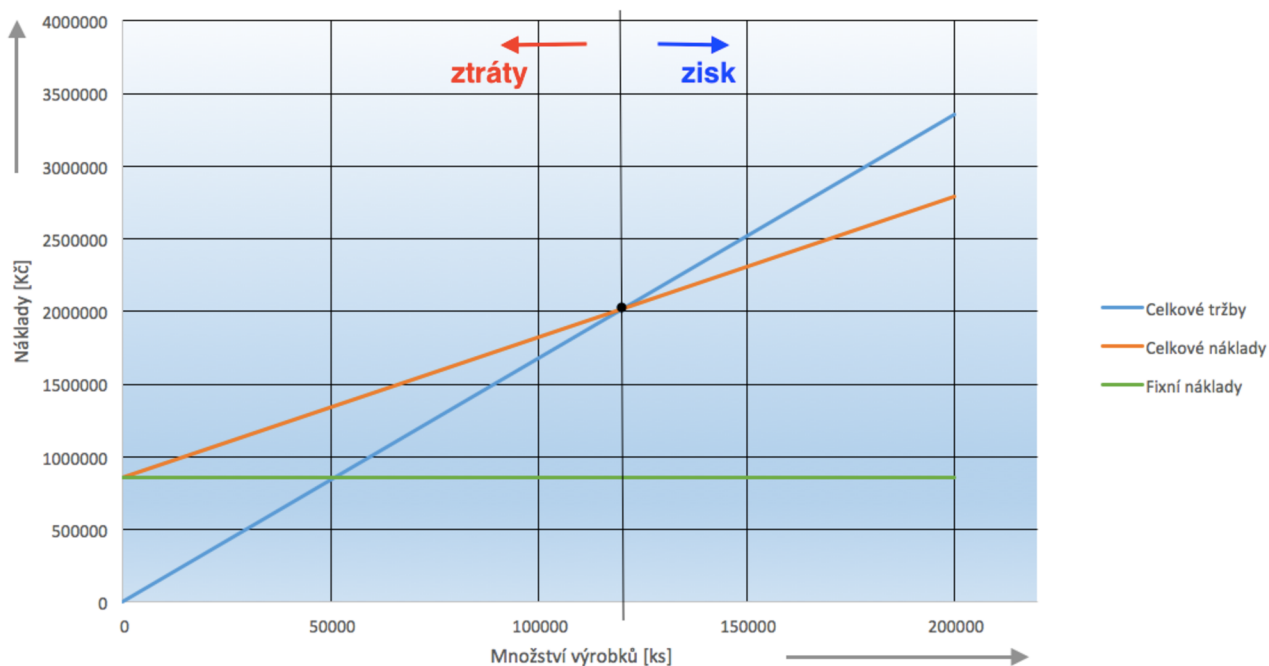
Celková cena výrobku s připočteným ziskem:

$$N_{CV} = N_{KS} \cdot 1,3 = 3,27 \cdot 1,3 = 16,8 \text{ Kč.} \quad (35)$$

Pro bod zvratu, jak již bylo zmíněno, je uvažována situace rovnosti celkových nákladů a celkových tržeb. Nutný je taktéž odhad fixních nákladů, který byl stanoven na 858 420 Kč:

$$B_{zvr} = \frac{F_N}{N_{CV} - N_{KSMat}} = \frac{858\,420}{16,8 - 9,66} = 120\,226,891 \cong 120\,227 \text{ ks.} \quad (36)$$

Grafické znázornění bodu zvratu lze vidět na obr. 40.



Obr. 40 Graf znázorňující bod zvratu

Z výpočtů i grafického znázornění je patrné, že zadaná výroba bude zisková od 120 227 ks. Při uvažované sérii 200 000 ks/rok bude tato výroba tedy zisková.

Technologie přesného stříhání s tlačnou hranou se zdá být velice efektivní. Díky tomu, že je možné součástku vyrábět na jednom stroji, dochází k úspoře energií, obsluhy, ale také např. času nutného pro transport mezi jednotlivými technologickými centry. Vzhledem k sérii výroby je předpokládáno, že se součást nebude vyrábět v menší firmě. Proto jsou zanedbány některé náklady, jako např. pořizovací cena lisu nebo tabulových nůžek.

5 ZÁVĚRY [

Vyráběná součást, řetězové kolečko neboli převodník, slouží k přenosu kroutícího momentu vyvolaného jezdcem na zadní kolo. Součást bude vyráběna z materiálu 14 220.3 o tloušťce 4 mm a uvažovaná série činí 200 000 ks/rok.

Po zhodnocení technologičnosti součásti byla provedena analýza jednotlivých výrobních možností. Po zvážení byla jako nejvhodnější varianta zvolena technologie přesného stříhání s tlačnou hranou. Na základě této volby byl následně vybrán polotovár plechu s rozměry 4x2000x6000 a byly navrženy jednotlivé nástřihové plány, z nichž byl výpočtem vybrán ten nejekonomičtější. Tabule plechu tedy budou děleny vertikálně a šířka jednoho pásu bude 129,2 mm.

Po kontrolních výpočtech byl proveden samotný návrh konstrukce nástroje a byly vypočteny rozměry funkčních částí nástroje. Nástroj byl konstruován jako střížný nástroj s pohyblivým střížníkem a pevnou přítlačnou deskou. Na základě tohoto konstrukčního návrhu byla vypracována příslušná výkresová dokumentace, která zahrnuje výkres sestavy, střížnice a jednotlivých střížníků

Stroj byl zvolen na základě propočtů jednotlivých sil. Celková síla byla stanovena na $F_{\text{celk}} = 3\,501\text{ N}$. Na základě této hodnoty byl zvolen trojčinný hydraulický lis HFA 4500 plus od firmy Feintool

Jako poslední byla provedena kontrola zisku pomocí bodu zvratu. Hodnota bodu zvratu, tedy hodnota, po jejímž překročení se výroba stává ziskovou, byla stanovena na 120 227 ks. S přihlédnutím k uvažované sérii 200 000 ks/rok lze bezpečně prohlásit, že zvolená technologie bude zisková.

SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

1. DVOŘÁK, Milan. *Technologie II*. Vyd. 3., doplněné. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2004, 238 s. : il. ISBN 8021426837.
2. DVOŘÁK, Milan, František GAJDOŠ a Karel NOVOTNÝ. *Technologie tváření: plošné a objemové tváření*. 2. vyd. Brno: CERM, 2007, 169 s. : il. ISBN 9788021434257.
3. DVOŘÁK, Milan, František GAJDOŠ a Ladislav ŽÁK. *Technologie tváření: návody do cvičení*. Vyd. 2. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2005, 103 s. : il., tabulky, grafy. ISBN 8021428813.
4. FOREJT, Milan a Miroslav PÍŠKA. *Teorie obrábění, tváření a nástroje*. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2006, 225 s. : il. ISBN 8021423749.
5. GUIDI, Alfons, Vladimír HORÁK a Werner FIALA. *Přistřihování a přesné střihání*. Praha: SNTL, 1969, 138 s. : il.
6. LUKÁŠEK, Jaromír. *Laserové dělení materiálu* [online]. 2007 [cit. 2017-03-11]. Dostupné z: <http://www.welding.cz/laser/deleni.htm>
7. NOVOTNÝ, Josef a Zdeněk LANGER. *Střihání a další způsoby dělení kovových materiálů*. Praha: SNTL - Nakladatelství technické literatury, 1980, 213 s. : il.
8. ROUBÍČEK, Martin. *Kritéria volby metody a trendy tepelného dělení materiálu* [online]. [cit. 2017-03-19]. Dostupné z: <http://www.airliquide.cz/file/otherelement/pj/roubicek49122.pdf>
9. ŠINDELKA, Marek. *Stroje a nástroje pro přesné střihání*. VUT Brno, 2016.
10. VYSKOČIL, Oldřech a Pavel BARTOŠ. *30. Smernice pro konstrukci nástroje pro přesné střihání (ucební texty)*. Brno : Zbrojovka Brno n. p., 1977, 88 s.
11. Řezání vodním paprskem. *Wikipedia : the free encyclopedia* [online]. St. Petersburg (Florida) [cit. 2017-03-13]. Dostupné z: http://cs.wikipedia.org/wiki/Řezání_vodním_paprskem
12. Feintool. In: *Feintool* [online]. [cit. 2017-05-19]. Dostupné z: <https://www.feintool.com/en/>
13. Řezání plasmou. In: *Aldebaran* [online]. Praha [cit. 2017-05-19]. Dostupné z: http://www.aldebaran.cz/bulletin/2004_20/plasma_cut.jpg
14. Bod zvratu. *Wikipedia : the free encyclopedia* [online]. St. Petersburg (Florida) [cit. 2017-05-17]. Dostupné z: http://cs.wikipedia.org/wiki/Bod_zvratu
15. *Speciální technologie výroby část tváření* [online]. [cit. 2017-05-19]. Dostupné z: http://ust.fme.vutbr.cz/tvareni/opory_soubory/specialni_tecnologie_vyroby__novotny_piska.pdf
16. Technologie vodní paprsek. *CHPS s.r.o.* [online]. Chomutov [cit. 2017-05-19]. Dostupné z: <http://www.chps.cz/vodni-paprsek/technologie>
17. Ocel 14 220. *Ust.fme.vutbr.cz* [online]. [cit. 2017-02-20]. Dostupné z: http://ust.fme.vutbr.cz/tvareni/databaze_modelu_soubory/ocel_14220.pdf
18. *Laserové a plazmové řezání* [online]. c2015-2017 [cit. 2017-05-19]. Dostupné z: <http://homen.vsb.cz/~hla80/2009Svarovani/16-17-83-84.pdf>
19. Laser cutting glossary from Tesko Laser - C. *TESKO laser division* [online]. c2000-2005 [cit. 2017-05-19]. Dostupné z: <http://www.teskolaser.com/laserglossaryc.html>

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

Označení	Legenda	Jednotka
A_{Celk}	Celková práce	[J]
A_{P}	Práce na přidržovači	[J]
A_{S}	Střížná práce	[J]
A_{V}	Střížná práce	[J]
A_{S}	Tažnost	[%]
a	Vzdálenost hrotu špičky hrany od křivky stříhu	[mm]
B_{TK}	Počet tlačných kolíků	[ks]
B_{VK}	Počet vyrážecích kolíků	[ks]
B_{Zvr}	Bod zvratu	[ks]
b	Šířka zářezu	[mm]
C_0	Cena odpadu	[Kč]
c	Koeficient	[-]
D_j	Jmenovitý rozměr výstřížku	[mm]
D_{pce}	Výpočet jmenovitého rozměru střížnice při vystřihování	[mm]
D_{pk}	Výpočet jmenovitého rozměru střížníku při vystřihování	[mm]
D_0	Vnitřní průměr střížnice	[mm]
D_1	Vnější průměr střížnice	[mm]
d	průměr	[mm]
d_{ce}	Výpočet jmenovitého rozměru střížnice při děrování	[mm]
d_{pk}	Výpočet jmenovitého rozměru střížníku při děrování	[mm]
E	Můstek	[mm]
E_{p}	Modul pružnosti	[GPa]
E_{pt}	Modul pružnosti v tahu	[GPa]
E_{Tab}	Ekonomické využití tabule plechu	[%]
F	postranní odpad	[mm]
F_{Celk}	Celková síla	[N]
F_{S}	Střížná síla	[N]
F_{P}	Síla na přidržovači	[N]
F_{V}	Síla na vyhazovači	[N]
H	Výška střížnice	[mm]
h	Výška tlačné hrany	[mm]
h_1	Výška tlačné hrany s odlehčením	[mm]
I	Moment setrvačnosti	[mm ⁴]
JM	Jednicové mzdy	[Kč]
L_h	Délka tlačné hrany	[mm]
l_{krit}	Kritická výška střížníku	[mm]
l_s	Délka křivky stříhu	[mm]
m_{TabC}	Celková hmotnost potřebných tabulí	[kg]
N_{Cmat}	Náklady na materiál	[Kč]
N_{CMR}	Roční celkové náklady na mzdy a režii	[Kč]
N_{CN}	Celkové náklady na výrobu nástroje	[Kč]
N_{CV}	Celková cena výrobku s připočteným ziskem	[Kč]
N_{KS}	Náklady na výrobu jednoho kusu výrobku	[Kč]
N_{KSMat}	Materiálové náklady na výrobek	[Kč]
N_{M}	Náklady na mzdy	[Kč]
n	koeficient otupení nože	[-]
n_{DP}	Počet dílců na pásu plechu	[ks]
n_{DTab}	Počet dílců na tabuli	[ks]
n_{PTab}	Počet pásu na tabuli	[ks]
n_{Tab}	Počet tabulí	[ks]
p_{V}	Měrný tlak vyhazovače	[MPa]

R_m	Mez pevnosti	[MPa]
R_e	Mez kluzu	[MPa]
R_{mo}	Mez pevnosti v ohybu	[MPa]
S_{DTab}	Plocha výstřižků na tabuli	[mm ²]
S_S	Plocha průřezu střížníku	[mm ²]
S_V	Plocha výstřižku	[mm ²]
s	tloušťka plechu	[mm]
v	Střížná vůle	[mm]
Z	Zisk	[Kč]
Z_N	Zpracovatelské náklady	[Kč]
Z_1	Zúžení	[%]
z	Střížná mezera	[mm]
z_{min}	Minimální střížná mezera	[mm]
Δ	Tolerance výstřižku	[mm]
δ_{pce}	Tolerance střížnice	[mm]
δ_{pk}	Tolerance střížníku	[mm]
δ_{ps}	Pevnostní napětí střížníku	[MPa]
λ_0	Součinitel plnosti diagramu F_s-s	[-]
μ	Koeficient bezpečnosti	[-]
τ_{ps}	Pevnost ve stříhu	[MPa]

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1 Výrobky přesného stříhání	9
Obr. 2 Ozubené kolo	10
Obr. 3 Řezání kyslíkem	11
Obr. 4 Řezání plasmou	12
Obr. 5 Řezání laserem	12
Obr. 6 Řezání vodním paprskem	13
Obr. 7 Stříhání na elastických stříhadlech	13
Obr. 8 Postupové stříhání	13
Obr. 9 Kvalita střížné plochy	14
Obr. 10 – Přistřihování	14
Obr. 11 Stříhání se zaoblenou hranou	14
Obr. 12 Stříhání se zkoseným přidržovačem	15
Obr. 13 Přesné stříhání s tlačnou hranou	15
Obr. 14 - Trojosá tlaková napjatost	16
Obr. 15 Tlačná hrana	17
Obr. 16 Příklady umístění tlačné hrany	17
Obr. 17 Graf pro určení střížné vůle	19
Obr. 17 Střížná vůle	19
Obr. 19 Konstrukce nástroje	20
Obr. 20 Nástroj s pevným střížníkem a pohyblivým přidržovačem	20
Obr. 21 Nástroj s pohyblivým střížníkem a pevným přidržovačem	21
Obr. 22 Skládání střížnice	21
Obr. 23 Střížník	22
Obr. 24 Graf pro určení můstku	23
Obr. 25 Základní vyráběné součásti	24
Obr. 25 Nomogram pro určení minimálního rozměru mezi stříhanými otvory	24
Obr. 27 Znázornění můstku a postranního odpadu	25
Obr. 28 vlevo - horizontální rozdělení tabule, vpravo - vertikální rozdělení tabule	25
Obr. 29 Horizontální nástřihový plán	26
Obr. 30 Vertikální nástřihový plán	26
Obr. 31 Rozměry tlačné hrany	28
Obr. 32 Poloha tlačné hrany	28
Obr. 33 Nomogram pro určení součinitele plnosti	29
Obr. 34 Určení rozměrů střížníku a střížnice při vystřihování	30
Obr. 35 Znázornění funkčních rozměrů nástroje pro vystřihování, vlevo - střížník	31
Obr. 36 Určení rozměrů střížníku a střížnice při děrování	31
Obr. 37 Znázornění funkčních rozměrů nástroje při děrování, vlevo - střížník, vpravo	32
Obr. 38 Princip nástroje	35
Obr. 39 Lis HFA 4500 plus	36
Obr. 40 Graf znázorňující bod zvratu	39

SEZNAM TABULEK

Tab. 1	Ekvivalentní označení pro ocel 14 220.3	11
Tab. 2	Chemické složení oceli 14 220.3	11
Tab. 3	Mechanické vlastnosti oceli 14 220.3	11
Tab. 4	Materiály střížných nástrojů	22
Tab. 5	Velikost můstku a postranního odpadu	25
Tab. 6	Výsledné hodnoty jednotlivých nástřihových plánů.....	27
Tab. 7	Technické parametry lisu HFA 4500 plus	36
Tab. 8	Ceny materiálů	37

SEZNAM PŘÍLOH

Příloha 1 Skript pro výpočet ekonomického využití nástřihových plánů

SEZNAM VÝKRESŮ

Řetězové kolečko	2017_PREVODNIK
Střížný nástroj	2017_SESTAVA
Střížnice	2017_STRIZNICE
Střížník ozubení	2017_STRIZNIK_OZUBENI
Střížník Ø22	2017_STRIZNIK22
Střížník Ø20	2017_STRIZNIK20
Střížník Ø11	2017_STRIZNIK11

PŘÍLOHA 1

Skript pro výpočet ekonomického využití nástřihových plánů

```
1 dT=input('Délka tabule: ');
2 sT=input('Šířka tabule: ');
3 P=129.2;
4 K=124.7;
5 e=6.5;
6 smer=input('Je směr zavádění rovnoběžný s délkou tabule? (1=ano, 0=ne): ');
7 Sv = 6867.3; % Plocha výstřižku
8 if smer>0; %tzn. směr zavádění je rovnoběžný s délkou
9     Nd=((dT-e)/K);
10    nd=floor(Nd); %zaokrouhlený počet výstřižků na jednu délku tabule
11    Ns=(sT/P);
12    ns=floor(Ns); %zaokrouhlený počet výstřižků na šířku tabule
13 else
14     Nd=((dT)/P);
15     nd=floor(Nd); %zaokrouhlený počet výstřižků na jednu délku tabule
16     Ns=((sT-e)/K);
17     ns=floor(Ns); %zaokrouhlený počet výstřižků na šířku tabule
18 end
19
20 n=nd*ns; %počet výstřižků na tabuli
21 Sc=n*Sv; %plocha výstřižků na tabuli
22 ST=dT*sT; %Plocha tabule
23 vT=(Sc/ST); %využití tabule
24 vT=(vT*100); %převod na procenta
25 disp(' Využití tabule: ');disp(vT);
```