



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE

INSTITUTE OF MANUFACTURING TECHNOLOGY

VÝROBA OZUBENÉHO KOLA

PRODUCTION OF GEAR WHEEL

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Michal Tesař

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Michaela Císařová, Ph.D.

BRNO 2021

Zadání bakalářské práce

Ústav: Ústav strojírenské technologie
Student: **Michal Tesař**
Studijní program: Strojírenství
Studijní obor: Strojírenská technologie
Vedoucí práce: **Ing. Michaela Císařová, Ph.D.**
Akademický rok: 2020/21

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 ozubeného kola

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Jedná se o návrh výroby ozubeného kola, které je součástí převodu jízdního kola. Součástí je plochého tvaru s několika otvory a bude vyráběna technologií stříhání. Na tuto problematiku bude zaměřena literární studie.

Cíle bakalářské práce:

Zhodnotit možné technologie výroby součásti s posouzením jejich vhodnosti a nevhodnosti.
Vypracovat aktuální literární studii na zvolenou technologii.
Zpracovat návrh výroby součásti doložený technologickými a kontrolními výpočty.
Navrhnout a popsat tvářecí nástroj.
Zhotovit výkres nástroje s vyhotovením výkresů vybraných dílů.

Seznam doporučené literatury:

DVOŘÁK, Milan, František GAJDOŠ a Karel NOVOTNÝ. Technologie tváření: plošné a objemové tváření. 3. Brno: CERM, 2013. ISBN 978-80-214-3425-7.

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

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

TSCHAETSCH, Heinz. Metal Forming Practise: Process - Machines - Tools. 1. Springer Berlin Heidelberg, New York, 2006. ISBN 3-540-33216-2.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2020/21

V Brně, dne

L. S.

doc. Ing. Petr Blecha, Ph.D.
ředitel ústavu

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

ABSTRAKT

TESAŘ Michal: Výroba ozubeného kola.

Práce se zabývá návrhem technologie výroby ozubeného kola a požadovaná výrobní série je 80 000 kusů za rok. Po zhodnocení různých variant výroby ozubeného kola, byla vybrána metoda přesného stříhání s tlačnou hranou, na kterou je zaměřena i literární rešerše. Součástí bude vyrábění z materiálu E 295 o tloušťce 2 mm a polotovarem je svitek plechu. Součástí práce je i návrh nástroje, který je podložen technologickými i kontrolními výpočty. Jako stroj byl zvolený trojčinný lis od firmy Šmeral Brno FMB 440. V závěru práce bylo provedeno ekonomické zhodnocení.

Klíčová slova: materiál E 295, tváření, ozubené kolo, přesné stříhání, tlačná hrana

ABSTRACT

TESAŘ Michal: Production of gear wheel.

The work deals with the design of gear production technology and the required production series is 80,000 pieces per year. After evaluating various variants of gear production, the method of fine blanking with a vee-shaped was chosen, on which the literature search is also focused. The part will be made of material E 295 with a thickness of 2 mm and the semi-finished product is a coil of sheet metal. Part of the work is also the design of a tool, which is based on technological and control calculations. A three-acting press from the company Šmeral Brno FMB 440 was chosen as the machine. At the end of the work, an economic evaluation was performed.

Keywords: material E 295, forming, gear wheel, fine blanking, vee-shaped

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

TESAŘ, Michal. *Výroba ozubeného kola* [online]. Brno, 2021 [cit. 2021-05-16]. Dostupné z: <https://www.vutbr.cz/studenti/zav-prace/detail/132765>. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav strojírenské technologie. Vedoucí práce Michaela Císařová.

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 21.5.2021

.....

Podpis

PODĚKOVÁNÍ

Tímto děkuji paní Ing. Michaelle Císařové, Ph.D. za cenné připomínky a rady týkající se zpracování bakalářské práce.

OBSAH

Zadání

Abstrakt

Bibliografická citace

Čestné prohlášení

Poděkování

Obsah

ÚVOD.....9

1 ROZBOR SOUČASNÉHO STAVU10

1.1 Volba technologie výroby 11

2 PŘESNÉ STŘÍHÁNÍ14

2.1 Přesné stříhání s tlačnou hranou 16

2.2 Určení velikosti celkové síly a práce 17

2.3 Střižná vůle 18

2.4 Tlačná hrana 19

2.5 Technologičnost součásti..... 20

2.6 Nástřihový plán 22

2.7 Nástroje pro přesné stříhání 23

2.8 Používané stroje..... 26

2.9 Vady vzniklé při přeném stříhání 26

3 NÁVRH VÝROBY SOUČÁSTI27

3.3 Střižná vůle 30

3.4 Výpočet síly a práce 30

3.5 Kontrolní výpočty..... 31

3.6 Stanovení rozměrů nástroje 32

3.7 Návrh stroje 34

3.8 Návrh nástroje 35

4 EKONOMICKÉ HODNOCENÍ.....37

4.1 Náklady na materiál..... 37

4.2 Náklady na výrobu nástroje 38

4.3 Bod zvratu 38

5 ZÁVĚRY.....40

Seznam použitých zdrojů

Seznam použitých symbolů a zkratk

Seznam obrázků

Seznam tabulek

Seznam příloh

Seznam výkresů

ÚVOD [1], [5], [10], [14], [15], [18], [32], [33], [34], [37]

Existuje mnoho technologií na zpracování kovů. Jedním ze způsobů je technologie tváření, která se rozděluje na objemové a plošné, a dále zda probíhá za studena nebo za tepla. Mezi plošné tváření patří tažení, ohýbání plechů a mimo jiné i stříhání. Často se tyto procesy kombinují, aby se dosáhlo požadovaného výrobku.

Stříhání je jedna z nejrozšířenějších operací tváření. Jedná se o tváření za studena, kdy na rozdíl od ostatních metod tváření, dochází k porušení soudržnosti materiálu. Jelikož se jedná o proces tváření za studena, nenachází se ve výstřižcích tepelně ovlivněná oblast. Stříhat lze plechy, které mají mez pevnosti do 1 200 MPa. Nejvyšší střížnou plochu potom mají materiály středně tvrdé. Touto metodou se zpracovávají materiály ve formě tabulí plechu nebo ve formě svitku, které se používají jednak na přípravu polotovarů, jednak na vystřihování součástí, nebo pro výrobky další technologie a jednak na dokončovací nebo pomocné operace. Takto vyrobené součásti jsou používány ve všech oblastech strojírenství už jen proto, že dosahují vysokých přesností i kvalitu střížné plochy.

Kromě klasického stříhání existují i další operace, které se nazývají podle způsobu odstraňování materiálu. Patří sem děrování, vystřihování, ostříhávání, přistřihování atd.

Hlavní faktory pro konstrukci takovýchto výrobků jsou nejen estetičnost, funkčnost, ergonomie či ekologie, ale hlavně způsob a ekonomická stránka výroby. Součást musí být jednoduchá, musí být vysoká využitelnost a nízká cena materiálu, přiměřené nároky na drsnost, co nejmenší spotřeba speciálních nástrojů, co nejkratší doba výroby, možnost nenáročné recyklace výrobku aj. Příklady výstřižků jsou ukázány na obr. 1.



Obr. 1 Příklady výstřižků [34], [33], [32], [10]

1 ROZBOR SOUČASNÉHO STAVU [2], [3], [26], [27], [28]

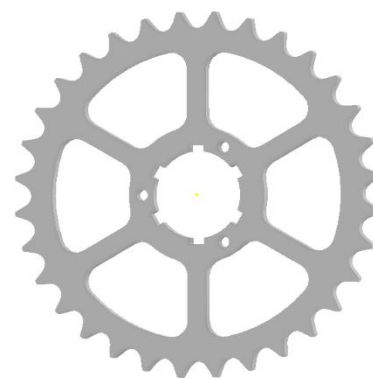
Jedná se o ploché řetězové kolo, které je největším kolem ze zadní kazety převodu jízdního kola. Tato kazeta na kolo má rozsah zubů 11 – 32 a je určena pro horská či krosová kola (obr. 2) s typem řetězu 08 B. Součást kruhového typu s největším rozměrem 134,22 mm a tloušťkou 2 mm spadá do součástí plochých s několika odlehčovacími otvory (obr. 3). Díky nutnému ozubení pro řetěz na vnějším obvodu je součást tvarově komplikovaná. Tyto plochy jsou zároveň také funkčními plochami, a proto všechny rozměry těchto ploch budou muset splňovat rozměrovou přesnost alespoň IT 7 a drsnost alespoň Ra 0,6 až 1,6 μm . U čelních ploch není požadována žádná drsnost, neboť tato část kola nespadá mezi funkční plochy, proto se může použít neopracovaný materiál.

Zadní kazeta, díky častému používání při jízdě na horském kole, je od řetězu vystavována velkému namáhání na otěr a tlak. Proto jako materiál řetězového kola byl zvolen materiál ČSN 11 500, jehož parametry jsou uvedeny v tabulce 1. Jedná se o neušlechtilou konstrukční ocel, obvyklé jakosti s vyšším obsahem uhlíku, který je maximálně 0,38 %.

Součást se bude vyrábět s velikostí výrobní série 80 000 ks/rok.



Obr. 2 Horské kolo [26]



Obr. 3 Model vyráběné součásti

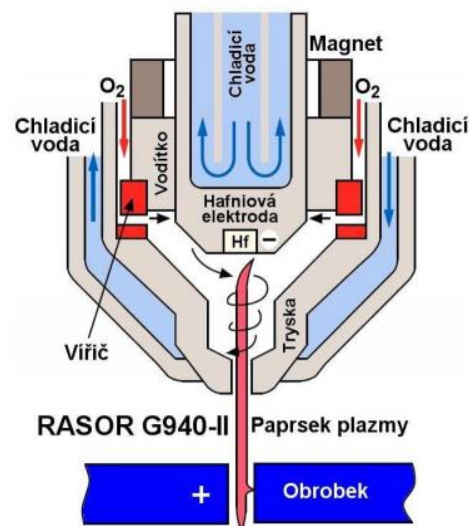
Tab. 1 Parametry materiálu ČSN 11 500 [27]

Značení oceli	ČSN	EN	DIN
		11 500	E 295
Mechanické vlastnosti	R_m [MPa]	R_e [MPa]	A_5 [%]
	610	295	20
Chemické složení	P [%]	S [%]	N [%]
	max 0,045	max 0,045	max 0,009
Technologické údaje	Popouštění 670 – 700 °C (ochlazování na vzduchu) možnost zušlechtit na mez pevnosti 700 MPa		
Použití	Strojní součásti namáhané staticky i dynamicky, u nichž se nevyžaduje svařitelnost. Strojní součásti s přirozenou tvrdostí jako čepy, kolíky, podložky, příruby, ozubená kola. Svařitelnost obtížná.		

1.1 Volba technologie výroby [17], [18], [19], [20], [23], [30], [33]

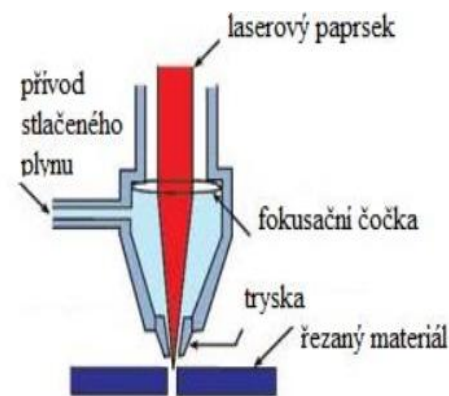
Vzhledem ke složitosti součásti a velikosti série 80 000 ks/rok, se zvolí vhodná technologie, která zaručí požadovanou kvalitu, rozměrové a geometrické požadavky na přesnost a optimální výrobní cenu.

- Řezání plazmou – plazma je vnímána jako plyn ohřátý na vysokou teplotu okolo 20 000 °C, který je tvořený atomy, elektrony a ionty. Plazma je elektricky neutrální a nejčastěji vzniká za pomoci elektrického výboje mezi anodou a katodou, který se dále mění na tepelnou energii, a tím se ohřívá materiál. Plyn je do trysky přiveden z tlakových láhví. Na obr. 4 lze vidět schéma řezání plazmou. Mezi výhody této technologie patří možnost řezání všech kovových materiálů zejména vysokolegovaných ocelí a hliníku vertikálně nebo s úkosem. Tuto metodu je snadné automatizovat a mechanizovat. Kvalita povrchu řezaných materiálů má minimální vliv na proces řezání. Tato metoda má ty nevýhody, že při řezání plazmou vznikají škodlivé dýmy a vysoká hladina hluku. A pokud tato metoda není prováděna pod vodou, vzniká i velká tepelně ovlivněná oblast ve vyřezávané součásti a nedokáže vyrobit požadovanou přesnost IT 7.



Obr. 4 Schéma řezání plazmou [30]

- Řezání laserem – (obr. 5) jedná se o nekonvenční metodu výroby, kdy lze řezat kovové i nekovové materiály s různou tloušťkou. Laserový paprsek, který je veden, tvarován a sružen do svazku, narazí do materiálu a zahřeje ho natolik, že se roztaví nebo odpaří. Tento paprsek je soustředěn do jednoho bodu (většinou menšího, než půl milimetru). Pokud se na jednom místě nahromadí více tepla, než je schopno být odvedeno, potom paprsek projde materiálem. Výroba za pomoci laserového paprsku je bezkontaktní metoda, a tudíž díky tomu nedochází k opotřebování nástroje, ani k deformacím, či poškození výrobku. Výhod tohoto způsobu je hned několik, a to například vysoká rozmanitost materiálu (od ocele, přes hliník, ušlechtilou ocel, nekovové materiály, jakožto plasty, dřevo sklo aj.), volnost obrysů (není zapotřebí rezná mezera širší, než je paprsek, jemné obrysy je možno řezat hladce a bez otřepů), kvalitní rezné hrany. Tato metoda je velmi produktivní, avšak velmi energeticky náročná. Nehodí se na velkosériovou výrobu.

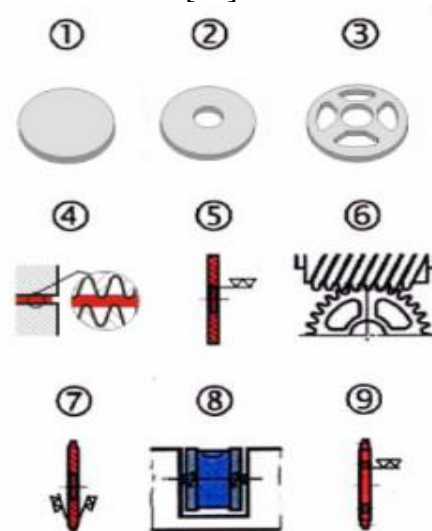


Obr. 5 Řezání laserem [20]

- Řezání vodním paprskem – princip spočívá v obrousování materiálu pomocí vysokotlakého vodního paprsku. Jeho zdrojem jsou vysokotlaká čerpadla. Vodní paprsek vzniká v řezací hlavě, která je zakončena úzkou tryskou. Tato řezací hlava je řízena pomocí CNC (obr. 6). Materiál není namáhán a ani tepelně ovlivňován, nevznikají žádné škodlivé plyny, avšak velká nevýhoda tkví v přítomnosti vody, která může způsobit korozi kovu na řezné ploše a dále je omezena možnost řezání malých dílů.
- Postupové stříhání s obráběním zubové mezery – (obr. 7) princip stříhání spočívá v působení protilehlých řezných hran, které způsobují v řezné rovině smykové napětí. Proces stříhání začíná dosednutím nástroje na stříhaný plech a končí oddělením materiálu. V první fázi dochází k pružné deformaci, kdy se materiál stlačuje a je ohýbán do otvoru střížnice. V druhé fázi se materiál deformuje plasticky. Vzniká zde napětí, které přesahuje mez kluzu a dochází k trvalé deformaci. Ve třetí fázi je materiál namáhán nad mez pevnosti ve stříhu a na hranách začínají vznikat trhlinky, které se rozšiřují tak dlouho, dokud nedojde k utržení (usmýknutí) materiálu. Po postupovém stříhání, které zajistí kruhový tvar, přijde na řadu obrábění tvaru zubu, které se může provádět frézováním dělicím způsobem (každá zubová mezera je frézovaná zvlášť) nebo frézováním odvalovacím způsobem (nástroj, který postupně vniká do obrobku, se s polotovarem kola neustále otáčí, dokud nejsou vyrobeny všechny zuby). Avšak kombinace postupového stříhání a následné obrábění zubů, z hlediska manipulace s materiálem a výrobního času, není vhodná pro tak velkou sérii, jako je požadovaných 80 000 ks/rok.
- Vysekávání – technologie vysekávání je podobná technologii stříhání. Jedná se o beztržkové dělení materiálu podél křivky stříhu, při které se používají CNC hydraulické vysekávací lisys (obr. 8). Výstrižek je zhotovován z tabule plechu, která je připevněna pomocí dvou programovatelných klapků. Obrys součásti se vytváří postupně za pomoci nástroje, který je tvořen maticí, stěračem a razníkem. Tyto stroje používají různou škálu nástrojů, které jsou uloženy v nástrojové kazetě. Jedná se například o děrovací a dělicí nástroje, které se používají pro vytváření vnitřních otvorů a vnějšího tvaru. Takto lze vyrábět poměrně složité tvarové výstrižky. Technologie je velice produktivní, avšak své uplatnění najde spíše tam, kde se vyrábí více typů výrobku v malých sériích. Navíc s rostoucí tloušťkou plechu dochází k rychlejšímu opotřebování nástrojů, které je potřeba následně vyměnit, k čemuž je nutná přítomnost kvalifikovaného personálu.



Obr. 6 Řezání vodním paprskem [23]

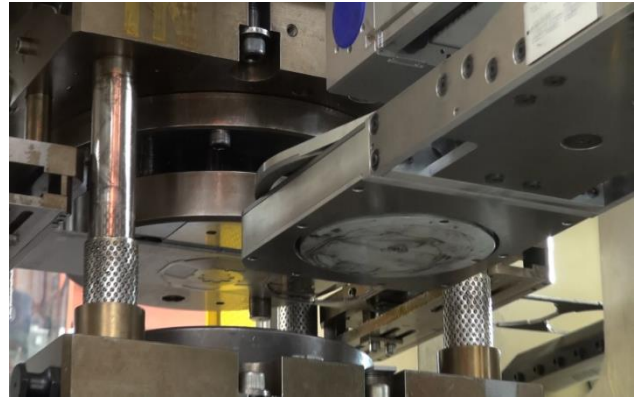


Obr. 7 Schéma výroby [1]



Obr. 8 Vysekávací stroj [33]

- Přesné stříhání – metoda přesného stříhání (obr.9) je výhodná díky vysoké tvarové a rozměrové přesnosti, u které lze dosáhnout přesnosti IT 6 až IT 9, nízké drsnosti povrchu, kolmé a hladké střížné plochy. Mnohdy je možno výstřížek použít ihned po odstranění otřepů, k montáži. Tato metoda zaručuje vyrobít součást na tzv. jeden zdvih, a proto není potřeba počítat s navýšením nákladů na pořízení dalších strojů. Díky tomu je snížen i výrobní čas součásti. Avšak nevýhodou jsou požadavky na lis a nástroj. Dále je zapotřebí i materiál, který je vhodný k tváření. Tato technologie stříhání je vhodná pro velkosériovou výrobu, neboť nástroj pro přesné stříhání je drahý, a tudíž se vyplatí u série s 40 000 kusů za rok a více.



Obr. 9 Metoda přesného stříhání [24]

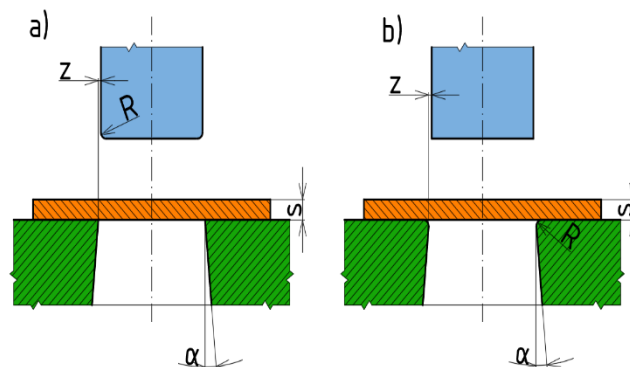
Z výše uvedených způsobů výroby byla vybrána technologie přesného stříhání, která splňuje všechny podmínky, které jsou zadány. Umožňuje vyrobít součást co nejefektivněji z hlediska času, a zároveň s ní lze dosáhnout požadované jakosti a geometrické a rozměrové přesnosti za krátký čas.

2 PŘESNÉ STŘÍHÁNÍ [1], [5], [6], [7], [9], [10], [11], [13], [15], [21]

Podstata stříhání spočívá v oddělování materiálu pomocí břitů nožů. Přesnost a kvalita střížné plochy závisí na mnoha faktorech. Mezi tyto faktory patří např. velikost střížné vůle, ostří nožů, způsob stříhání materiálu, kvalita nástroje, vlastnosti stříhaného materiálu aj. Technologie stříhání je tedy jedinou operací, kdy se záměrně směřuje k porušení materiálu.

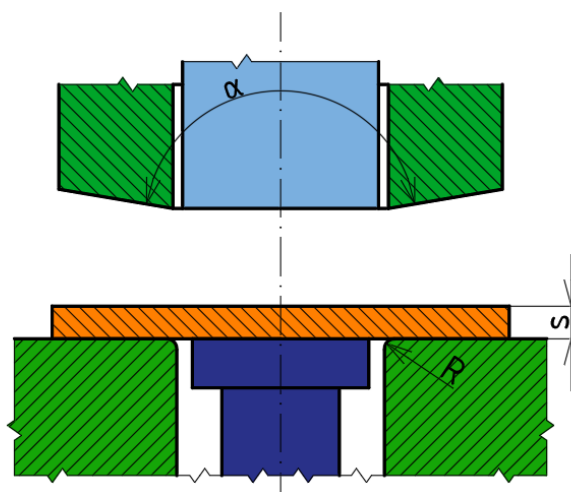
Pod pojmem technologie přesného stříhání se rozumí souhrn metod stříhání plechů a pásů ve stříhadlech, kterými lze dosáhnout kvalitní, hladké střížné plochy kolmé k rovině plechu a velmi rozměrově přesných výstřížků. Dosahovaná drsnost střížné plochy se pohybuje v rozmezí od 0,4 do 1,6 μm . Existuje několik variant technologické konstrukce pro přesné stříhání.

- Stříhání (vystřihování) se zaoblenou hranou – tato metoda eliminuje vznik střížné trhliny ve stříhaném materiálu pomocí zaoblení střížné hrany střížníku nebo střížnice. Vliv zaoblení, na jakost střížné plochy, je závislý na střížné mezeře. Čím menší je střížná mezera, tím je kvalita střížné plochy větší. Při této metodě je snaha zabránit vzniku střížné trhliny, proto se střížná mezera volí minimálně 0,01 až 0,02 mm. Doporučené je zaoblení střížné hrany s rádiusem, jehož velikost se pohybuje okolo 10 – 20 % z celkové tloušťky stříhaného materiálu, jak je možno vidět na obr. 10. V případě, že se jedná o tvarově složitější součást s ostrými přechody, volí se poloměr zaoblení 25 % z tloušťky stříhaného materiálu. Volba velikosti střížné mezery je doporučena a v praxi se běžně volí jako 0,5 % z tloušťky materiálu. Tento způsob přesného stříhání je vhodný především pro měkké oceli, mosaz nebo hliník, protože u zaoblených hran dochází k výraznějšímu opotřebení nástroje. Dále je zapotřebí navýšení střížné síly a výstřížky jsou nepatrně kuželovité. Pro děrování se volí zaoblení střížníku a pro vystřihování se volí zaoblení střížnice.



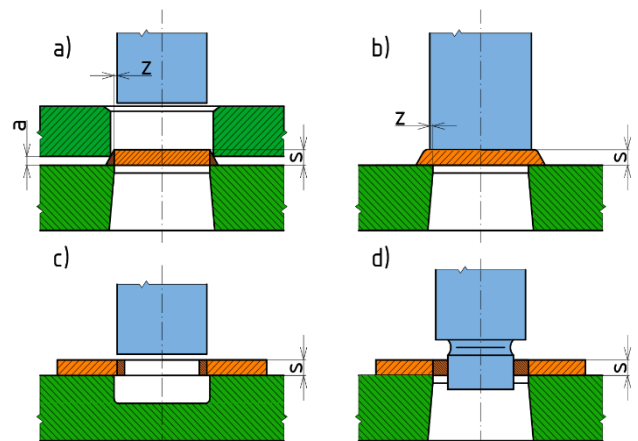
Obr. 10 Stříhání se zaoblenou hranou [13]

- Se zkoseným přidržovačem (obr. 11) – zkosený přidržovač vyvozuje dvouosou napjatost při stříhání. Vrcholový úhel přidržovače bývá $\alpha = 178^\circ 30'$. U tohoto způsobu je i mírně zaoblená střížnice, kde maximální poloměr zaoblení je 0,01 mm. Tato metoda se zřídka používá v praxi, protože je zapotřebí poměrně komplikovaného nástroje s přidržovačem ovládaným pružinami nebo za pomoci dvojčinného lisu. Je zapotřebí třech nezávislých pohybů (pohyb přidržovače, vyhazovače a střížníku).



Obr. 11 Stříhání se zkoseným přidržovačem [13]

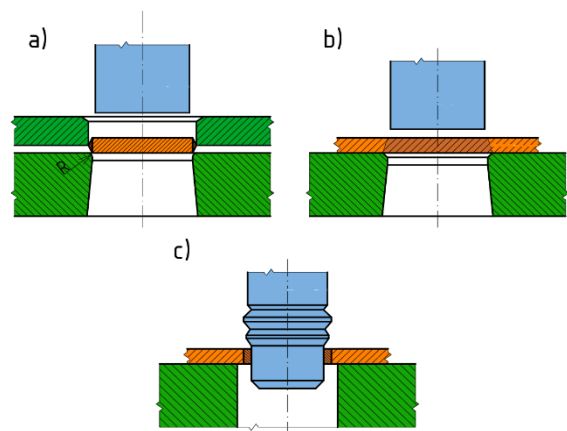
- Přistřihování – jedná se o oddělování malého množství materiálu. Cílem tohoto způsobu je dosáhnout větší přesnosti ploch a dosažení povrchu střížné plochy bez mikrotrhlinek, zpevnění a bez vnitřního napětí. V první operaci se zhotoví výstřížek s přídávky na přistřihnutí pomocí běžného střížného nástroje a následně v další operaci se tento přídavek oddělí v přistřihovacím nástroji. Obvykle stačí pouze jedna přistřihovací operace, avšak při tlustším plechu lze aplikovat i více operací. Tloušťka oddělovaného kovu je od 0,1 až po 0,5 mm. Přistřihování je možno provádět po otevřené i po uzavřené čáře stříhu. Tato technologie není vhodná pro velkosériovou výrobu. Způsoby přistřihování otvorů:



Obr. 12 Přistřihování [13]

- přistřihování vnějších otvorů s kladnou vůlí (obr. 12a),
- přistřihování vnějších otvorů se zápornou vůlí (obr. 12b),
- přistřihování vnitřních otvorů (obr. 12c),
- kombinace stříhání otvorů s přistřihováním (obr. 12d).

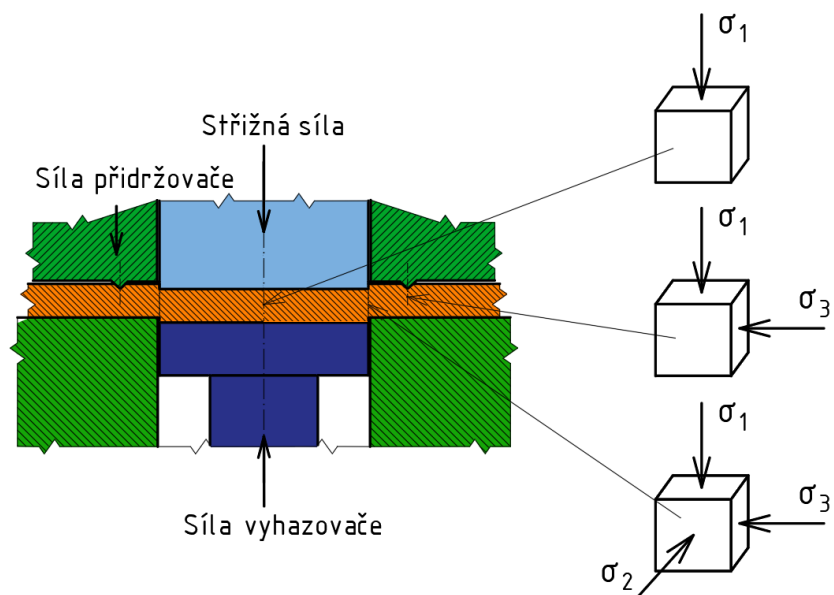
- Kalibrování – kalibrování se používá, podobně jako přistřihování, ke zlepšení jakosti střížné plochy a rozměrů součásti. Kalibrování se provádí na vnějším obrysu výstřížků, kde se výstřížek protlačí zaoblenou střížnicí (obr. 13a, b), ale i na kalibrování otvoru, kde je protlačován otvorem trn (obr. 13c). Poloměr zaoblení střížnice se pohybuje okolo 0,5 až 1,5 mm a je závislý na tloušťce plechu. Avšak kalibrování v porovnání s přistřihováním je méně přesné



Obr. 13 Kalibrování [13]

vlivem odpružení, je také zapotřebí vyvinout větší sílu. Odpružení bývá okolo 0,02 až 0,06 %. Povrch kalibrované plochy je zpevněn a okraje otvorů jsou nepatrně rozšířeny. Součásti z barevných a lehkých kovů a jejich slitin je také možno kalibrovat s použitím střížníku, který má větší rozměr než střížnice (tzv. záporná vůle), jejíž hrana je ostrá.

- S tlačnou hranou – jedná se o nejvýhodnější a nejčastěji používanou variantu přesného stříhání, při které se dosahuje nejlepší jakosti a přesnosti vyrobené součásti. Tímto způsobem lze stříhat obtížné tvary (např. ozubená a řetězová kolečka apod.). Princip této metody je založen na vytvoření trojosé napjatosti ve stříhaném materiálu a to tak, že stříhaný materiál je v počáteční fázi sevřen mezi přidržovačem a střížnicí. Všestranný tlak podporuje průběh plastického stříhu. Tlačná hrana je tím vtlačena do plechu ještě před samotným stříháním. Tlačná hrana je umístěna mimo křivku stříhu a v kombinaci malé střížné mezery dojde k trojosé napjatosti (obr. 14), a tím se rozšíří pásmo plastického stříhu. Pro stříhání zadané součásti se bude používat metoda přesného stříhání s tlačnou hranou.



Obr. 14 Schéma napjatosti u stříhání s tlačnou hranou [5]

2.1 Přesné stříhání s tlačnou hranou [5], [12], [13], [15], [16], [21], [38]

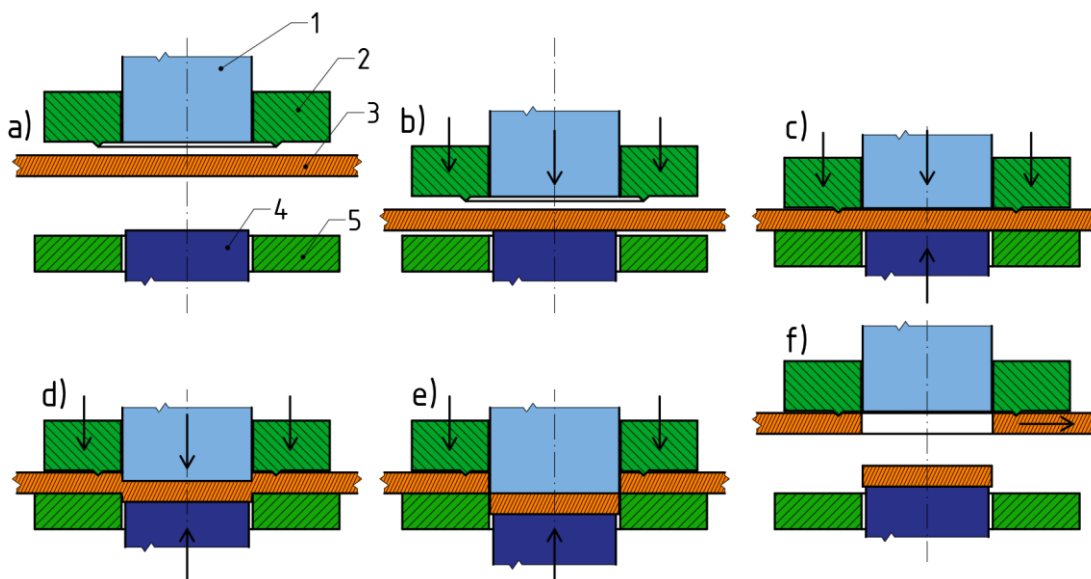
Metoda přesného stříhání s tlačnou hranou je velice produktivní metoda, a to hlavně díky tomu, že lze takto vyrobit během jedné operace součást, která by se jinak vyráběla na několik operací (vystříhování, děrování, vyrovnávání, soustružení, frézování, úprava zubů, vrtání otvorů a další). Při takto vyráběných součástech nedochází k tepelnému ovlivnění materiálu.

Vhodné jsou materiály s dobrou tvárností, tj. uhlíkové oceli měkké, mosazi, hliník a jeho slitiny.

Ovlivňující faktory pro tento způsob jsou:

- velikost střižné síly,
- tloušťka plechu,
- míra otupení nástroje,
- typ stříhaného materiálu.

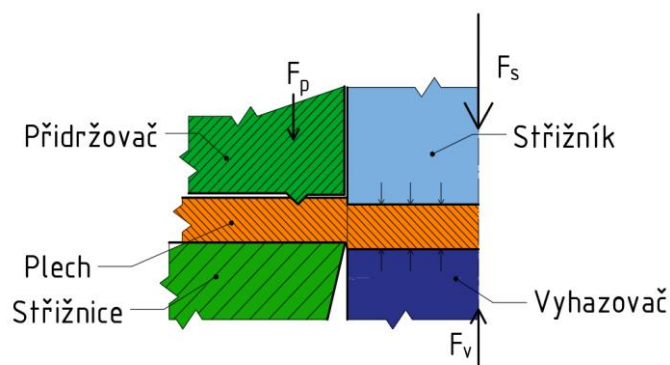
Postup přesného stříhání s tlačnou hranou se může rozdělit do šesti kroků (obr. 15). V prvním kroku se nachází nástroj v tzv. výchozí poloze. Nástroj je otevřen a stříhaný materiál (3) je mezi spodní a vrchní částí tohoto nástroje. V druhém kroku je materiál položen na střižnici (5) a horní část nástroje se postupně začíná pohybovat směrem dolů. Tento krok se označuje jako začátek stříhání. V dalším kroku se zatlačí tlačná hrana do materiálu a materiál je sevřen mezi střižník (1), střižnici, přidržovač (2) a vyhazovač (4). Následuje vlastní průběh stříhání. Po tomto průběhu je stříhání ukončeno a střižník s vyhazovačem postupně stoupají zpět do výchozí polohy. V posledním kroku je sejmут pás a výstřížek se vysune ven z nástroje.



Obr. 15 Postup přesného stříhání [21]

2.2 Určení velikosti celkové síly a práce [9], [11], [14], [15], [16], [38]

Aby se mohl stanovit lis pro určitý výstřížek, je zapotřebí určit celkovou potřebnou sílu F_c pro přesné stříhání s tlačnou hranou, která se skládá ze tří složek, viz obr. 16. Jako první složka je střížní síla F_s , která je potřebná pro ustřížení materiálu. Druhá složka F_p , je síla přidržovače, která je zapotřebí při zatlačení tlačné hrany do stříhaného materiálu a třetí složka F_v je síla vyhazovače, která působí proti střížné síle F_s a společně s ní svírá materiál.



Obr. 16 Působící síly při přesném stříhání [15]

$$F_c = F_s + F_p + F_v [N] \quad (2.1)$$

kde: F_s – střížná síla [N]

F_p – síla přidržovače [N]

F_v – síla vyhazovače [N]

Střížná síla, která je zapotřebí pro ustřížení materiálu se spočítá jako:

$$F_s = \tau_s \cdot o \cdot s \cdot n = 0,9 \cdot R_m \cdot o \cdot s \cdot n [N] \quad (2.2)$$

kde: τ_s – napětí ve stříhu [MPa]

o – obvod ve stříhu [mm]

s – tloušťka plechu [mm]

n – součinitel otupení (1,2 ÷ 1,5) [-]

R_m – mez pevnosti v tahu [MPa]

Síla přidržovače, která je zapotřebí pro zatlačení tlačné hrany do stříhaného materiálu se spočítá jako:

$$F_p = 4 \cdot R_m \cdot o_h \cdot h [N] \quad (2.3)$$

kde: o_h – délka tlačné hrany [mm]

h – výška tlačné hrany [mm]

Síla vyhazovače F_v je síla, která působí proti střížné síle F_s a společně s ní svírá materiál

$$F_v = S \cdot p \text{ [N]} \quad (2.4)$$

kde: S – plocha součásti [mm^2]
 p – měrný tlak vyhazovače ($p = (30 \div 70)$ MPa)

Celková práce A_c při přesném stříhání s tlačnou hranou se určí podobně jako střížná síla. I celková práce je totiž také tvořena třemi složkami:

$$A_c = A_s + A_p + A_v \text{ [J]} \quad (2.5)$$

kde: A_s – střížná práce [J]
 A_p – práce přidržovače [J]
 A_v – práce vyhazovače [J]

Střížná práce se spočítá jako:

$$A_s = \frac{0,48 \cdot o \cdot R_m \cdot s^2}{1000} \text{ [J]} \quad (2.6)$$

Práce přidržovače se spočítá jako:

$$A_p = \frac{2 \cdot R_m \cdot h^2 \cdot o_h}{1000} \text{ [J]} \quad (2.7)$$

A práce vyhazovače se následně spočítá jako:

$$A_v = \frac{S_v \cdot p \cdot s}{1000} \text{ [J]} \quad (2.8)$$

2.3 Střížná vůle [7], [13], [14], [25], [31]

Střížná vůle určuje rozdíl velikostí pracovních částí střížníku a střížnice. Střížná mezera (polovina střížné vůle) musí být ve všech místech střížné křivky stejná. Dále drsnost a střížná vůle spolu úzce souvisejí, neboť čím je větší střížná vůle, tím je méně dosaženo hladké plochy. Kdyby tyto podmínky nebyly splněny, začnou po obvodu vznikat povrchové trhliny, ostřiny a střížná plocha bude nekvalitní.

Střížná mezera u konvenčního stříhání se pohybuje okolo 5 až 10 % tloušťky materiálu, zatímco u přesného stříhání je její velikost 0,5 %. Na obr.17 lze porovnat velikosti střížné vůle pro běžné a pro přesné stříhání, kde je a – oblast velikosti střížné vůle pro běžné stříhání, b – oblast velikosti střížné vůle pro přesné stříhání.

Střížná vůle je dvojnásobná hodnota střížné mezery, z čehož vyplývá vzorec:

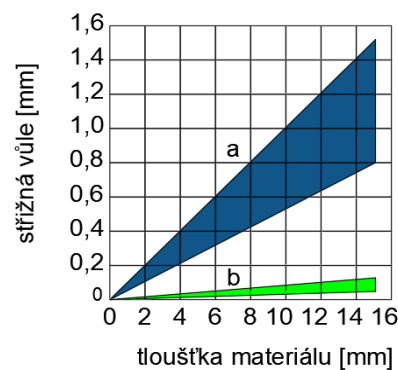
$$v = 2 \cdot z \text{ [mm]} \quad (2.9)$$

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

Střížnou mezera, popřípadě vůli, lze určit přímo z grafu (obr. 17), nebo výpočtem, kde je potřeba zohlednit tloušťku stříhaného materiálu.

Pro plechy $s \leq 3$ mm:

$$z = c \cdot s \cdot 0,32 \cdot \sqrt{\tau_s} \text{ [mm]} \quad (2.10)$$



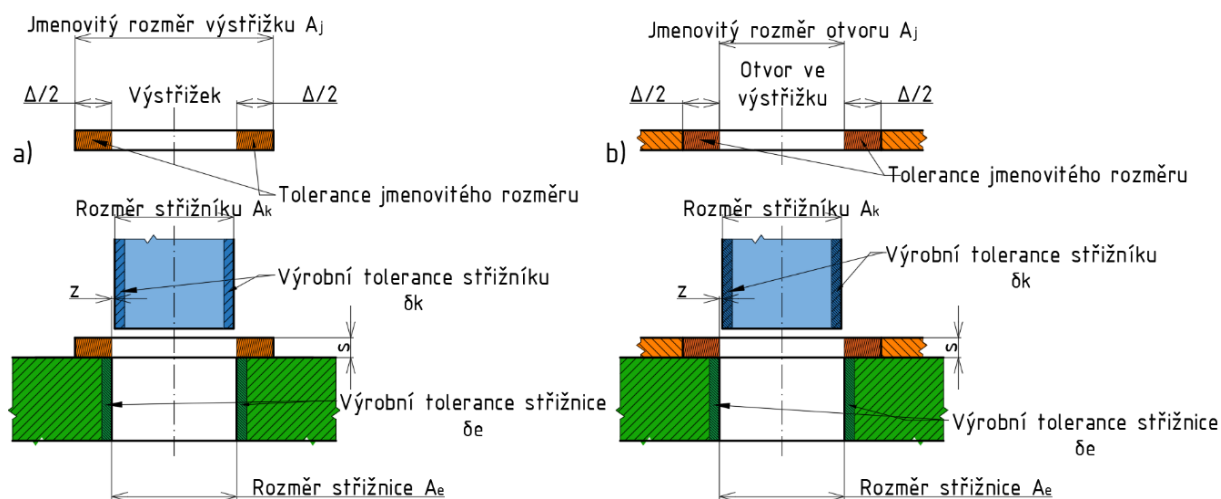
Obr. 17 Směrné hodnoty pro velikost střížné vůle [31]

Pro plechy $s > 3 \text{ mm}$:

$$z = (1,5 \cdot c \cdot s - 0,0015) \cdot 0,32 \cdot \sqrt{\tau_s} \text{ [mm]} \quad (2.11)$$

kde: c – součinitel závislý na druhu stříhání (u přesného stříhání $c = 7 \cdot 10^{-4}$) [-]

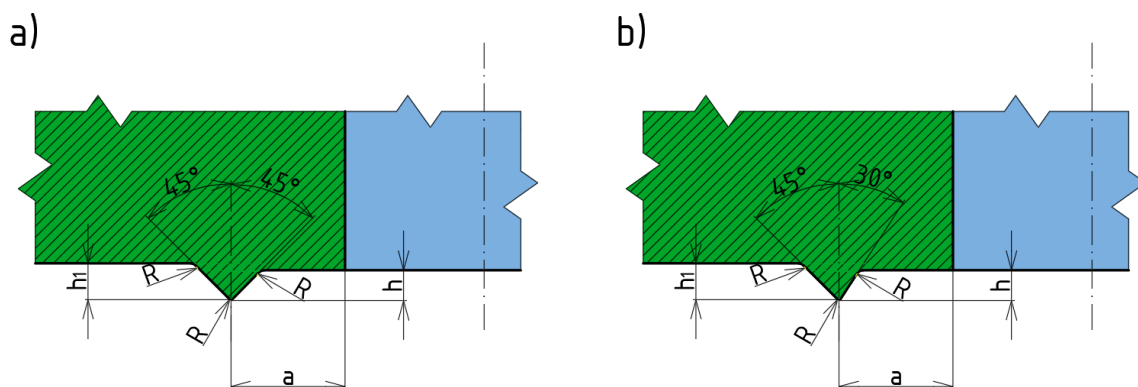
Velikost střížné vůle ovlivňuje rozměry střížníku, (popř. střížnice), a to tak, že v případě děrování se volí střížná vůle na úkor střížnice (obr. 18b). Při vystříhování se volí střížná vůle na úkor střížníku (obr. 18a).



Obr. 18 Velikost tolerančních polí při výrobě střížníku, resp. střížnice [25]

2.4 Tlačná hrana [7], [9], [11], [28], [29]

Tvar, poloha a rozměry tlačné hrany ovlivňují kvalitu střížné plochy a dále také životnost nástroje. Tlačnou hranu je možno umístit na přidržovač (při stříhání plechů do 4 mm), ale lze ji přidat i na střížnici (pro stříhání plechů tloušťky nad 4 mm). Geometrie tlačné hrany závisí zejména na tloušťce materiálu a jeho materiálových vlastnostech. V případě stříhání např. ozubených kol a dílců s ostrými úhly se zvolí tlačná hrana na střížnici i při menších tloušťkách plechu. Existují dvě varianty tvarů tlačné hrany (obr. 19).



Obr. 19 Popis tlačné hrany [11]

Pro stříhání málo tvárných materiálů se výška tlačné hrany se spočítá jako:

$$h = \frac{1}{6} \cdot s \text{ [mm]} \quad (2.12)$$

Pro stříhání dobře tvárných materiálů se výška tlačné hrany se spočítá jako:

$$h = \frac{1}{3} \cdot s \text{ [mm]} \quad (2.13)$$

$$h_1 = h + 0,05 \text{ [mm]} \quad (2.14)$$

kde: h_1 – výška odlehčení za tlačnou hranou [mm]

$$a = (0,6 \div 1,2) \cdot h \text{ [mm]} \quad (2.15)$$

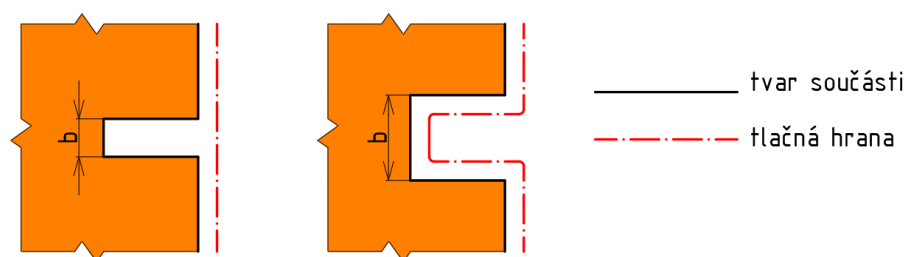
kde: a – vzdálenost tlačné hrany od křivky stříhu [mm]

Obecně se pak dá použít k určení rozměrů tlačné hrany tabulka 2, která se používá pro plechy do tloušťky 4 mm.

Tab. 2 Parametry tlačné hrany [29]

Tloušťka materiálu [mm]	a [mm]	h [mm]	h_1 [mm]	R [mm]
0,5	0,5	0,2	0,25	0,04
1,0	0,7	0,3	0,35	0,06
1,5	1,0	0,35	0,4	0,07
2,0	1,4	0,4	0,45	0,08
2,5	1,75	0,4	0,45	0,08
3,0	2,1	0,45	0,5	0,09
3,5	2,5	0,45	0,5	0,09
4,0	2,8	0,5	0,55	0,1

Poloha tlačné hrany se zvolí podle šířky zářezu (b), jak lze vidět na obr. 20. Pokud by byla šířka zářezu $b \leq 15 \cdot h$, tlačná hrana nebude kopírovat obrys součásti.



Obr. 20 Poloha tlačné hrany [29]

2.5 Technologičnost součástí [8], [9], [11], [29]

V praxi je nutno posoudit technologičnost součásti, aby se zjistilo, zda danou součást bude možné vyrobit zvolenou technologií. Při konstrukci výstřižků je vhodné se vyvarovat například ostrým přechodům, které se nahrazují různými vhodnějšími tvary, které budou splňovat stejnou funkci, například je možno je nahradit rádiusem. Popřípadě úplně změnit konstrukci součásti, za stejných podmínek tak, aby byla zachována stejná funkce. Parametry, které se kontrolují u technologičnosti tvaru součásti pro přesné stříhání:

- minimální vzdálenost mezi otvory,
- minimální průměr otvoru,
- minimální velikost poloměrů hran a rohů,
- tvar ozubení.

Nedodržením některých těchto parametrů by vedlo k velkému snížení kvality střížné plochy nebo k většímu poškození a snížení životnosti funkčních částí nástroje.

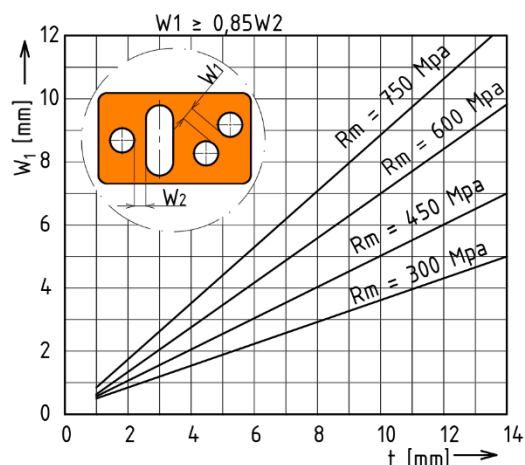
Minimální vzdálenost mezi otvory a drážkami je závislá především na tloušťce a pevnosti materiálu. Z nomogramu (obr. 21) lze určit minimální vzdálenost mezi drážkou a otvorem „ W_2 “. Následně se vzdálenost mezi dvěma otvory „ W_1 “ vypočítá jako:

$$W_1 \geq 0,85 \cdot W_2 \quad [mm] \quad (2.16)$$

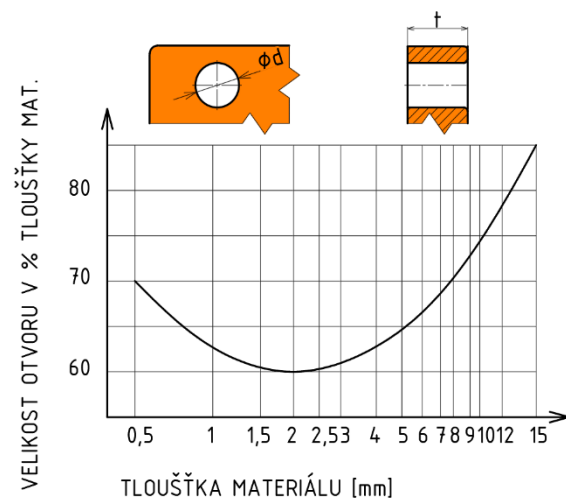
Minimální průměr otvoru u přesného stříhání je menší, než je samotná tloušťka stříhaného materiálu. Opět se určí z nomogramu (obr. 22), kde hlavním kritériem je tloušťka materiálu.

Minimální velikost poloměrů hran a rohů (obr. 23) je důležité optimálně navrhnout u součástí, neboť ostré rohy a malé poloměry zaoblení snižují životnost nástroje. V místech s ostrými rohy totiž roste riziko vzniku trhlin, a tím vznikne nekvalitní střížná plocha v těchto místech. U volby optimálního zaoblení se vychází především z vrcholového úhlu, tloušťky a pevnosti stříhaného plechu.

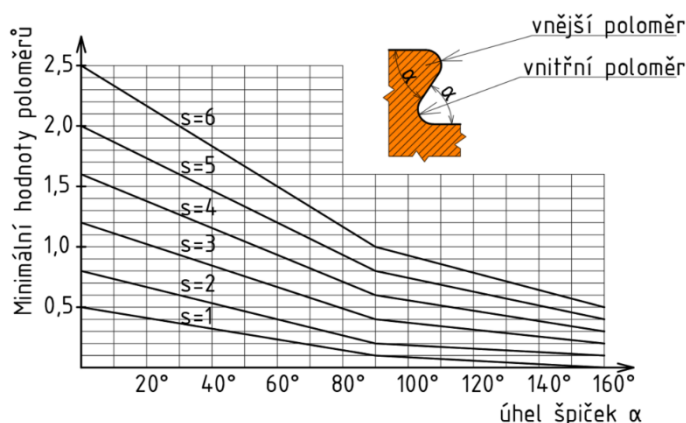
Minimální šířka zubu „ b_1 “ (obr. 24) na roztečné kružnici „ D_r “, která lze ještě vyrobit metodou přesného stříhání je 60 % tloušťky materiálu.



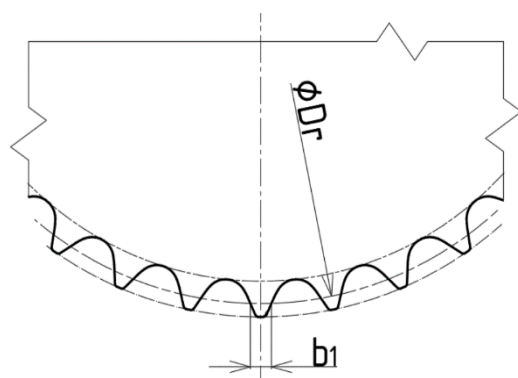
Obr. 21 Minimální vzdálenost mezi otvory [5]



Obr. 22 Minimální průměr otvoru [29]



Obr. 23 Minimální hodnoty poloměrů [29]



Obr. 24 Tvar ozubení [29]

Vhodné jsou materiály, které mají dostatečnou tvárnost za studena a nízkou mez kluzu. Touto metodou lze stříhat hliník a jeho slitiny, měď, některé druhy mosazí, cementační oceli, feritické oceli, nelegované, nízkolegované a austenitické oceli s nízkým obsahem příměsí. Vhodnost materiálu pro přesné stříhání je v tabulce 3.

Tab. 3 Vhodné materiály pro přesné stříhání [11]

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

2.6 Nástřihový plán [1], [5], [13], [22], [31]

Nástřihový plán se zabývá rozmístěním stříhaných součástí na výchozí polotovary (tj. tabule nebo svitek plechu). Cílem nástřihového plánu je stanovit maximální využití materiálu a snadnou manipulaci při vystřihování (krátký krok, více vystřižených součástí najednou atd.), popřípadě splnit jiné technologické požadavky (přesnost, vhodný směr vláken apod.). Při zpracovávání nástřihového plánu se zohledňují následující faktory:

- šířka pásu – stanoví se podle uspořádání výstřížků na pás, dále se určí velikost můstků a okrajů,
- počet kusů z pásu – stanoví se, kolik kusů se vejde na jeden pás,
- počet pásů z tabule – podle šířky pásu a tabule se určí, kolik je možno z tabule nastříhat pásů,
- počet výstřížků z tabule – určí se, kolik výstřížků je možno udělat z jedné tabule (počet kusů z jednoho pásu se vynásobí počtem pásů z jedné tabule),
- procento využití pásu – určuje nejvýhodnější variantu rozmístění výstřížků na pás plechu,
- procento využití tabule.

Čím větší se vyrábí série, tím je třeba věnovat více pozornosti hospodárnosti nástřihového plánu. Hospodárnost nástřihového plánu se vyjadřuje součinitelem využití materiálu. Součinitel využití materiálu tabule plechu je μ_t a využití materiálu u svitku je μ_{sv} .

$$\mu_t = \frac{S_{PS} \cdot n_T}{S_T} \cdot 100 \% \quad (2.17)$$

kde: S_{PS} – plocha výstřížku [mm^2]
 n_T – počet výstřížků z tabule plechu [ks]
 S_T – plocha tabule [mm^2]

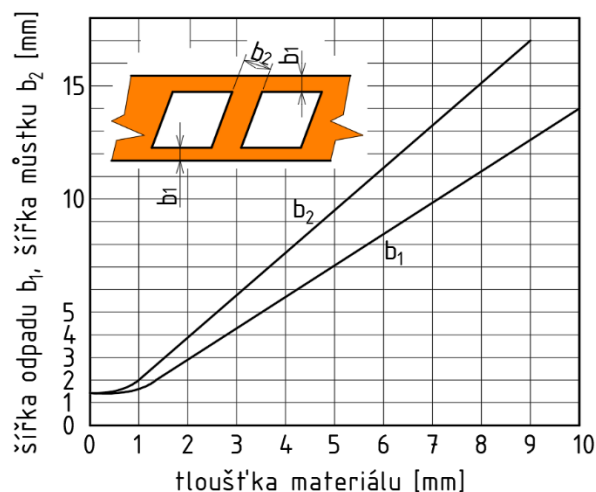
$$\mu_{sv} = \frac{S_{PS} \cdot n_S}{S_S} \cdot 100 \% \quad (2.18)$$

kde: n_S – počet výstřížků ze svitku [ks]
 S_S – plocha svitku [mm^2]

U přesného stříhání je šířka pásu a postranního odpadu větší než u konvenčního stříhání, protože je nutno počítat s místem pro vtažení tlačné hrany do stříhaného materiálu. U tvrdších materiálů je nutno volit velikost postranního odpadu a můstku větší než u měkčích materiálů, aby se mohl vyvodit dostatečný trojosý stav napjatosti.

Velikost postranního odpadu (b_1) a šířka můstku (b_2) se dá odečíst z diagramu na obr. 25.

Obecně však platí, že šířka pásu nebo pruhu plechu se rovná šířce součásti zvětšené o 3 až 4 tloušťky plechu.

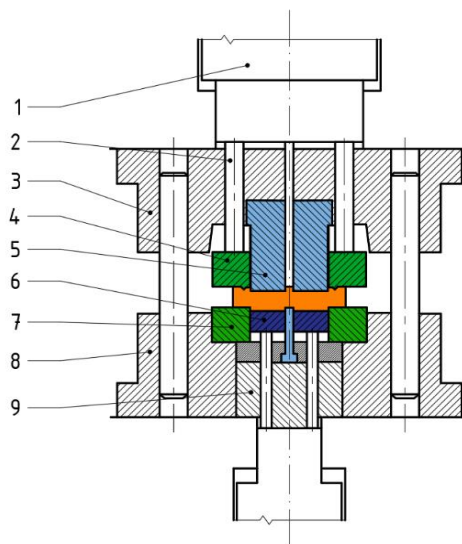


Obr. 25 Diagram pro stanovení velikosti postranního odpadu a můstku [31]

2.7 Nástroje pro přesné stříhání [4], [5], [8], [21], [35], [38]

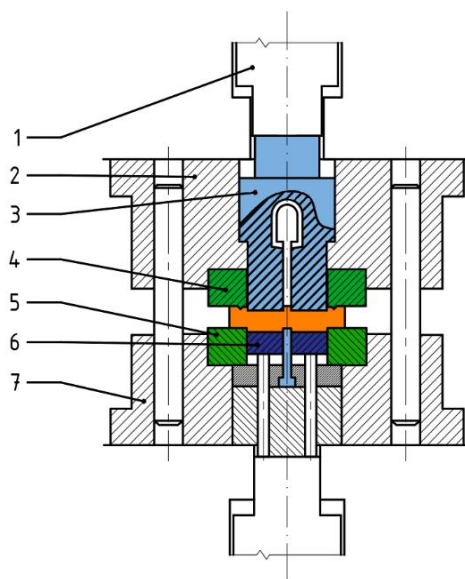
U střížných nástrojů (tzv. stříhadla) je zapotřebí zajistit jejich dostatečnou tuhost a přesnost. Jelikož se od těchto nástrojů očekává jejich vysoká přesnost a dochází zde k velkému zatížení, jsou tyto nástroje robustně sestaveny a silně vyztuženy. Střížná mezera mezi střížníkem a střížnicí je velmi malá a takto musí zůstat po každé operaci a zároveň pokaždé, když je nástroj rozebrán a znovu sestaven. Podle různé konstrukce nástrojů pro přesné stříhání se rozlišují:

- a) Nástroje s pevným střížníkem a pohyblivým přidržovačem (obr. 26) – tato varianta se používá k výrobě nesymetrických součástí nebo symetrických do tloušťky plechu 5 mm. Střížník (5) se nachází v horní části upínacího stojánu (3), kde okolo svého obvodu je obepnut přidržovačem s tlačnou hranou (4), který je za pomoci tlačných kolíků (2) připevněn k tlakovému pistu (1). Ve spodní části upínacího stojánu (8) se nachází střížnice (7), vyhazovač (6) a podložka (9). Tlakový píst, který zaručuje sevření materiálu mezi přidržovačem a střížnicí, musí vyvinout dostatečnou sílu, aby došlo k vtažení tlačné hrany. Tlakový píst slouží také k pohonu vyhazovače, který slouží jednak k vyhazování výstřižků, ale také k vyvození síly působící proti síle střížné. Nástroje jsou při stříhání velmi citlivé na příčné síly, které jsou nebezpečné, protože mohou způsobit vybočení střížníku ze směru stříhání. Lisovací síla není rovnoměrně rozprostřena na všechny tlačné kolíky, takže není zajištěna rovnoběžnost mezi střížníkem a přidržovačem.



Obr. 26 Schéma nástroje s pevným střížníkem a pohyblivým přidržovačem [21]

- b) Nástroje s pohyblivým střížníkem a pevným přidržovačem (obr. 27) – varianta se používá k výrobě drobných symetrických součástí do tloušťky 5 mm (v praxi se tato konstrukce používá v 90 %, neboť je zajištěna vyšší přesnost a vyšší trvanlivost nástroje). V horní části stojánku (2) je pevně uchycen přidržovač s tlačnou hranou (4), který je, tak jako v první variantě, umístěn okolo tentokrát pohyblivého střížníku (3), který je spojen s tlakovým pístem (1). Ve spodní části stojánku (7) je opět střížnice (5) s vyhazovačem (6).



Obr. 27 Schéma nástroje s pohyblivým střížníkem a pevným přidržovačem [21]

Všechny střížné nástroje pro přesné stříhání s tlačnou hranou se skládají ze střížníku, střížnice, vyhazovače a přitlačné desky. Jedná se o nejdůležitější části nástroje a říká se jim tzv. funkční části.

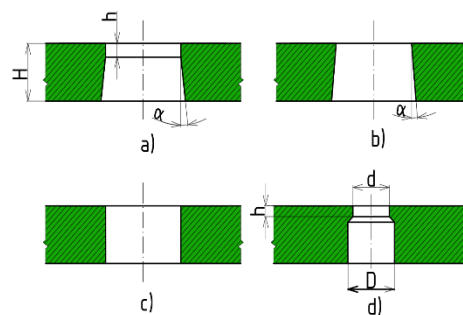
2.7.1 Střížnice [4], [5], [8], [21]

Střížnice je nejdůležitější funkční část celého nástroje, neboť má největší vliv právě na přesnost a jakost povrchu výstřížku. Střížnice je nejnákladnější část celého střížného nástroje, protože musí být zaručené přesné opracování otvoru ve střížnici. Obvyklá tloušťka střížnice odpovídá 18 až 30 mm. S ohledem na konstrukci stříhadla, tvar, rozměry a technologii výroby se střížnice rozlišují na střížnice celistvé, skládané a vložkové.

- Střížnice celistvé se skládají z jednoho kusu nástrojové oceli a používají se hlavně pro vystřihování jednoduchých tvarů a menších rozměrů.
- Střížnice skládané jsou vyrobeny z několika částí. Proto je jejich výroba snazší a přesnější. Tento typ se používá hlavně v sériové nebo hromadné výrobě. Části střížnice jsou obvykle zalisovány do měkké (nekalené) ocelové desky.
- Střížnice vložkové jsou vyrobeny z konstrukční oceli, do níž jsou zasazeny kalené vložky z nástrojové oceli (popř. slinutých karbidů), což zvýší podstatně životnost nástroje a zaručí jednoduchou výměnu poškozených částí. Vložka se nesmí vysouvat, proto je zalisována do objímky.

Provedení otvoru střížnice je buď:

- s fazetkou (obr. 28a), která se používá pro vysoké počty kusů, kde úhel α je $(3 \div 5)^\circ$,
- střížnice s úkosem (obr. 28b), kde úhel α je $(30 \div 45)^\circ$, se používá pro střední počty kusů nebo vystřihování malých částí nebo pro střední přesnost,
- střížnice bez úkosů se zhotovuje, je-li nutné, aby se výstřížky vysouvali zpět ze střížnice (obr. 28c),
- střížnice s válcově vybraným tvarem se používá pro děrování součástí s průměrem menším než 5 mm (obr. 28d).

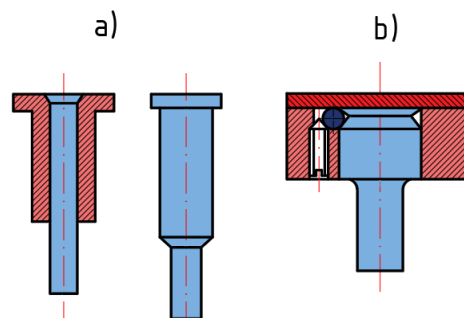


Obr. 28 Typy střížnic [8]

2.7.2 Střížník [4], [5], [8]

Rozlišují se tři části střížníku: tvarová část, hlava a dřík. Tvarová část střížníku odpovídá tvaru výstřížku. V dříku střížníku jsou otvory a vybrání pro vyhazovače, popř. pro jiné pomocné pohyblivé části stříhadla. Hlava střížníku by měla být co největší, aby byla zajištěna co největší tuhost upnutí. Dále se střížníky kontrolují na vzpěr, popřípadě na pevnost. Při ustavení nástroje je nutné, aby byl střížník buď ve stejné úrovni s plochou přidržovače nebo maximálně o 0,2 mm níže, neboť kdyby to bylo naopak, mohlo by to mít negativní dopad na kvalitu střížné plochy. Konstrukce střížníku je dána tvarem a rozměry vybrané součásti. Střížníky se rozdělují podle:

- Tvaru průřezu (kruhové, obdélníkové, čtvercové, tvarové aj.) – břity střížníků jsou kolmé k ose střížníku. Výroba a ostření střížníků je jednoduché. Malé střížníky jsou vyrobeny z jednoho kusu. U větších rozměrů je možné vyrobít funkční část z nástrojové oceli a nosnou část z konstrukční. Doporučuje se spíše konstruovat je z jednoho kusu.
- Způsobu upínání buď v upínacím pouzdru, osazením (obr. 29a), roznýtováním nebo upínáním pro rychlé vyjmutí například pomocí kuličky (obr. 29b)



Obr. 29 Typy upínání střížníků [8]

2.7.3 Přidržovač a vyhazovač [5], [8]

Při konstrukci přidržovače neboli přitlačné desky je nutno brát v potaz geometrii tvaru tlačných hran, správné předpětí a nutnost ochranných plošek proti poškození tlačných hran. Někdy se na přidržovači objevují drážky k odtoku oleje.

Vyhazovač musí lícovat do střížnice suvně, musí být zajištěn proti pootočení, vypadnutí a musí být ustavený ve střížnici tak, aby nad ní přečníval o 0,1 až 0,2 mm.

2.7.4 Materiály funkčních částí [5], [8], [29], [35]

Životnost nástroje se odvíjí převážně z životnosti funkčních částí nástroje, neboť tyto části jsou vystaveny velkému opotřebení, které vzniká v důsledku tlaku a tření. Je velmi důležité zvolit správný materiál. Na výrobu těchto částí se používají převážně nástrojové oceli třídy 19 a to nelegované, středně legované nebo vysoce legované, u nichž je požadavek na maximální odolnost proti opotřebení, únavovou pevnost, tvrdost povrchu a houževnatost, obrobiteľnost, kalitelnost a prokalitelnost. Vybrané materiály pro jednotlivé funkční části jsou napsány v tabulce 4.

Tab. 4 Doporučené materiály funkčních částí [5]

Funkční část nástroje	Materiál	Tepelné zpracování
střížnice	19 436	kaleno a popuštěno na: 61 až 63 HRC
	19 437	
střížník	19 437	59 až 61 HRC
přidržovač	19 437	55 až 57 HRC
vyhazovač	19 436	58 až 60 HRC
tlačný kolík	19 421	59 až 61 HRC
	19 422	
opěrná deska	19 436	58 až 60 HRC
zděř	19 452 - výkovek	kaleno a 2krát popuštěno na 55 až 57 HRC

2.8 Používané stroje [5], [21], [24], [35]

Pro technologii přesného stříhání se ve velkých sériích používají výhradně trojčinné lisy, které jsou vhodné právě proto, že pohyby beranu, přidržovače a vyhazovače probíhají nezávisle na sobě, a dále vyhovují právě speciálním požadavkům, které jsou potřeba pro technologii přesného stříhání s tlačnou hranou. Velice důležité je, aby byla dodržena předepsaná malá vůle, která se nesmí změnit ani při působení velkých tlaků. U vedení beranu je nutné, aby bylo prováděno bez vůle, proto se ukládá valivě s předpětím. Beran musí být přestavitelný, s možností jemné regulace konečné polohy.

Při zhotovování větší série se volí lis, který bude namáhán maximálně z 90 % své maximální síly, aby nedošlo k jeho poškození a byla dodržena určitá bezpečnost. Dále je zapotřebí zkontrolovat maximální síly přidržovače a vyhazovače, aby byly v přípustném poměru k jmenovité síle lisu, tj. síla přidržovače maximálně 40 % a síla vyhazovače maximálně 20 % dovoleného zatížení lisu.

Síla, která je vyvinuta u přesného stříhání je několikanásobně vyšší než síla, která je potřebná u běžného stříhání. Tento fakt je nutný zahrnout při volbě lisu.

Důležité je, aby se jednotlivé součásti stroje namáhaly pouze pružně. Pokud by těmto deformacím nešlo zabránit, tak mohou působit nepatrně pouze ve směru stříhu. Právě proto jsou tyto stroje masivní a mají uzavřenou konstrukci, v opačném případě by totiž docházelo k přesazení mezi horní a dolní polovinou nástroje.

2.9 Vady vzniklé při přesném stříhání [8], [35]

Vady, které mohou vzniknout při přesném stříhání, je hned několik. Například vznikne trhlinka ve střížné ploše, která je zapříčiněná nízkou tlačnou hranou nebo nevhodně zvoleným materiálem. Nebo je například část střížné plochy odlomena. Tato vada vznikne příliš velkou střížnou vůlí a na odstranění této závady je zapotřebí vyrobít nový střížník. Také může vzniknout na střížné ploše příliš velká ostřína, která může vzniknout například malou střížnou vůlí, nebo rezná část střížníku je poškozena. Dále může být výstřížek například prohnutý nebo zkroucený atd.

Nejčastěji příčinou vady je špatně zvolený materiál, špatně zvolená střížná vůle nebo třeba nízký tlak přidržovače. Dále to může být špatně zkonstruovaný nástroj, kde je například špatné zaoblení střížnice, ať je buď velké nebo malé. Vady, které mohou vzniknout se dají odstranit změnou materiálu, zvolit jinou vůli atd. Nejčastější chyby, které mohou vzniknout jsou uvedeny v příloze 1.

3 NÁVRH VÝROBY SOUČÁSTI

Součást bude vyráběna z materiálu ČSN 11 500 o tloušťce plechu 2 mm. Jedná se o tvarově složitý výstřižek, proto bude potřeba nejprve určit jeho technologičnost konstrukce, zda bude možné součást vyrobit. Všechny řešené rozměry jsou vidět na obr. 30.

- Minimální vzdálenost mezi drážkou a otvorem (W_2) dle nomogramu (obr. 21) je 1,5 mm pro materiál s mezí pevnosti 600 MPa a s tloušťkou plechu 2 mm. A dosazením do rovnice 2.16 se zjistí minimální vzdálenost mezi dvěma otvory (W_1):

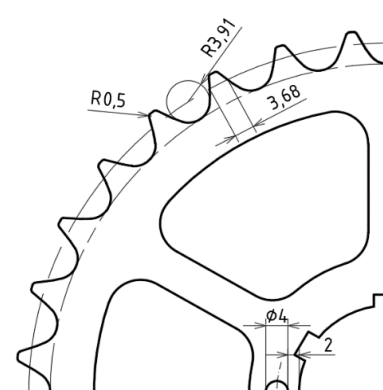
$$W_1 \geq 0,85 \cdot 1,5 [mm]$$

$$W_1 \geq 1,275 mm$$

U zadané součásti je minimální vzdálenost 2 mm, a tudíž tato podmínka je splněna

- Minimální průměr otvoru (obr. 22), který lze zhotovit u tlouštěk plechu 2 mm, se stanoví jako 60 % z tloušťky materiálu, což odpovídá 1,2 mm. Nejmenší otvor na výstřižku je 4 mm, tudíž otvor lze vyrobit.
- Minimální velikost poloměrů hran se určí podle nomogramu (obr. 23) a lze tedy z něj vyčíst, že tato hodnota je R 0,2. Zadaná součást má nejmenší poloměr zaoblení na zubu, která je R 0,5, a tedy zadaná součást splňuje tuto podmínku.
- Tvar ozubení bude velice náročný na stříhání a je potřeba jej prověřit. Pokud by byla šířka zubu na roztečné kružnici menší, než je tloušťka plechu, budou zuby velmi namáhané (obr. 24). Minimální šířka zubu na roztečné kružnici, která lze ještě vyrobit metodou přesného stříhání je 60 % tloušťky materiálu, což odpovídá 1,2 mm. Šířka zubu na roztečné kružnici je 3,68 mm, tudíž i tento požadavek je splněn.

Součást splňuje všechny požadavky na technologičnost konstrukce a lze ji tak vyrobit.

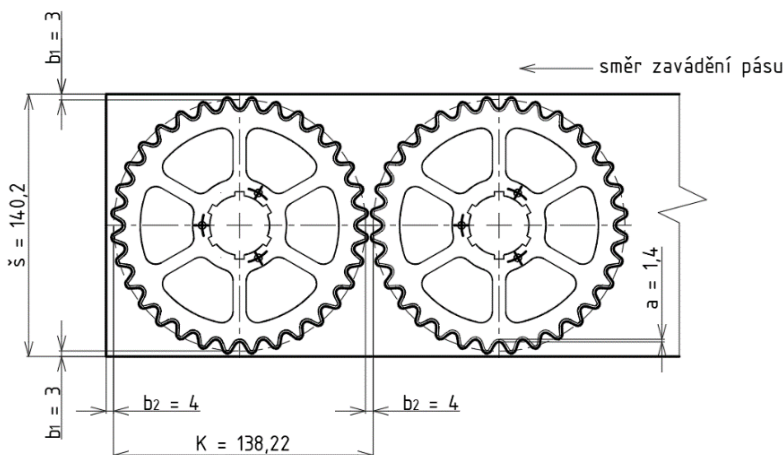


Obr. 30 Řešené rozměry

3.1 Technologické výpočty

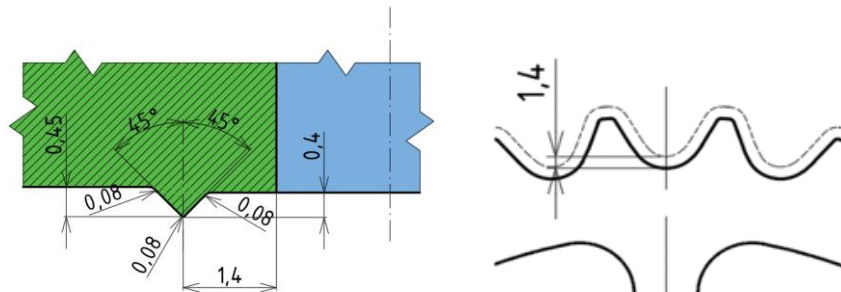
Pro sestavení nástřihového plánu je důležité zvolit velikost můstku a velikost postranního odpadu. Tyto hodnoty se stanoví přímo z diagramu (obr. 25).

Postranní odpad v tomto případě je 3 mm (b_1) a velikost můstku je 4 mm (b_2). Z tohoto vyplývá, že velikost kroku bude šířka součásti zvětšená o velikost můstku, tj. 138,22 mm (K). A šířka pásu (\check{s}) je velikost součásti zvětšená o dvě hodnoty postranního odpadu, což odpovídá velikosti 140,2 mm (obr. 31).



Obr. 31 Nástřihový plán

Při stříhání ozubeného kola byla zvolena tlačná hrana na přídržovači i na střížnici. Rozměry tlačné hrany jsou určeny z tabulky 2. Vzdálenost tlačné hrany od výstřižku je 1,4 mm (a), výška tlačné hrany je 0,4 mm (h), rádius zaoblení činí 0,08 mm (r) a výška odlehčení za tlačnou hranou je 0,45 mm (h₁). Tvar a vedení tlačné hrany okolo ozubení lze vidět na obr. 32.



Obr. 32 Tvar a vedení tlačné hrany

3.2 Nástřihový plán

Podle nástřihového plánu, se ověřuje ekonomická stránka využitelnosti plechu. Zhodnotí se zde využitelnosti materiálů ze standardizovaných plechů (1000 x 2000 mm, 1250 x 2500 mm, 1500 x 3000 mm) a svitku plechu, který bude mít přesnou šířku, a následně se vybere nejvýhodnější varianta.

Názorná ukázka výpočtu pro první případ varianty nástřihového plánu:

První varianta bude počítána jako varianta nástřihového plánu na tabuli plechu o rozměrech: 1000 x 2000 mm ($l_p \times š_p$), kde bylo umístění výstřižků zvoleno podélně. Jelikož výpočty ve všech variantách jsou podobné, vypočtené hodnoty jednotlivých možností budou uvedeny v tabulce 5.

Nejprve se stanoví počet pásů z jedné tabule, který se stanoví jako:

$$n_p = \frac{š_p}{š} = \frac{1000}{140,2} = 7,131 \text{ ks} \quad (3.1)$$

kde: $š_p$ – šířka tabule plechu [mm]
 $š$ – šířka pásu plechu [mm]

Tímto výpočtem se stanovilo, že pás bude rozdělen pomocí tabulových nůžek na 7 ks pásů plechu.

Dále se určí, kolik výstřižků se vejde na jeden pás:

$$n_{pD} = \frac{l_p}{K} = \frac{2000}{138,22} = 14,47 \text{ ks} \quad (3.2)$$

kde: l_p – délka tabule plechu [mm]
 K – velikost kroku [mm]

Počet výstřižků, který se vejde na jeden pás je 14 ks.

Když už je známý počet dílů na jeden pás a počet pásů z jedné tabule, stanoví se počet dílů z jedné tabule plechu:

$$n_T = n_p \cdot n_{pD} = 7 \cdot 14 = 98 \text{ ks} \quad (3.3)$$

Celkový počet výstřižků v první variantě, je tedy 98 ks z jedné tabule plechu.

Aby se zjistila celková využitelnost tabule plechu, musí se stanovit plocha jednoho plného dílu, tj. plocha součásti, bez odečtených ploch děr, která byla stanovena pomocí počítačového programu Autodesk Inventor 2020:

$$S_{PS} = 12591,7 \text{ mm}^2$$

Celková plocha tabule:

$$S_T = \check{s}_p \cdot l_p = 1000 \cdot 2000 = 2\,000\,000 \text{ mm}^2 \quad (3.4)$$

V poslední řadě se stanoví ekonomické využití tabule plechu dle vztahu 2.17:

$$\mu_t = \frac{S_{PS} \cdot n_T}{S_T} \cdot 100 \% = \frac{12591,7 \cdot 98}{2000000} \cdot 100 \% = 61,70 \%$$

Ekonomické využití tabule plechu v první variantě, kde byl výstřížek umístěn příčně po délce tabule plechu, je 61,70 %.

Další varianta zhodnotí využitelnost materiálu, pokud bude součást stříhána ze svitků plechu o délce $l_s = 300 \text{ m}$.

Celková plocha svitku se spočítá jako:

$$S_s = \check{s} \cdot l_s = 140,22 \cdot 300\,000 = 42\,066\,000 \text{ mm}^2 \quad (3.5)$$

kde: S_s – plocha svitku [mm^2]
 l_s – délka svitku [mm]

Počet výstřížků z celého svitku:

$$n_s = \frac{l_s - l_o - 2 \cdot b_2}{K} = \frac{300000 - 100 - 2 \cdot 4}{138,22} = 2169,67 \text{ ks} \quad (3.6)$$

kde: l_o – délka odpadu pro zavedení pásu [mm]

Bylo vypočteno, že ze svitku se vyrobí 2169 ks výstřížků.

Využití ze svitku se spočítá dosazením do vztahu 2.18:

$$\mu_{sv} = \frac{S_{PS} \cdot n_s}{S_s} \cdot 100 \% = \frac{12591,7 \cdot 2169}{42066000} \cdot 100 \% = 64,92 \%$$

Ekonomické využití svitku plechu u stříhání zadané součásti vyšlo 64,92 %.

Tab. 5 Ekonomické využití materiálu

Polotovar	Uspořádání	Rozměry plechu [mm]	Počet výstřížků z plechu [ks]	Využitelnost plechu [%]
Tabule plechu	Podélné	1 000 x 2 000	98	61,70
	Příčné		98	61,70
	Podélné	1 250 x 2 500	136	54,80
	Příčné		136	54,80
	Podélné	1 500 x 3 000	210	58,78
	Příčné		210	58,76
Svítek		140,22 x 300 000	2108	64,92

Z tabulky 5 lze vidět, že nejvíce materiálu bude využito u svitku, kde využitelnost plechu je 64,92 %. Způsob podávání pásu svitku bude takový, že svitek se umístí do jednostranného odvíjáku a odtud bude odvíjen přes rovnačku až přímo do stroje. Pás projde skrz stroj, ve kterém na jedno zvednutí nástroj zhotoví výstřížek. Pás poté je dopraven k děliči, kde je rozstříhán a odvezen.

3.3 Střížná vůle

Střížná vůle se dá určit několika způsoby. Mezi tyto způsoby patří například dosazení do vztahu 2.10, který určí střížnou mezeru pro plechy o tloušťce $s \leq 3$ mm:

$$z = c \cdot s \cdot 0,32 \cdot \sqrt{\tau_{ps}} = 7 \cdot 10^{-4} \cdot 2 \cdot 0,32 \cdot \sqrt{488} = 0,0099 \text{ mm}$$

V běžné praxi se střížná mezera určuje jako 0,5 % z tloušťky materiálu:

$$z = 0,5 \% \cdot s = 0,005 \cdot 2 = 0,01 \text{ mm} \quad (3.7)$$

Z těchto výsledků lze konstatovat, že střížná mezera je po zaokrouhlení stejná, proto byla stanovena jako $z = 0,01$ mm. Střížná vůle, po dosazení do vztahu 2.9, je dvojnásobná hodnota střížné mezery:

$$v = 2 \cdot z = 2 \cdot 0,01 = 0,02 \text{ mm}$$

Střížná vůle, se kterou se bude dále počítat, je $v = 0,02$ mm.

3.4 Výpočet síly a práce

Při výpočtu střížné síly je nutno určit celkovou délku stříhu o , která byla změřena pomocí softwarového programu Inventor 2020, a dále se stanoví součinitel otupení n , který se pohybuje v rozmezí $n = 1,1 - 1,5$. Bude se počítat s variantou, kde tento součinitel bude roven $n = 1,3$.

Střížná síla se stanoví ze vztahu 2.2 jako:

$$F_s = \tau_s \cdot o \cdot s \cdot n = 549 \cdot 1444 \cdot 2 \cdot 1,3 = 2061167 \text{ N}$$

Síla přidržovače se spočítá dle vztahu 2.3:

$$F_p = 4 \cdot R_m \cdot o_h \cdot h = 4 \cdot 610 \cdot 616,3 \cdot 0,4 = 601509 \text{ N}$$

Síla vyhazovače se spočítá za pomoci vztahu 2.4:

$$F_v = S \cdot p = 12591,7 \cdot 70 = 881419 \text{ N}$$

$$F_c = F_s + F_p + F_v = 2061167 + 601509 + 881419 = 3544095 \text{ N}$$

Celková střížná síla, po dosazení do vztahu 2.1, na kterou se bude dimenzovat stroj, se kterým bude prováděno stříhání, je necelých 3600 kN.

Střížná práce se stanoví ze vztahu 2.6:

$$A_s = \frac{0,48 \cdot o \cdot R_m \cdot s^2}{1000} = \frac{0,48 \cdot 1444 \cdot 610 \cdot 2^2}{1000} = 1691,2 \text{ J}$$

Práce přidržovače se spočítá dle vztahu 2.7:

$$A_p = \frac{2 \cdot R_m \cdot h^2 \cdot o_h}{1000} = \frac{2 \cdot 610 \cdot 0,4^2 \cdot 616,3}{1000} = 120,3 \text{ J}$$

Práce vyhazovače se vypočítá pomocí vztahu 2.8:

$$A_v = \frac{S \cdot p \cdot s}{1000} = \frac{12591,7 \cdot 70 \cdot 2}{1000} = 1762,8 \text{ J}$$

A následně celková střížná práce se stanoví ze vztahu 2.5 jako:

$$A_c = A_s + A_p + A_v = 1691,2 + 120,3 + 1762,8 = 3574,3 \text{ J}$$

3.5 Kontrolní výpočty [9]

Kontrola střížníku na tlak a vzpěr se provádí u střížníku s nejmenším průřezem. V tomto případě se jedná o střížník, který bude děrovat díru o průměru 4 mm. Nejprve se provede kontrola pevnosti střížníku. Vypočtená hodnota se porovná s hodnotou dovoleného namáhání na tlak, která je 2000 MPa. Také bude zkontrolována kritická délka střížníku l_{krit} , z důvodu možnosti prohnutí či zlomení nástroje.

Nejprve bude potřeba zjistit, jakou střížnou silou střížník působí na stříhaný materiál:

$$F_{s1} = n \cdot o_{s1} \cdot s \cdot \tau_s = 1,5 \cdot 12,57 \cdot 2 \cdot 549 = 20702,8 \text{ N}$$

kde: o_{s1} – obvod řešeného střížníku [mm]

$$\sigma_d = \frac{F_{s1}}{S_{s1}} = \frac{F_{s1}}{\frac{\pi \cdot d_{s1}^2}{4}} < \sigma_{dov} \quad (3.8)$$

$$\sigma_d = \frac{20702,8}{\frac{\pi \cdot 4^2}{4}} = 1647,5 \text{ MPa} < 2000 \text{ MPa}$$

kde: S_{s1} – plocha řešeného střížníků [mm²],

d_{s1} – průměr řešeného střížníku [mm],

σ_{dov} – dovolené namáhání v tlaku [MPa].

Z výše vypočteného výsledku dovoleného zatížení vyplývá, že v průběhu stříhání nedojde k jeho poškození.

Dále se určí, zda střížník (po osazení bude mít 6 mm) bude potřebovat opěrnou kalenou desku, aby nedocházelo k otlacení upínací části střížníku do podložky. Dovolené napětí pro otlacení je 180 MPa.

$$\sigma_{od} = \frac{F_{s1}}{S_{os1}} = \frac{F_{s1}}{\frac{\pi \cdot d_{os1}^2}{4}} = \frac{20702,8}{\frac{\pi \cdot 5^2}{4}} = 1054,4 \text{ MPa} \quad (3.9)$$

kde: S_{os1} – plocha průřezu osazení [mm²],

d_{os1} – průměr osazení [mm].

Z výše vypočteného výsledku vyplývá, že při konstrukci nástroje je třeba počítat s kalenou opěrnou deskou.

Kritická délka střížníku je dána vztahem:

$$l_{krit} = \sqrt{\frac{4 \cdot \pi^2 \cdot E \cdot I}{\mu_s^2 \cdot d \cdot s \cdot \tau_s}} \text{ [mm]} \quad (3.10)$$

kde: E – modul pružnosti v tahu (u oceli $E = 2,1 \cdot 10^5$ MPa),

I – moment setrvačnosti určitého průřezu (u kruhu $I = \frac{\pi \cdot d^4}{64}$) [mm⁴].

Dle vztahu 3.10 se spočítá kritická délka střížníku se zvoleným koeficientem bezpečnosti 1,5:

$$l_{krit} = \sqrt{\frac{4 \cdot \pi^2 \cdot E \cdot \frac{\pi \cdot d_{s1}^4}{64}}{\mu_s^2 \cdot d \cdot s \cdot \tau_s}} = \sqrt{\frac{4 \cdot \pi^2 \cdot 2,1 \cdot 10^5 \cdot \frac{\pi \cdot 4^4}{64}}{1,5^2 \cdot 4 \cdot 2 \cdot 549}} = 102,67 \text{ mm}$$

Po dosazení hodnot vyšlo, že kritická délka střížníku je 102,67 mm.

Kontrola tloušťky střížnice na ohyb:

$$H = \sqrt{\left(1 - \frac{2}{3} \cdot \frac{D_0}{D_1}\right) \cdot \frac{1,5 \cdot F_s}{\sigma_{střdov}}} = \sqrt{\left(1 - \frac{2}{3} \cdot \frac{121,82}{200}\right) \cdot \frac{1,5 \cdot 2378268}{2100}} = 31,89 \text{ mm} \quad (3.11)$$

kde: D_0 – vnitřní průměr střížnice [mm],
 D_1 – vnější průměr střížnice [mm],
 $\sigma_{střdov}$ – dovolené namáhání v ohybu (pro ocel 19 436 $\sigma_{střdov} = 2100$ MPa).

Nejmenší tloušťka střížnice může být 31,89 mm, vzhledem k určité bezpečnosti bude zvolena střížnice o tloušťce 33 mm

3.6 Stanovení rozměrů nástroje [22], [25]

Stanovení rozměrů funkčních částí nástroje (střížník a střížnice) se určuje dle normy ČSN 22 6015. Pro určení rozměrů nástroje při děrování se vychází ze vzorců:

Pro střížnici:

$$A_e = \left(A_j + \frac{P}{2} + v\right)^{+\delta_e} \quad [mm] \quad (3.12)$$

kde: A_e – jmenovitý rozměr střížnice [mm]
 A_j – jmenovitý rozměr výstřížku [mm]
 P – přípustná míra opotřebení [mm]
 δ_e – tolerance střížnice [mm]

Pro střížník:

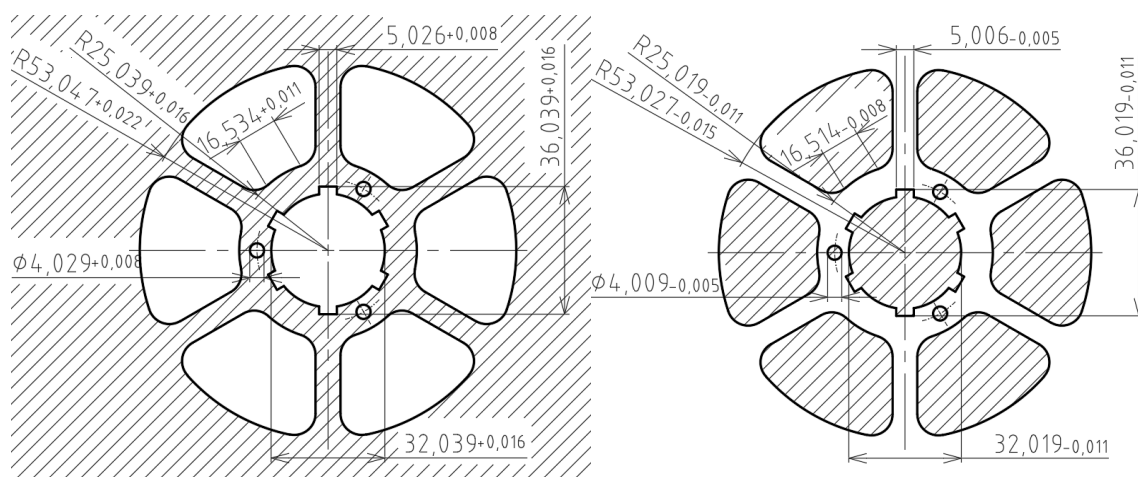
$$A_k = \left(A_j + \frac{P}{2}\right)_{-\delta_k} \quad [mm] \quad (3.13)$$

kde: A_k – jmenovitý rozměr střížníku [mm]
 δ_k – tolerance střížníku [mm]

Po dosazení pro konkrétní rozměry, které jsou v tabulce 6 a zobrazeny na obr. 33.

Tab. 6 Konkrétní rozměry střížníků a střížnice při děrování

A_j [mm]	P [mm]	δ_e [mm]	δ_k [mm]	v [mm]	A_e [mm]	A_k [mm]
Ø4	0,018	0,008	0,005	0,02	4,029 ^{+0,008}	4,009 _{-0,005}
16,5	0,027	0,011	0,008	0,02	16,534 ^{+0,011}	16,514 _{-0,008}
R53	0,054	0,022	0,015	0,02	53,047 ^{+0,022}	53,027 _{-0,015}
R25	0,039	0,016	0,011	0,02	25,039 ^{+0,016}	25,019 _{-0,011}
5	0,012	0,008	0,005	0,02	5,026 ^{+0,008}	5,006 _{-0,005}
32	0,039	0,016	0,011	0,02	32,039 ^{+0,016}	32,019 _{-0,011}
36	0,039	0,016	0,011	0,02	36,039 ^{+0,016}	36,019 _{-0,011}



Obr. 33 Rozměry při děrování

Pro určení rozměrů u nástroje při vystřihování se vychází ze vzorců:

Pro střížnici:

$$A_e = \left(A_j - \frac{P}{2} \right)^{+\delta_e} \quad [mm] \quad (3.14)$$

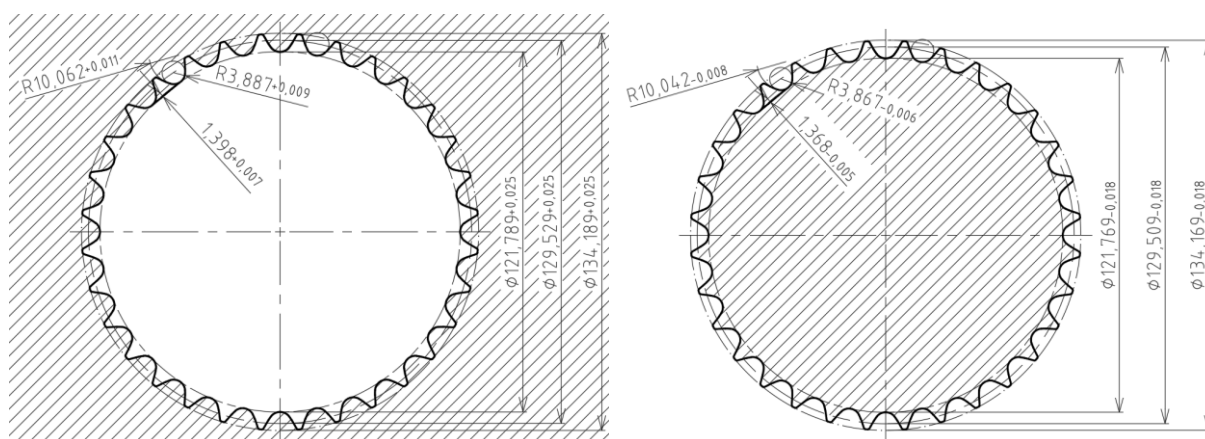
Pro střížník:

$$A_k = \left(A_j - \frac{P}{2} - v \right)_{-\delta_k} \quad [mm] \quad (3.15)$$

Po dosazení pro konkrétní rozměry, které jsou v tabulce 7 a jsou zakresleny na obr. 34.

Tab. 7 Konkrétní rozměry střížníků a střížnice při vystřihování:

A_j [mm]	P [mm]	δ_e [mm]	δ_k [mm]	v [mm]	A_e [mm]	A_k [mm]
Ø134,22	0,063	0,025	0,018	0,02	134,189 ^{+0,025}	134,169 _{-0,018}
Ø129,56	0,063	0,025	0,018	0,02	129,529 ^{+0,025}	129,509 _{-0,018}
Ø121,82	0,063	0,025	0,018	0,02	121,789 ^{+0,025}	121,769 _{-0,018}
1,398	0,014	0,007	0,005	0,02	1,382 ^{+0,007}	1,362 _{-0,005}
R3,898	0,022	0,009	0,006	0,02	3,887 ^{+0,009}	3,867 _{-0,006}
R10,075	0,027	0,011	0,008	0,02	10,062 ^{+0,011}	10,042 _{-0,008}



Obr. 34 Rozměry při vystřihování

3.7 Návrh stroje [24]

U volby stroje je nutno zohlednit spočítanou celkovou střižnou sílu, která je 3600 kN. Dále je zapotřebí zohlednit šířku plechu, která činí 140,2 mm a tloušťku plechu, která je 2 mm. Těmto požadavkům vyhovuje trojčinný hydraulický lis FMB 440 od firmy Šmeral, jehož parametry jsou v tabulce 8. Tvářecí stroje FBM jsou hydraulické stroje pro přesné stříhání plechu se spodním pohonem. Hydraulický lis od firmy Šmeral lze vidět na obr. 35. Z důvodu nadměrně velkého zdvihu stroje, lze nástroj vypodložit a zredukovat zdvih ze 150 mm na 50 mm.

Tab. 8 Technické parametry lisu FMB 440 [24]

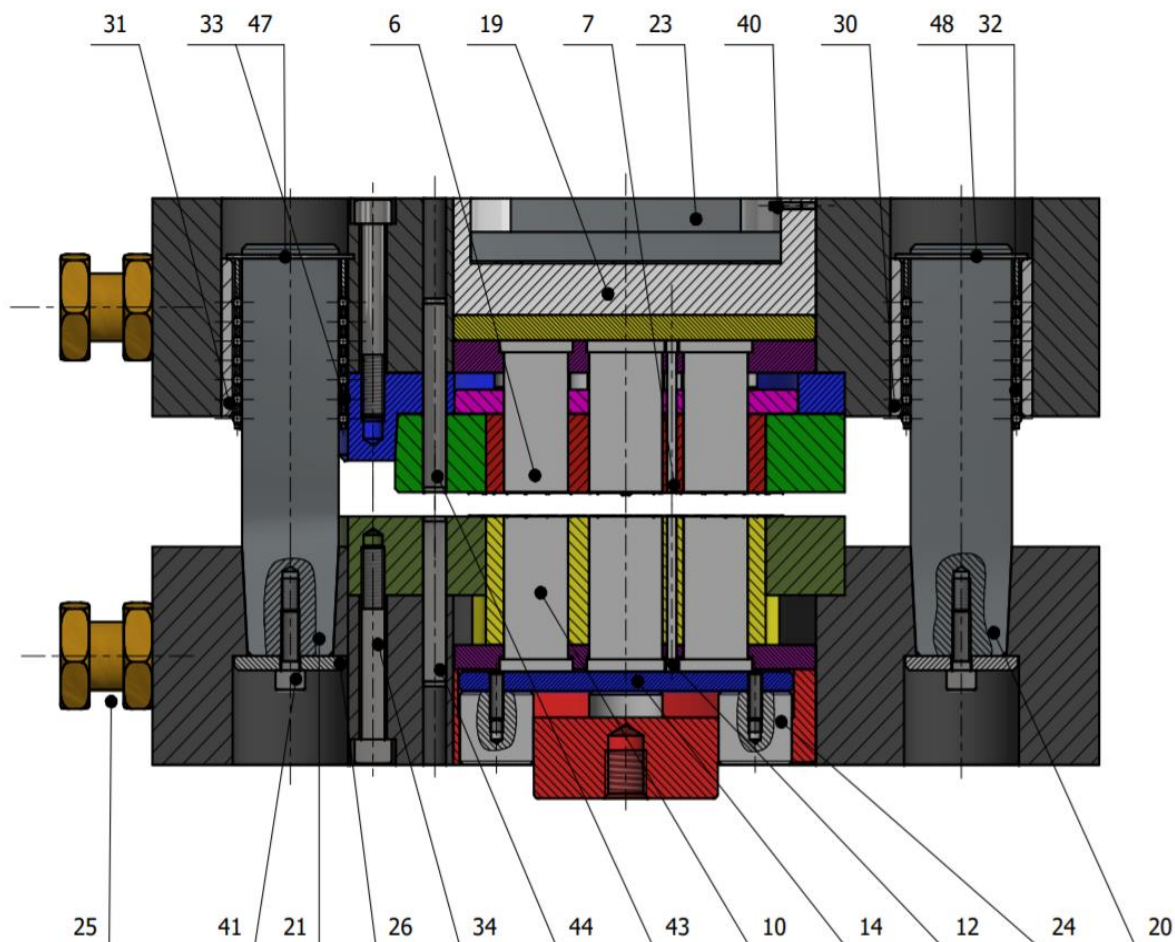
Technické parametry	FMB 440
Jmenovitá síla [N]	4400
Střižná síla [kN]	1400 – 4100
Síla přidržovače [kN]	200 – 2000
Síla vyhazovače [kN]	100 – 1000
Zdvih beranu [mm]	150 / 230
Počet zdvihů [min ⁻¹]	30
Šířka plechu [mm]	8 – 300
Tloušťka materiálu [mm]	1 – 7
Hmotnost stroje [kg]	25000



Obr. 35 Stroj FMB 440 [24]

3.8 Návrh nástroje [35]

Nástroj je konstruován podle směrnic pro konstrukci nástrojů pro přesné stříhání od firmy ZBROJOVKA Brno. Je zapotřebí, aby nástroj pro přesné stříhání byl dostatečně tuhý a přesný a splňoval všechny podmínky pro konstrukci nástroje. Vzhledem k složitosti součástí a velikosti série byl zvolen nástroj s pohyblivým střížníkem a pevným přídržovačem (obr. 36 a 37).

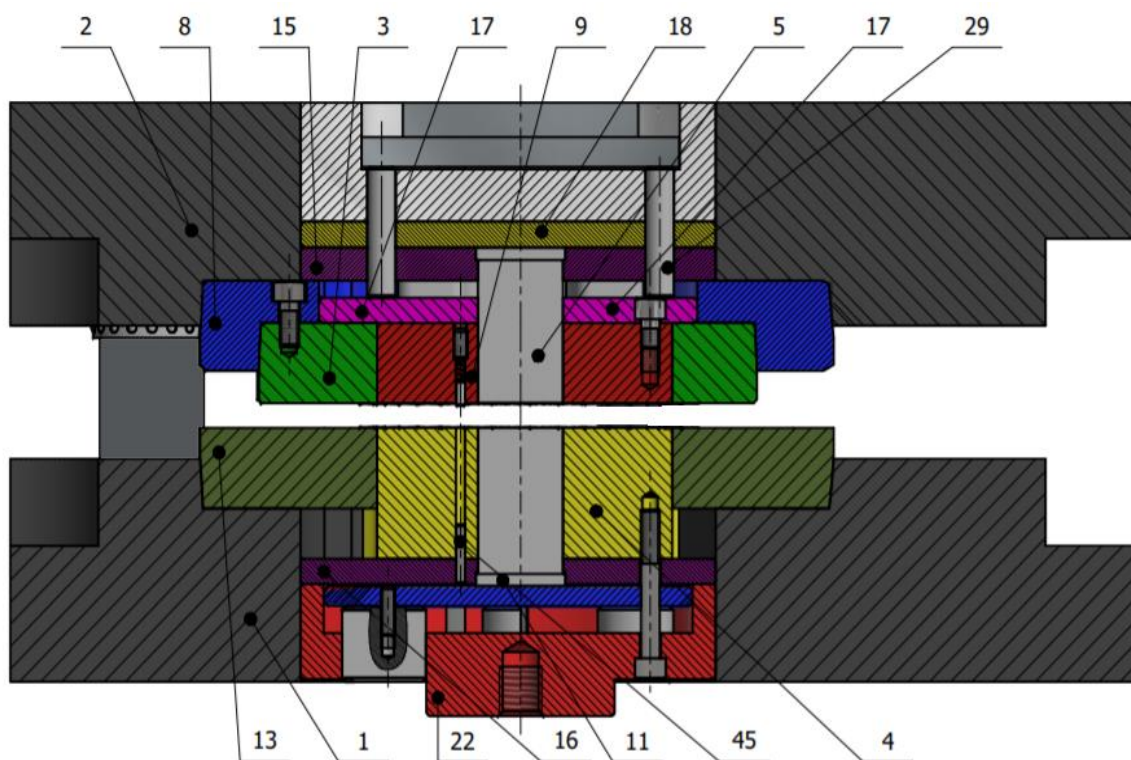


Obr. 36 Střížný nástroj

Nástroj lze rozdělit do dvou částí. V horní části se nachází tvarové střížníky pro děrování (5, 6 a 7), která jsou vyrobeny z materiálu ČSN 19 437, a které jsou upnuty v horní kotevní desce (15). Nad touto kotevní deskou je kalená podložka (18), která zabraňuje otlacení střížníků do podložky vyhazovacího kroužku (19). Vyhazovací kroužek (23) přenáší vyhazovací a přítlačnou sílu za pomoci tlačných kolíků a vyhazovače. Dále se zde nachází střížnice (3), která je vyrobena z materiálu ČSN 19 436, a která je zalisována do zděře střížnice (8) s uložením H7/p6. Zděra střížnice se používá pro dělenou střížnici a je lisována do upínací desky vodícího stojánu (2) s přesahem H7/p6. V prostoru střížnice se pohybuje vyhazovač (9), který je veden smykově bez vůle, a který slouží k vedení děrovacích střížníků. Dále se zde nachází podložka pod vyhazovač (17).

Vedení vodícího stojánu je zajištěno za pomoci dvou vodících sloupků (20 a 21), které mají každý jiný průměr, aby nedošlo ke špatnému nasazení horní části nástroje na spodní. Tyto sloupky jsou vedeny v kuličkových klecích (32 a 33) a pouzdrech (30 a 31). Valivé vedení zaručuje dokonale přesné vedení stojánu. K manipulaci s nástrojem slouží nosné čepy (25).

Ve spodní části nástroje se nachází přítlačná deska s tlačnou hranou (13), ve které se nachází střižník ozubení (4), který je také vyroben z materiálu ČSN 19 437. Ve střižníku ozubení jsou vyhazovače, které jsou uchyceny ve spodní podložce pod střižník (16) a spodní kotevní desce (14). Držák střižníku (22) je lícován s tolerancí do základové desky (1) s tolerancí H7/j6.



Obr. 37 Střižný nástroj

4 EKONOMICKÉ HODNOCENÍ

Polotovarem pro výrobu bude svitek o rozměrech (2 x 140,2 x 300 000), který bude z materiálu ČSN 11 500. Jak bylo spočítáno, procentuální využití materiálu je větší než při použití normalizovaných tabulí plechu. Zároveň z hlediska manipulace s materiálem a přípravě plechu se tato varianta jeví jako výhodnější.

4.1 Náklady na materiál [19]

Počet svitků na roční dávku se stanoví jako podíl celkové roční dávky (Q) ku počtu výstřižků z jednoho svitku (n_s).

$$n_p = \frac{Q}{n_s} = \frac{80000}{2108} = 37,95 \quad (4.1)$$

kde: n_p – počet svitků na roční dávku [ks],
 Q – výrobní dávka [ks].

Ze vztahu vyplývá, že na celou roční sérii bude zapotřebí zakoupit 38 svitků plechu.

Dále se spočítá celková hmotnost svitků plechu na roční dávku. Bude se počítat s hustotou oceli, objemem svitku a celkovým počtem svitků, který je zapotřebí pro výroby jedné série.

$$m_{sv} = \rho_{ocel} \cdot \check{s} \cdot l_s \cdot s \cdot n_p \quad (4.2)$$

kde: m_{sv} – hmotnost svitků na roční dávku [kg],
 ρ_{ocel} – hustota materiálu [$\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$]

Po dosazení do rovnice 4.2:

$$m_{sv} = 7850 \cdot 0,14022 \cdot 300 \cdot 0,002 \cdot 38 = 25\,096,57 \text{ kg}$$

Nákupní cena materiálu se stanoví z celkové hmotnosti svitků na roční dávku, vynásobenou aktuální cenou za 1 kg materiálu. Aktuální cena za 1 kg je 28,37 Kč.

$$C_{sv} = m_{sv} \cdot c_p = 25\,096,57 \cdot 28,37 = 711\,989 \text{ Kč} \quad (4.3)$$

kde: C_{sv} – cena roční spotřeby na materiál [Kč],
 c_p – cena za 1 kg materiálu [Kč/kg].

Hmotnost odpadu za rok se dále spočítá jako:

$$m_o = m_{sv} \cdot \frac{100 - \mu_{sv}}{100} = 25\,096,57 \cdot \frac{100 - 64,92}{100} = 8\,804 \text{ kg} \quad (4.4)$$

kde: m_o – hmotnost odpadu za rok [kg],
 μ_{sv} – využitelnost svitku plechu [%].

Cena za vykoupení odpadu na jeden kilogram je 4 Kč a vynásobením této ceny celkovou hmotností se zjistí kolik bude stát vykoupení odpadu pro celou sérii.

$$C_o = m_o \cdot c_o = 8\,804 \cdot 4 = 35\,216 \text{ Kč} \quad (4.5)$$

kde: C_o – cena odpadu na sérii [Kč]
 c_o – cena odpadu 1 kg materiálu [Kč/kg]

Cena materiálu série se stanoví jako:

$$C_{NM} = C_{sv} - C_o = 711\,989 - 35\,216 = 676\,773 \text{ Kč} \quad (4.6)$$

kde: C_{NM} – náklady na materiál v dávce [Kč]

Náklady na materiál, které budou potřeba na výroby jedné výrobní série jsou 676 773 Kč.

4.2 Náklady na výrobu nástroje [19]

Po vypočítání celkových nákladů na materiál za jednu sérii se stanoví náklady na výrobu nástroje. Celková hmotnost nástroje činí 235 kg. Podle katalogu na stránkách firmy Feron je cena za nástrojovou ocel okolo 170 – 200 Kč/kg, a cena za konstrukční ocel se pohybuje okolo 32 – 40 Kč/kg. Nástroj je tvořen zhruba ze 60 % z konstrukční oceli a zbylých 40 % z nástrojové. Proto byla stanovena průměrná cena 1 kg nástroje na 90 Kč/kg. A z této úvahy se pak spočítá, že cena materiálu, která byla použita na výrobu nástroje, je:

$$C_{mat} = 90 \cdot 235 = 21\,150 \text{ Kč} \quad (4.7)$$

Do celkové ceny se započítávají ještě mzdy dělníka, které se vztahují na jedince, jenž bude nástroj vyrábět. Takováto mzda se nazývá jako jedincová mzda a spočítá se jako průměrná mzda pracovníka ve výrobě, která byla stanovena jako 165 Kč/h, vynásobená časem výroby nástroje, který byl stanoven na 400 Nh.

$$J_M = 165 \cdot 400 = 66\,000 \text{ Kč} \quad (4.8)$$

Když jsou stanoveny jedincové mzdy, může se dále spočítat zpracovatelské náklady. Tyto náklady zahrnují jedincové mzdy (J_M), které činí 100 % (J_M), výrobní režii (V_R), která je 370 %, správní režii (S_R), která je 120 % a ostatní náklady, které činí 10 %.

$$Z_N = J_M \cdot 500 \% = 66\,000 \cdot 500 \% = 330\,000 \text{ Kč} \quad (4.9)$$

K celkovým nákladům na nástroj se připočítává ještě zisk, který je stanoven na 10 % ze zpracovatelských nákladů.

$$Z = Z_N \cdot 10 \% = 330\,000 \cdot 10 \% = 33\,000 \text{ Kč} \quad (4.10)$$

Vše potřebné na cenu nástroje je spočítáno a součtem všech těchto položek (cena materiálu, zpracovatelské náklady a zisk) se vypočítá celková cena nástroje.

$$N_{CN} = C_{mat} + Z_N + Z = 21\,150 + 330\,000 + 33\,000 = 384\,150 \text{ Kč} \quad (4.11)$$

4.3 Bod zvratu [36]

Bod zvratu je v grafu závislosti nákladů na množství vyrobených kusů takový bod, při kterém se celkové náklady na rovnají celkovým ziskům. Od bodu zvratu se začíná s rostoucí produkcí tvořit zisk. A porovnají se přímky celkové tržby s celkovými náklady.

Základní pojmy, se kterými u celkových nákladů je možno setkat, jsou tzv. fixní náklady a variabilní náklady. Fixní náklady jsou takové náklady, které nejsou nijak závislé na produkci a tyto náklady se s rostoucím množstvím produkce nemění. Variabilní náklady jsou takové náklady, které naopak jsou závislé na celkové produkci.

Pro zjištění bodu zvratu se nejdříve stanoví celkové náklady na mzdy:

$$N_{CRM} = N_M \cdot Q \cdot \left(\frac{V_R}{100} + \frac{S_R}{100} \right) = 0,7 \cdot 80\,000 \cdot \left(\frac{370}{100} + \frac{120}{100} \right) = 274\,400 \text{ Kč} \quad (4.12)$$

kde: N_{CRM} – celkové náklady na mzdy [Kč],

N_M – náklady na mzdy (bylo zvoleno $N_M = 0,7$ Kč/výrobek).

Náklady na materiál jednoho výrobku se stanoví jako:

$$N_{KSm} = \frac{C_{NM}}{Q} = \frac{676\,773}{80\,000} = 8,46 \text{ Kč} \quad (4.13)$$

kde: N_{KSm} – cena materiálu jedné součásti [Kč]

Náklady na výrobu jednoho výrobku:

$$N_{ks} = \frac{T \cdot N_{CRM} + N_{CN}}{Q \cdot T} + N_{KSmat} \quad (4.14)$$

kde: N_{ks} – náklady na jeden kus výrobku [Kč]
 T – životnost nástroje (byla stanovena jako $T = 2$ roky)

Po dosazení do rovnice 4.14:

$$N_{ks} = \frac{2 \cdot 274\,400 + 384\,150}{80\,000 \cdot 2} + 8,46 = 14,3 \text{ Kč}$$

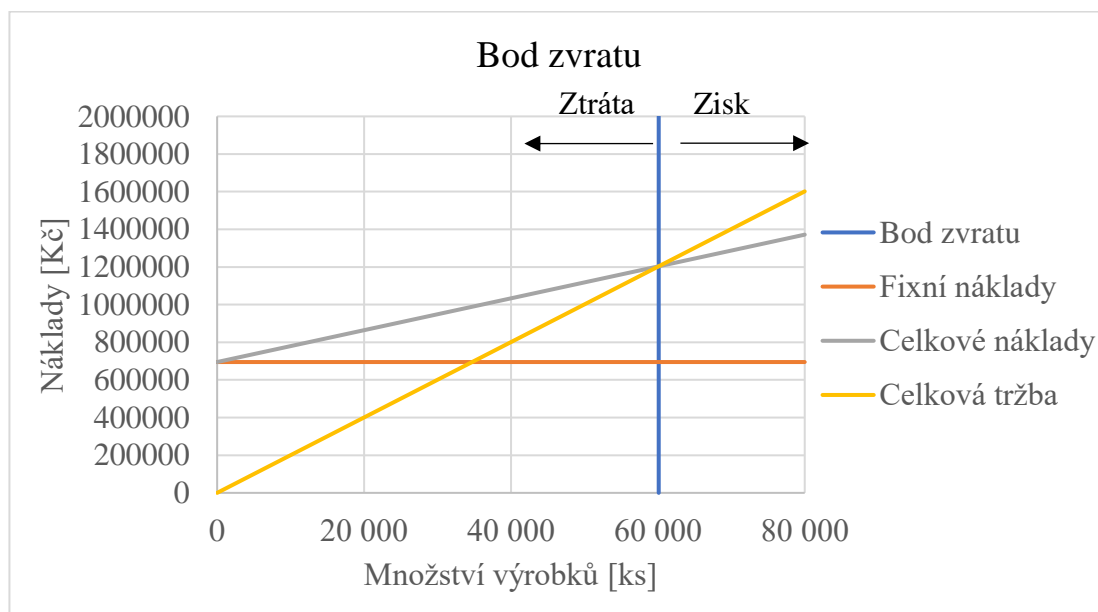
Dále se celková cena výrobku sečte se započítaným ziskem, který byl stanoven na 40 % z celkových nákladů na výroby.

$$N_{CS} = 14,3 \cdot 1,4 = 20,02 \text{ Kč} \quad (4.15)$$

Cena jednoho výrobku byla stanovena na 20,02 Kč. A když je známá celková cena jednoho výrobku, stanoví se bod zvratu. Fixní náklady byly odhadnuty na $F_N = 695\,000$ Kč,

$$B_{ZVR} = \frac{F_N}{N_{CS} - N_{KSmat}} = \frac{695\,000}{20,02 - 8,46} = 60\,121 \text{ ks} \quad (4.16)$$

Výpočet bodu zvratu se dále může ověřit v grafu, který je znázorněn na obr. 38.



Obr. 38 Grafické znázornění bodu zvratu

Při celkové výrobní sérii 80 000 ks/rok bude výroba zisková po vyrobení 60 121 ks. Avšak je to pouze orientační zhodnocení, protože ve výpočtech není zahrnuta například pořizovací cena lisu.

5 ZÁVĚRY

Vyráběná součást je ploché řetězové kolo, které je součástí zadní kazety převodu jízdního kola. Součást bude vyráběna z materiálu ČSN 11 500 a její tloušťka je 2 mm. Vzhledem k výrobní sérii, jakou se součást bude vyrábět, která činí 80 000 ks/rok a vzhledem k tvarové složitosti byla zvolena metoda přesného stříhání s tlačnou hranou.

Dále byla zhodnocena technologičnost součásti a zvolena optimální varianta nástřihového plánu. Nejvhodnější, z hlediska procentuálního využití plechu, vyšla varianta uspořádání výstřižků na svitek plechu o rozměrech (2 x 140,2 x 300 000) mm.

Návrh samotné výroby byl založen na technologičnosti a konstrukci výstřižku a následně na základě těchto výsledků byl navržen nástroj. Pro konstrukci nástroje bylo nutné spočítat rozměry střižnice a střižníků a dále spočítat kontrolní výpočty na vzpěr střižníků a na ohyb střižnice. Výsledky kontrolních výpočtů byly zohledněny při návrhu samotného nástroje. Nástroj byl navržen dle směnic pro konstrukci nástrojů pro přesné stříhání s tlačnou hranou od podniku Zbrojovka Brno, kde byla vybrána varianta s pohyblivým střižníkem a pevnou přítlačnou deskou.

Hydraulický trojčinný lis, který má tři nezávislé pohyby, tj. pohyb beranu lisu, vyhazovače, přidržovače, se dimenzoval na spočítanou celkovou sílu, která činí $F_c = 3\,544\,095\text{ N}$. Tuto sílu splňoval stroj od výrobce Šmeral typu FMB 440.

V poslední části bylo provedeno ekonomické zhodnocení za pomoci analýzy bodu zvratu. Analýzou vyšla hodnota tohoto bodu 60 121 ks. Takové množství součástí se musí vyrobit, aby byla výroba zisková. A vzhledem k celkové produkci 80 000 ks/rok lze konstatovat, že výroba bude zisková.

SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ [39]

1. *Technologie II: Tváření kovů, zpracování plastů* [online]. Liberec: Technická univerzita [cit. 2021-04-04]. Dostupné z: http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta_tkp
2. *Postup a modelování řetězového kola* [online]. MůjSolidworsk, 2016 [cit. 2021-04-04]. Dostupné z: <https://www.mujsolidworks.cz/postup-modelovani-retezoveho-kola/>
3. *Jízdní kola a elektrokola* [online]. Plzeň: Cyklo ATOM [cit. 2021-04-04]. Dostupné z: <http://www.horska-silnicni-kola.cz/>
4. BOLJANOVIC, Vukota. *Sheet metal forming processes and die design*. New York: Industrial Press, 2004. ISBN 0-8311-3182-9.
5. NOVOTNÝ, Josef a Zdeněk LANGER. *Stříhání a další způsoby dělení kovových materiálů*. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1980.
6. DVOŘÁK, Milan. *Technologie II*. Brno: CERM, 2001. Učební texty vysokých škol. ISBN 80-214-2032-4.
7. DVOŘÁK, Milan, František GAJDOŠ a Ladislav ŽÁK. *Technologie tváření: návody do cvičení*. Vyd. 2. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2005. ISBN 80-214-2881-3.
8. NOVOTNÝ, Karel. *Tvářecí nástroje*. Brno: Vysoké učení technické, 1992. ISBN 80-214-0401-9.
9. DVOŘÁK, Milan, František GAJDOŠ a Ladislav ŽÁK. *Technologie tváření: návody do cvičení*. Vyd. 2. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2005. ISBN 80-214-2881-3.
10. Akademie tváření: Technologičnost konstrukce v návrhu výstřížků. In: *MM Průmyslové spektrum* [online]. [cit. 2021-04-21]. Dostupné z: <http://www.mmspektrum.com/clanek/akademie-tvareni-technologicnost-konstrukce-vnavrhu-vystrizku.html>
11. DVOŘÁK, Milan, František GAJDOŠ a Karel NOVOTNÝ. *Technologie tváření: plošné a objemové tváření*. 3. Brno: CERM, 2006. ISBN 978-80-214-3425-7.
12. FOREJT, Milan. *Teorie tváření*. Vyd. 2., v Akademickém nakladatelství CERM 1. vyd. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2004. ISBN 80-214-2764-7.
13. NOVOTNÝ, Karel. *Speciální technologie I Plošné a objemové tváření*. Brno: VUT, 1992. ISBN 80-214-0404-3.
14. FINDA, Luděk a Roman HALTUF. *Akademie tváření: Stříhání* [online]. [cit. 2021-04-04]. Dostupné z: <http://www.mmspektrum.com/clanek/akademie-tvareni-strihani.html>
15. GAJDOŠ, František. *Teorie tváření: návody do cvičení*. Praha: MON, 1989. ISBN 80-214-1032-9.
16. FOREJT, Milan a Miroslav PÍŠKA. *Teorie obrábění, tváření a nástroje*. 1. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2006. ISBN 80-214-2374-9.
17. *Výroba ozubení: Stručný přehled výroby ozubení k odbornému školení a opakování učiva*. Praha: SNTL, 1964.
18. *Sandvik Coromant* [online]. SANDVIK CZ s.r.o [cit. 2021-04-04]. Dostupné z: <https://www.sandvik.coromant.com/cs-cz/pages/default.aspx>
19. *World steel prices* [online]. [cit. 2021-04-21]. Dostupné z: <http://www.worldsteelprices.com/>
20. *Laserové řezání jako bezkontaktní proces oddělování* [online]. Praha: TRUMPF spol. s.r.o [cit. 2021-04-04]. Dostupné z: https://www.trumpf.com/cs_CZ/
21. GUIDI, Alfons. *Přistříhování a přesné stříhání*. Praha: SNTL, 1969.

22. ČADA, Radek. *Technologie I: část tváření a slévání: (návodů do cvičení)*. 2. vyd. Ostrava: VŠB - Technická univerzita Ostrava, 2005. ISBN 978-80-248-0795-9.
23. Wasserstrahlschneiden: Eine Alternative für Metallverarbeiter. In: *MetallBau* [online]. [cit. 2021-04-04]. Dostupné z: https://www.metallbau-magazin.de/artikel/mb_Wasserstrahlschneiden_323446.html
24. *Šmeral: Produkty* [online]. Brno [cit. 2021-04-04]. Dostupné z: <https://www.smeral.cz/>
25. ČSN 22 6015. *Stříhadla a střížná vůle: směrnice pro výpočet a konstrukci*. Praha: ÚNM, 1977.
26. Horské kolo: Specialized Roockhopper Comp. In: *Kola Radotín* [online]. Radotín: Ski a bike centrum [cit. 2021-04-05]. Dostupné z: <https://www.kola-radotin.cz/horske-kolo-specialized-roockhopper-comp-2x-29-gloss-metallic-white-silversatin-black>
27. *Total Materia* [online]. Zürich: Total Materia [cit. 2021-04-05]. Dostupné z: <https://www.totalmateria.com>
28. LEINVEBER, Jiří a Pavel VÁVRA. *Strojnické tabulky: učebnice pro školy technického zaměření*. Šesté vydání. Úvaly: Albra, 2017. ISBN 978-80-7361-111-8.
29. VYSKOČIL, Oldřich a Pavel BARTOŠ. *Směrnice pro konstrukci nástrojů pro přesné stříhání (učební texty)*, Brno Zbrojovka a.s. 1997, 87 s
30. *Plazmové technologie* [online]. Olomouc: ELUC [cit. 2021-04-05]. Dostupné z: <https://eluc.kr-olomoucky.cz/>
31. BRIZER, Franz. *Forming and fineblanking : vost-effective manufacture of accurate sheermetal parts* ISBN 3-478-93161-4
32. 63 Tooth Sprocket: for 8 mm Chain. In: *TNC Scooters* [online]. TNC Scooters, 2021 [cit. 2021-04-05]. Dostupné z: http://tncscooters.com/index.php?route=product/category&path=63_92
33. Vystříhování plechu: Děrování, vysekávání a prostríhování plechu. In: *DENIP* [online]. DENIP, spol. [cit. 2021-04-05]. Dostupné z: <https://www.denip.cz/#tabs-1>
34. Krosové elektrokolo: Apache MATTO. In: *City Bikes* [online]. Praha: CityBikes spol. [cit. 2021-04-05]. Dostupné z: <https://www.citybikes.cz/elektrokola/krosovy-elektrokolo-apache-matto-e3-seda>
35. VYSKOČIL, Oldřich a Pavel BARTOŠ. *Směrnice pro konstrukci nástrojů pro přesné stříhání*. Brno: Zbrojovka Brno, 1977.
36. *Bod zvratu* [online]. České Budějovice: marketing Mind [cit. 2021-04-05]. Dostupné z: <https://www.marketingmind.cz/bod-zvratu-priklad-vzorec-vypocet-graf/>
37. HOSFORD, William F. a Robert M. CADDELL. *Metal forming: mechanics and metallurgy*. 4th ed. Cambridge: Cambridge University Press, 2011. ISBN 978-1-107-00452-8.
38. TSCHAETSCH, Heinz. *Metal forming practise: Process - Machines - Tools*. 1. Springer Berlin Heidelberg, New York, 2006. ISBN 3-540-33216-2.
39. *CitacePro* [online]. [cit. 2021-04-05]. Dostupné z: <https://www.citacepro.com/>

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

Označení	Legenda	Jednotka
A_c	celková práce	[J]
A_e	jmenovitý průměr střížnice	[mm]
A_j	jmenovitý rozměr	[mm]
A_k	jmenovitý rozměr střížníku	[mm]
A_p	práce přidržovače	[J]
A_s	střížná práce	[J]
A_v	práce vyhazovače	[J]
a	vzdálenost tlačné hrany od křivky stříhu	[mm]
B_{zvr}	bod zvratu	[ks]
b	šířka zářezu	[mm]
b_1	minimální šířka zubu	[mm]
b_2	šířka můstku	[mm]
C_{mat}	cena materiálu nástroje	[Kč]
C_{NM}	náklady na materiál v dávce	[Kč]
C_O	cena odpadu na sérii	[Kč]
C_{sv}	cena roční spotřeby na materiál	[Kč]
c	součinitel závislý na druhu stříhání	[-]
c_o	cena odpadu 1 kg materiálu	[Kč/kg]
c_p	cena za 1 kg materiálu	[Kč/kg]
D_0	vnitřní průměr střížnice	[mm]
D_1	vnější průměr střížnice	[mm]
D_r	průměr roztečné kružnice	[mm]
d_{os1}	průměr osazení	[mm]
d_{s1}	průměr řešeného střížníku	[mm]
E	modul pružnosti v tahu	[Mpa]
F_c	celková síla	[N]
F_N	fixní náklady	[Kč]
F_p	síla přidržovače	[N]
F_s	střížná síla	[N]
F_{s1}	střížná síla kontrolovaného střížníku	[N]
F_v	síla vyhazovače	[N]
H	tloušťka střížnice	[mm]

h	výška tlačné hrany	[mm]
h_1	výška odlehčení za tlačnou hranou	[mm]
I	moment setrvačnosti určitého průřezu	[mm ⁴]
J_M	jedincová mzda	[Kč]
K	velikost kroku	[mm]
l_o	délka odpadu pro zavedení pásu	[mm]
l_p	délka tabule plechu	[mm]
l_s	délka svitku	[mm]
m_o	hmotnost odpadu za rok	[kg]
m_{sv}	hmotnost svitků na roční dávku	[kg]
N_{CN}	celková cena nástroje	[Kč]
N_{CRM}	celkové náklady na mzdy	[Kč]
N_{CS}	cena jednoho výrobku	[Kč]
N_{ks}	náklady na jeden kus výrobku	[Kč]
N_{KSmat}	cena materiálu jedné součásti	[Kč]
N_M	náklady na mzdy	[Kč]
n	součinitel otupení	[-]
n_p	počet svitků na roční dávku	[ks]
n_P	počet pásů z jedné tabule	[ks]
n_{PD}	počet výstřížků na jeden pás	[ks]
n_s	počet výstřížků ze svitku	[ks]
n_T	počet výstřížků z tabule	[ks]
o	obvod ve stříhu	[mm]
o_h	délka tlačné hrany	[mm]
o_{s1}	obvod řešeného střížníku	[mm]
P	přípustní míra opotřebení	[mm]
p	měrný tlak vyhazovače	[Mpa]
Q	výrobní dávka	[ks]
R_m	mez pevnosti v tahu	[Mpa]
r	rádus zaoblení	[mm]
S	plocha součásti	[mm ²]
S_{os1}	plocha průřezu osazení	[mm ²]
S_{PS}	plocha výstřížku	[mm ²]
S_R	správní režie	[%]

S_S	plocha svitku	[mm ²]
S_{S1}	plocha řešeného střížníku	[mm ²]
S_T	plocha tabule	[mm ²]
S_v	plocha vyhazovače	[mm ²]
s	tloušťka plechu	[mm]
\check{s}	šířka pásu plechu	[mm]
\check{s}_p	šířka tabule plechu	[mm]
T	životnost nástroje	[roky]
V_R	výrobní režie	[%]
v	střížná vůle	[mm]
W_1	vzdálenost mezi dvěma otvory	[mm]
W_2	vzdálenost mezi drážkou a otvorem	[mm]
Z	zisk	[Kč]
Z_N	zpracovatelské náklady	[Kč]
z	střížná mezera	[mm]
δ_e	tolerance střížnice	[mm]
δ_k	tolerance střížníku	[mm]
μ_s	koeficient bezpečnosti	[-]
μ_{sv}	procentuální využití svitku	[%]
μ_t	procentuální využití tabule plechu	[%]
ρ_{ocel}	hustota oceli	[kg.m ³]
σ_d	skutečné napětí ve střížníku	[MPa]
σ_{dov}	dovolené namáhání v tlaku	[MPa]
σ_{od}	napětí otláčení střížníku	[MPa]
$\sigma_{střidov}$	dovolené namáhání v ohybu	[MPa]
τ_s	napětí ve stříhu	[MPa]

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1 Příklady výstřížků [34], [33], [32], [10]	9
Obr. 2 Horské kolo [26]	10
Obr. 3 Model vyráběné součásti	10
Obr. 4 Schéma řezání plazmou [30]	11
Obr. 5 Řezání laserem [20]	11
Obr. 6 Řezání vodním paprskem [23]	12
Obr. 7 Schéma výroby [1]	12
Obr. 8 Vysekávací stroj [33]	12
Obr. 9 Metoda přesného stříhání [24]	13
Obr. 10 Stříhání se zaoblenou hranou [13]	14
Obr. 11 Stříhání se zkoseným přidržovačem [13]	14
Obr. 12 Přistřihování [13]	15
Obr. 13 Kalibrování [13]	15
Obr. 14 Schéma napjatosti u stříhání s tlačnou hranou [5]	16
Obr. 15 Postup přesného stříhání [21]	17
Obr. 16 Působící síly při přesném stříhání [15]	17
Obr. 17 Směrné hodnoty pro velikost střížné vůle [31]	18
Obr. 18 Velikost tolerančních polí při výrobě střížníku, resp. střížnice [25]	19
Obr. 19 Popis tlačné hrany [11]	19
Obr. 20 Poloha tlačné hrany [29]	20
Obr. 21 Minimální vzdálenost mezi otvory [5]	21
Obr. 22 Minimální průměr otvoru [29]	21
Obr. 23 Minimální hodnoty poloměrů [29]	21
Obr. 24 Tvar ozubení [29]	21
Obr. 25 Diagram pro stanovení velikosti postranního odpadu a můstku [31]	23
Obr. 26 Schéma nástroje s pevným střížníkem a pohyblivým přidržovačem [21]	23
Obr. 27 Schéma nástroje s pohyblivým střížníkem a pevným přidržovačem [21]	24
Obr. 28 Typy střížnic [8]	24
Obr. 29 Typy upínání střížníků [8]	25
Obr. 30 Řešené rozměry	27
Obr. 31 Nástřihový plán	27
Obr. 32 Tvar a vedení tlačné hrany	28
Obr. 33 Rozměry při děrování	33
Obr. 34 Rozměry při vystřihování	34
Obr. 35 Stroj FMB 440 [24]	34
Obr. 36 Střížný nástroj	35
Obr. 37 Střížný nástroj	36
Obr. 38 Grafické znázornění bodu zvratu	39

SEZNAM TABULEK

Tab. 1 Parametry materiálu ČSN 11 500 [27]	10
Tab. 2 Parametry talčné hrany [28]	20
Tab. 3 Vhodné materiály pro přesné stříhání [11]	21
Tab. 4 Doporučené materiály funkčních částí [5].....	25
Tab. 5 Ekonomické využití materiálu	29
Tab. 6 Konkrétní rozměry střížníků a střížnic při děrování.....	32
Tab. 7 Konkrétní rozměry střížníků a střížnic při vystřihování.....	33
Tab. 8 Technické parametry lisu FMB 440 [24]	34

SEZNAM PŘÍLOH

Příloha 1 – Vady vzniklé při přesném stříhání [8]








SEZNAM VÝKRESŮ

Řetězové kolo	2021-209221-01
Střížný nástroj	2021-209221-02
Střížnice	2021-209221-03
Střížník ozubení	2021-209221-04

Příloha 1

List 1/1

Tab. Vady vzniklé při přesném stříhání [8]

Poř. Čís.	Tvar výstřížku	Stav střížné plochy	Příčina	Odstranění
1		dobrý	-	-
2		trhlina	nízký tlak přidržovače zaoblení střížnice malé nevhodný materiál	zvětšit tlak přidržovače zvětšit zaoblení střížnice materiál vyžítat nebo změnit
3		odtržený okraj	střížná vůle je velká	vyrobit nový střížník
4		kuželovité střížné plochy	zaoblení střížnice je velké	střížnici přebrousit a méně zaoblit
5		velký poloměr	zaoblení střížnice je velké malý protitlak	střížnici přebrousit a méně zaoblit, změna konstrukce: tlačnou hranu umístit na střížnici zvýšit protitlak v závislosti na obrysu
6		plocha vypouklá	malý protitlak, kontrola oleje na pásu nebo pruhu	zvýšit protitlak, vybrousit více drážek na přidržovači k odvodu oleje
7		výstřížek zkroucený	napětí v materiálu poloha výstřížku v pásu, pruhu nepříznivý průběh vláken nesoučasné vyhazování výstřížku u vícedílného vyhazovače	vyžítat k odstranění pnutí změna polohy výstřížku - zkontrolovat tloušťku a souladnost vyhazovaných výstřížků a délku vyhazovacích kolíků