



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE

INSTITUTE OF MANUFACTURING TECHNOLOGY

VÝROBA SEGMENTU POLOHOVACÍHO SYSTÉMU SEDADLA

MANUFACTURING OF A SEGMENT OF THE SEAT POSITIONING SYSTEM

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Jan Horák

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Jan Řiháček, Ph.D.

BRNO 2022

Zadání bakalářské práce

Ústav: Ústav strojírenské technologie
Student: **Jan Horák**
Studijní program: Strojírenství
Studijní obor: Strojírenská technologie
Vedoucí práce: **Ing. Jan Řiháček, Ph.D.**
Akademický rok: 2021/22

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 segmentu polohovacího systému sedadla

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Jedná se o výrobu dílce, zabezpečujícího polohování sedadla automobilu. Předpokládá se výroba součásti pomocí technologie přesného stříhání. Na tuto oblast bude rovněž vypracována literární rešerše. Dále bude práce obsahovat návrh technologického postupu výroby součásti, technicko – ekonomické hodnocení a závěry se zhodnocením navrhované technologie.

Cíle bakalářské práce:

- vypracování aktuální literární rešerše,
- zhodnocení možností výroby,
- návrh výroby součásti,
- provedení technologických a kontrolních výpočtů,
- návrh nástroje včetně nezbytné výkresové dokumentace.

Seznam doporučené literatury:

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

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

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

LOGAN, Daryl. A first course in the finite element method. United States: Cengage Learning, 2007, 808 s. ISBN 978-0-534-55298-6.

MARCINIAK, Zdislaw, John. DUNCAN a Jack HU. Mechanics of Sheet Metal Forming. Oxford: Butterworth-Heinemann, 2002. 211 s. ISBN 07-506-5300-00.

SCHULER GMBH. Metal forming handbook. New York: Springer-Verlag, 1998, 563 s. ISBN 35-40-1185-1.

TSCHATSCH, Heinz. Metal forming practise: processes - machines - tools. New York: Springer-Verlag, 2006. ISBN 978-3-540-33216-9.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2021/22

V Brně, dne

L. S.

Ing. Jan Zouhar, Ph.D.
ředitel ústavu

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

ABSTRAKT

Bakalářská práce je zaměřena na návrh technologie výroby segmentu polohovacího systému sedadla z ocelového plechu ČSN 11 373 o tloušťce 2 mm. Vzhledem k předpokládanému výrobnímu množství $200\,000 \text{ ks} \cdot \text{rok}^{-1}$, požadované rozměrové přesnosti a kvalitě povrchu střížné plochy je využita výroba technologií přesného stříhání s nátlacnou hranou. Součástí práce je provedení technologických a konstrukčních výpočtů, včetně návrhu střížného nástroje s potřebnou výkresovou dokumentací. V práci je zvoleno jako nejvhodnější střídavé uspořádání výstřížků na svitkový polotovar plechu ($D_s = 1\,200 \text{ mm}$, $d_s = 500 \text{ mm}$), což pro zadanou roční produkci znamená využití 36 ks svitků. V závěru práce je pro výrobu součásti zvolen trojčinný hydraulický lis Feintool HFA 8800plus, který je zakomponován do automatizované výrobní linky FBA 6/300, včetně všech potřebných zařízení pro manipulaci, odvíjení a rovnání stříhaného pásu plechu.

Klíčová slova

ocel 11 373, přesné stříhání, střížná vůle, nátlacná hrana, Feintool, trojčinný lis

ABSTRACT

The bachelor's thesis is focused on the design of technology for the production of a seat positioning system made of sheet steel ČSN 11 373 with a thickness of 2 mm. Due to the adjustment of the production quantity of $200\,000 \text{ pieces} \cdot \text{year}^{-1}$, the required dimensional accuracy and surface quality of the cutting surface is used by the technology of production of fine blanking with a pressure edge. Part of the work is the implementation of technological and construction calculations, including the design of the cutting tool with the necessary drawing documentation. An alternating arrangement of cut-outs for a coiled sheet metal blank ($D_s = 1\,200 \text{ mm}$, $d_s = 500 \text{ mm}$) is chosen as most suitable in the work, which means the use of 36 coils for a given annual production. In the final part of the work, a three-acting hydraulic press Feintool HFA 8800plus is chosen for the production of the component, which is incorporated into the automated production line FBA 6/300, including all necessary equipment for handling, unwinding and straightening the cut sheet metal strip.

Key words

steel 11 373, fine blanking, die clearance, vee-ring, Feintool, triple action press

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

HORÁK, Jan. *Výroba segmentu polohovacího systému sedadla* [online]. Brno, 2022 [cit. 2022 - 02 - 09]. Dostupné z: <https://www.vutbr.cz/studenti/zav-prace/detail/139369>. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav strojírenské technologie. Vedoucí práce Jan Řiháček.

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma Výroba segmentu polohovacího systému sedadla vypracoval samostatně s využitím uvedené literatury a podkladů, na základě konzultací a pod vedením vedoucího práce.

místo, datum

Jan Horák

PODĚKOVÁNÍ

Děkuji tímto panu Ing. Janu Řiháčkovi, Ph.D. za cenné připomínky a rady, které mi poskytl při vypracování bakalářské práce. Dále bych chtěl poděkovat mé rodině, která mě podporovala během celého studia.

OBSAH

ÚVOD	9
1 ROZBOR ZADÁNÍ.....	10
1.1 Výrobní možnosti	11
1.2 Metody přesného stříhání	14
2 PŘESNÉ STŘÍHÁNÍ S NÁTLAČNOU HRANOU	17
2.1 Nátlačná hrana	18
2.2 Střížná vůle	20
2.3 Síly a práce	21
2.4 Konstrukce nástrojů	23
2.5 Technologičnost	25
2.6 Používané stroje	27
3 NÁVRH TECHNOLOGIE VÝROBY	28
3.1 Využití materiálu	29
3.2 Nátlačná hrana a střížná vůle	32
3.3 Střížná síla a práce	34
3.4 Rozměry střížníku a střížnice	34
3.5 Kontrola střížníku a střížnice	35
3.6 Výpočet tlačných a vyřezecích kolíků	37
3.7 Návrh střížného nástroje	37
3.8 Volba stroje	39
ZÁVĚR.....	41
SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ	42
SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK.....	45
SEZNAM PŘÍLOH	48

ÚVOD

Dnešní doba plná modernizací si vyžaduje neustálé zlepšování a zavádění nových technologií pro udržení kroku s konkurencí. Vyžaduje se snížení výrobních nákladů, zvýšení výrobnosti a maximální kvalita výrobků. Mezi technologie, které se neustále inovují, patří plošné a objemové tváření. Plošné tváření je neodmyslitelně spjata nejen s dělením materiálu. Nejzákladnějším principem je stříh mezi dvěma břity, který je zakončen porušením - lomem v ohnisku deformace. Výrobní postup se ale neustále mění a jednoduchý stříh je nahrazován speciálními technologiemi. Především u stříhání plechů lze využít speciální technologii přesného stříhu s nátlacnou hranou. Tato technologie umožňuje sloučit a zkrátit počet operací na minimum a tím zrychlit celý střížný proces. Rovněž dosahuje lepší kvality střížných ploch a výrazně snižuje výrobní náklady. Nevýhodu vyšší pořizovací ceny nástroje kompenzuje možnost velkosériové výroby a opakovatelnosti velmi přesných výstřižků, které lze ihned a bez nutnosti dalších úprav kompletovat nebo dále využívat. [1; 2; 3]

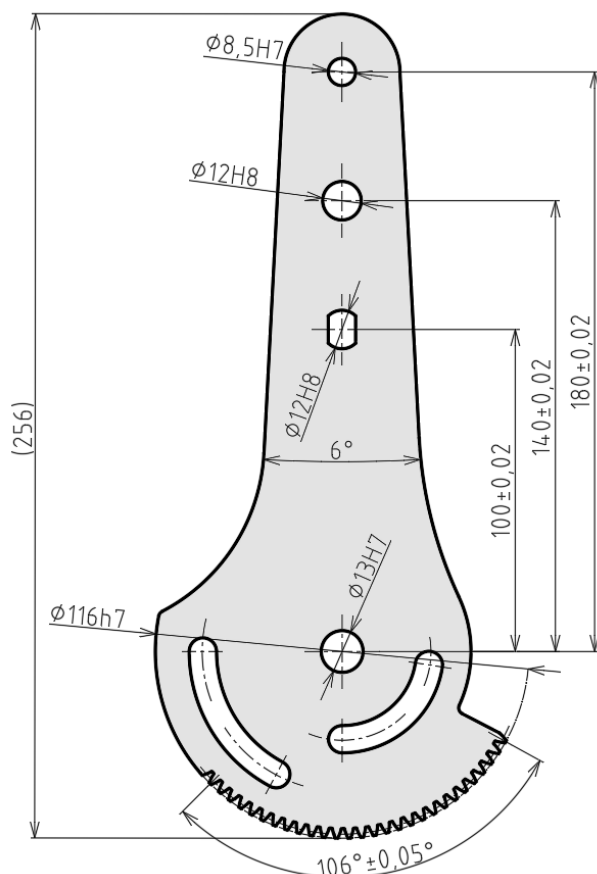
Své využití nachází metody přesného stříhání v širokém spektru oborů a tvoří značnou část velkosériové výroby, převážně v automobilovém, leteckém a chemickém průmyslu. Příklady výrobků technologií přesného stříhání pro automobilový průmysl od firmy Feintool jsou zobrazeny na obr. 1. [3]



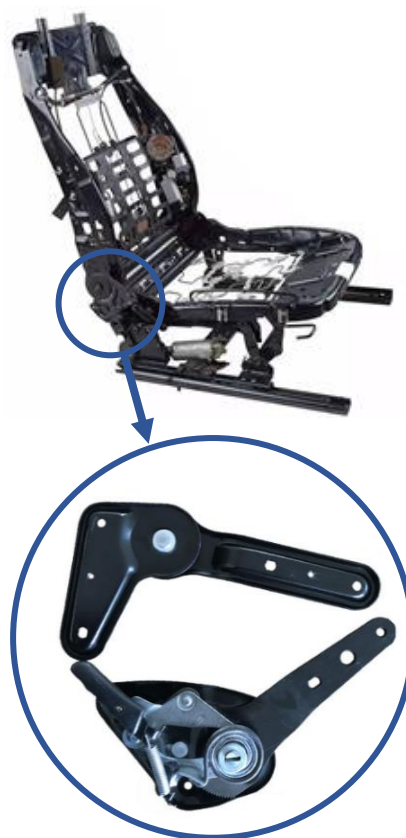
Obr. 1 Součásti vyráběné přesným stříháním [3].

1 ROZBOR ZADÁNÍ

Vyráběnou součástí je polohovací segment, jenž slouží pro nastavení úhlu automobilové sedačky. Základní rozměry polohovacího segmentu jsou znázorněny na obr. 2a a ukázka již kompletního mechanismu je znázorněna na obr. 2b. Uvažovaná sériovost výroby činí 200 000 kusů ročně. Ozubený převod na dané součásti umožňuje nastavení požadovaného náklonu automobilového sedadla a jednotlivé otvory slouží k upevnění bederního a sedacího rámu. Dále jsou na součásti zhotoveny dvě vodící drážky, které spolu s čepem zajišťují doraz pro maximální nebo minimální náklon. Jednotlivé tolerance funkčních otvorů jsou H7 a H8. Z důvodu snadné montáže je nutné zhotovit součást bez ořepů jednotlivých hran a s vysokou kvalitou. [4]



a) hlavní rozměry a tolerance



b) příklad použití

Obr. 2 Vyráběná součást a její umístění v mechanismu sedadla [4].

Lze předpokládat, že vyráběná součást bude zatěžována staticky i dynamicky, a to především v ohybu. Proto je vzhledem k vhodným mechanickým vlastnostem, včetně ohledu na ekonomičnost výroby, zvolen materiál 11 373 dle normy ČSN. Jedná se o neušlechtilou konstrukční ocel obvyklé jakosti s vyšším obsahem uhlíku, jejíž použití je vhodné pro požadovaný typ namáhání. Vybraná ekvivalentní označení oceli jsou uvedena v tab. 1. Chemické složení a základní mechanické vlastnosti jsou uvedeny v tabulkách 2 a 3. [5; 6]

Tab. 1 Ekvivalentní označení pro ocel 11 373 [5].

Číslo materiálu	Označení DIN	Označení EN 10027-1	Označení AISI/SAE	Označení JIS
1.0036	USt37-2	S235JRG1	Gr.C	STKM12A

Tab. 2 Chemické složení oceli 11 373 [6].

Prvek	Uhlík	Fosfor	Síra	Dusík
Značka	C	P	S	N
Obsah [%]	max. 0,17	max. 0,045	max. 0,045	max. 0,007

Tab. 3 Základní mechanické vlastnosti oceli 11 373 [6; 7].

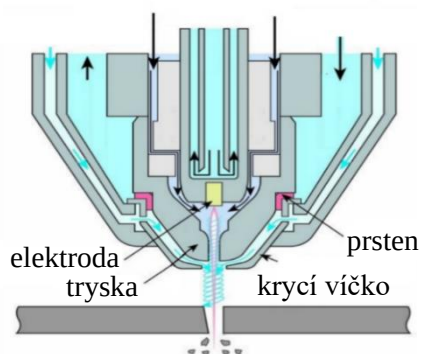
Pevnost v tahu R_m [MPa]	Mez kluzu R_e [MPa]	Tažnost A_{80} [%]	Hustota ρ [kg·m ⁻³]
340 až 470	220	20	7 850

1.1 Výrobní možnosti

Zadanou součást lze vyrobit několika různými způsoby. Při výběru nejvhodnější výrobní technologie je nutné zhodnotit především kvalitu výsledného povrchu v místě dělení, požadavky na přesnost a ekonomičnost procesu. Dalším zásadním parametrem je možnost velkosériové výroby, protože se uvažovaná výroba pohybuje v řádech statisíců kusů. Jelikož součást obsahuje i ozubení, nabízí se jeho výroba třískovým obráběním, ale existují i vhodnější metody. Kvůli velkému počtu vyráběných kusů je jednou z priorit rychlost celého procesu, a proto se hledá metoda, která zvládne vyrobit obrys i ozubení současně. Vybírá se tedy ze souboru beztřískových a speciálních metod [8; 9]:

- Řezání pomocí plazmy - mezi řezaný materiál a trysku, ve které proudí vysokou rychlostí plyn se přivede elektrické napětí, následný elektrický oblouk ionizuje plyn a taví dělený materiál za vysoké teploty. Schéma je znázorněno na obr. 5a. Tryskou proudí vodivý plyn (argon, dusík, vodík, kyslík nebo jejich směsi) ohřátý elektrickým obloukem na teplotu více než 30 000 °C. Plazmou lze řezat velmi širokou škálu elektricky vodivých slitin. Mezi ně patří například obyčejné uhlíkové a korozivzdorné oceli. Tato technologie je vhodná především pro řezání středně tlustých plechů. Možná řezaná tloušťka materiálu je však až 180 mm u klasického suchého řezání a do 120 mm při řezání pod vodou v závislosti na typu materiálu. [15; 16; 17]

Mezi výhody patří zejména snadná automatizace, snížení vneseného tepla do materiálu a tím snížení tepelně ovlivněné oblasti a možnost řezání všech elektricky vodivých materiálů. Nevýhodou jsou vysoké pořizovací náklady, vysoká hladina hluku a obtížnější propalování materiálů nad 15 mm. Ve srovnání s laserovou technologií nedosahujeme takové přesnosti a také vzniká širší řez. Při řezání materiálů o tloušťce pod 5 mm vzniká velmi špatná kvalita řezu, a proto o ní nelze uvažovat při výrobě zadané součásti. [16; 17]



a) princip řezání pomocí plazmy

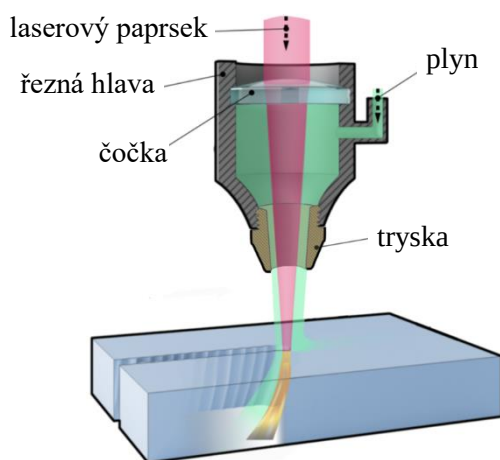


b) příklad vyráběných součástí

Obr. 5 Schéma řezání pomocí plazmy [18; 19].

- Řezání pomocí laseru - metoda využívá vysoce výkonný laser, který je veden přes optickou část a počítačové numerické řízení k usměrnění rezného paprsku. Laserový paprsek je sloupec světla o velmi vysoké intenzitě, jedné vlnové délky nebo barvy. Laserové řezání je založeno na principu přivodu vysoce koncentrované energie laserového svazku do místa řezu. Následným zaostřením paprsku na konkrétní bod vzroste hustota tepla a tím dochází k extrémnímu lokálnímu ohřevu materiálu. Základní princip je znázorněn na obr. 3a a příklad vyráběných součástí na obr. 3b. Řezaný materiál je laserovým svazkem ohříván na tavicí teplotu a následně vyfukován proudem plynu, čímž vzniká čistý a tenký řez. [10; 11; 20]

Velkou výhodou laseru je jeho přesnost, vysoká rezná rychlost a schopnost vytvořit velmi úzký řez. Tolerance přesnosti řezu u materiálu do 3 mm se pohybuje $\pm 0,01$ mm. Mezi nevýhody lze zařadit nutnost velmi přísných bezpečnostních opatření, vysokou energetickou náročnost a využití pouze pro malosériovou výrobu. Z těchto důvodů nelze technologii uvažovat jako vhodnou pro výrobu zadané součásti. [10; 14; 20]



a) princip řezání laserem



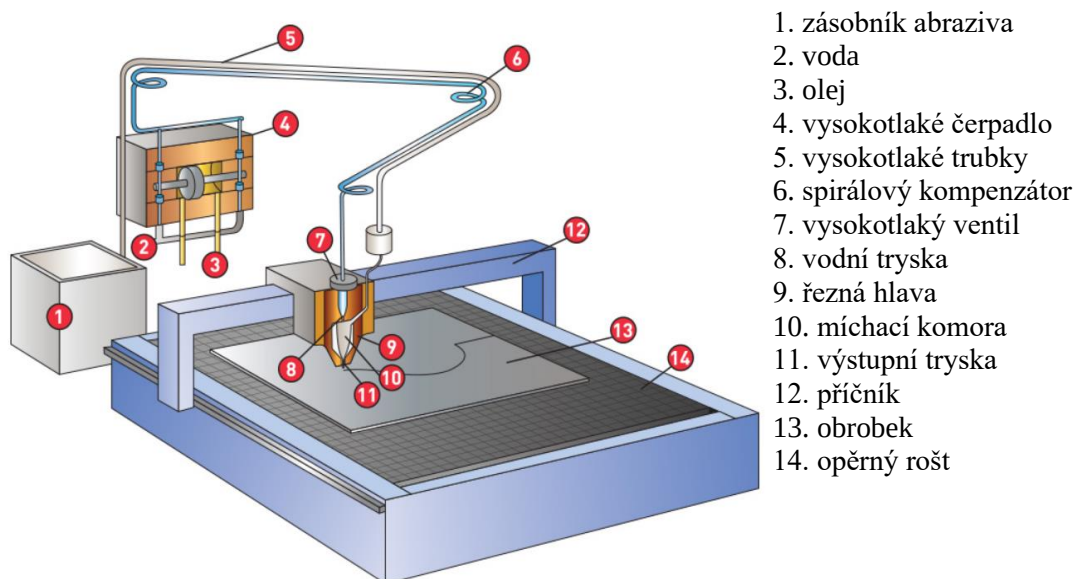
b) příklad vyráběných součástí

Obr. 3 Princip řezání laserem [12; 13].

- Řezání pomocí vodního paprsku - technologie se dělí dle rezného paprsku, s čistým vodním paprskem a vodním paprskem s přísadou abraziva. Základním principem je dělení materiálu obrušováním vysokým tlakem vodního paprsku (obr. 6). Pracovní tlak se pohybuje v rozmezí 800 až 6200 bar v závislosti tloušťce a typu materiálu. Tlakovým zdrojem jsou speciální vysokotlaková čerpadla. Paprsek vzniká v řezací hlavě, která je zakončena speciální tryskou, ve které se úzký paprsek tvoří. Trysky jsou vyráběny z rubínu, safíru nebo diamantu. Při řezání tvrdých materiálů (ocel, titan) přidáváme do proudu vody abrazivní částice. Mohou být syntetické, nebo přírodní. Nejčastěji se používají křemičitý písek, korund, olivín a další. Velikost zrn se pohybuje od cca 0,2 do 0,5 mm. Pro výrobu výstupní trysky se používá karbid wolframu, aby odolala vysokým abrazivním účinkům. V průměru dosahuje životnost trysky několik desítek hodin. Vzdálenost mezi tryskou a materiálem se volí co nejmenší. Tím se zmenší šířka spáry a zpřesní samotný řez. [20; 21; 22]

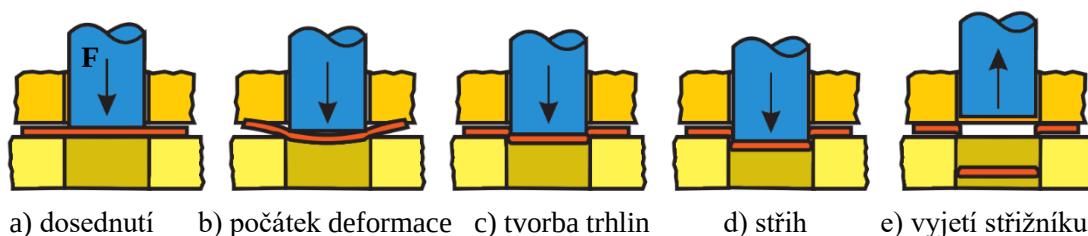
Velkou výhodou této technologie je především přesnost a všestrannost pro řezání různorodých materiálů. Vzhledem k velkým pokrokům v technologii vodního paprsku lze řezat velkou rychlostí s přesností až $\pm 0,025$ mm. U paprsků s abrazivem se tloušťka řezaného materiálu pohybuje od 1,5 mm do 25 cm, ve speciálních případech i více. Vzniklý řez je bez zatavení, zakalení či okují. [20; 21; 22]

Nevýhodou technologie je nemožnost zabránit kontaktu řezaného materiálu s vodou. Musíme tedy zvážit možné následky, například korozi a u nasákavých materiálů dbát na dostatečné vysušení. Mezi další nevýhody patří drahý provoz (cena abraziva, kapalin, údržba) a pomalá výroba. Technologie tedy není vhodná, výroba je pomalá a vybraný materiál by degradoval kvůli korozi. [20; 21; 22]



Obr. 6 Schéma řezání vodním paprskem [21].

- Technologie stříhání - základní princip je zatlačování střížníku do materiálu tak, aby došlo k lomu v ohnisku deformace. Materiál se odděluje pomocí dvojice nástrojů (střížníku a střížnice). Střížná operace začíná dosednutím střížníku na stříhaný materiál. Po dosednutí dochází k pružnému vnikání do jeho povrchu. Hloubka vniku střížníku závisí na mechanických vlastnostech a bývá 5 až 8 % tloušťky materiálu. V další fázi vzniká tzv. nástřih, tj. vytvoření trhlinek, který je podporován tahovým normálovým napětím ve směru vláken. Následuje rychlé šíření trhlin a poté dochází k oddělení výstřížku. Průběh stříhání je znázorněn na obr. 7. Mezi nejrozšířenější metody dělení materiálu patří postupové stříhání. Při tomto procesu se postup opakuje a stříhaný pás plechu je postupně posouván, což zvyšuje produktivitu. Technologie je vhodná pro velké série a dosahovaná přesnost rozměrů se pohybuje v rozmezí IT 9 až IT 12. Dosahovaná jakost povrchu odpovídá hodnotě $R_a = 3,2$ až $1,6 \mu m$. Kvůli nízké přesnosti a jakosti se nehodí se pro výrobu zadané součásti. [8; 9; 29]



Obr. 7 Průběh stříhání [23].

Další používanou metodou je tzv. přesné stříhání. Tato metoda je používána při zvýšených požadavcích na jakost a kvalitu střížné plochy. Díky ní lze dosáhnout kvalitnější a hladší střížné plochy, kolmé k rovině v porovnání s běžným způsobem. Výsledná přesnost výstřížků závisí především na velikosti střížné mezery, tloušťce stříhaného materiálu a jeho vlastnostem. Je možné dosáhnout rozměrové přesnosti IT 6 až IT 9 a jakost povrchu může být až $R_a = 0,2 \mu m$.

Vystřižené součásti není nutné dále opracovávat a jsou připraveny ihned k montáži. Porovnání střížné plochy konvenčním stříháním a přesným stříháním je na obr. 8. Pro tuto technologii jsou vhodné součásti vyráběné ve velkých sériích, protože pořizovací náklady jsou velmi vysoké. [8; 9]



a) přesné stříhání

b) konvenční stříhání

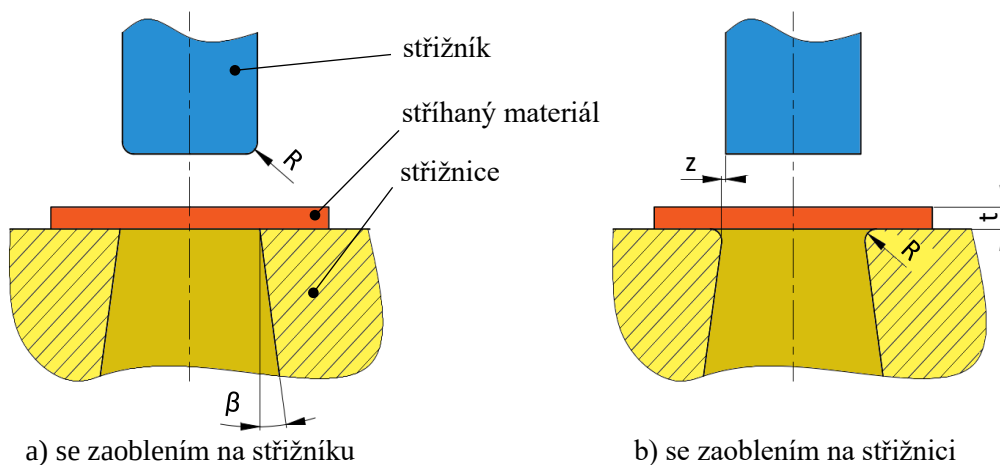
Obr. 8 Porovnání střížné plochy konvenčním a přesným stříháním [24].

Výhodou technologie přesného stříhání je vysoká přesnost výstřižků, kvalitní střížná plocha kolmá k rovině a možnost malosériové i velkosériové výroby. Nevýhodou je sice vysoká pořizovací cena, ale kvůli převyšujícím výhodám a možnosti výroby velkých sérií je technologie přesného stříhání ideální pro výrobu zadané součásti. Vzhledem k tomu, že v současnosti existuje celá řada metod přesného stříhání, je velmi důležité vybrat tu nejvhodnější. [8; 9]

1.2 Metody přesného stříhání

Existuje několik používaných metod přesného stříhání. Všechny tyto metody jsou schopny zajistit vysokou kvalitu povrchu a přesnost rozměrů v rámci IT 6 až IT 9. Metody se liší především skrze jejich vhodnost použití, některé se totiž využívají pouze pro dokončovací operace, kde pouze kalibrujeme již vystřižený tvar. [1; 25; 27]

- Zaoblení střížných hran - princip spočívá v zabránění vzniku střížné trhliny ve stříhaném materiálu zaoblením střížníku nebo střížnice. U zaoblení střížníku docílíme vysoké hladkosti vnějšího obrysu výstřižku (obr. 9a) a při zaoblení střížnice získáme hladký vnitřní obrys (obr. 9b). Doporučené zaoblení střížné hrany zjistíme dle vztahu $(0,15 \div 0,20) \cdot t$, větší zaoblení způsobuje tvorbu otřepů. Čím více snižujeme střížnou mezeru, tím je jakost střížné plochy vyšší. Střížná síla bývá asi o 15 % větší než při běžném stříhání. Metoda není vhodná pro vyráběnou součást. [1; 25]

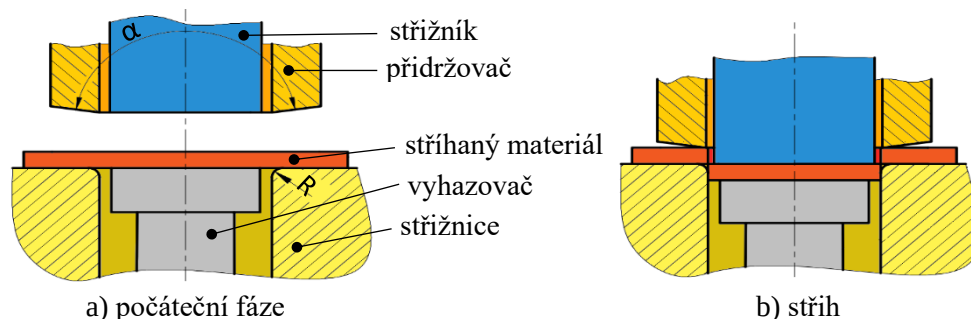


a) se zaoblením na střížníku

b) se zaoblením na střížnici

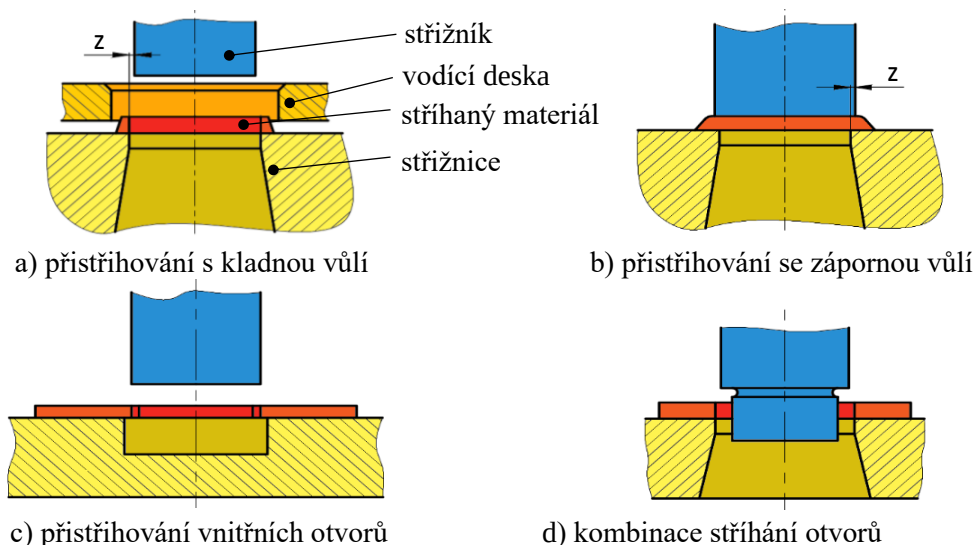
Obr. 9 Zaoblení střížných hran [25].

- Zkoseným přidržovačem - principem je vyvození dvojosé napjatosti zkoseným přidržovačem. Vrcholový úhel přidržovače bývá $\alpha = 178^\circ 30'$. Poloměr zaoblení střížné hrany je $R \leq 0,01$ mm. Schéma této metody je znázorněno na obr. 10. Tato technologie má vysoké požadavky na střížný stroj a dochází k poměrně rychlému opotřebení přidržovače, v praxi se příliš nevyužívá. Metoda tedy není vhodná pro výrobu velkých sérií, a proto se v tomto konkrétním případě nehodí jako výrobní. [8; 25]



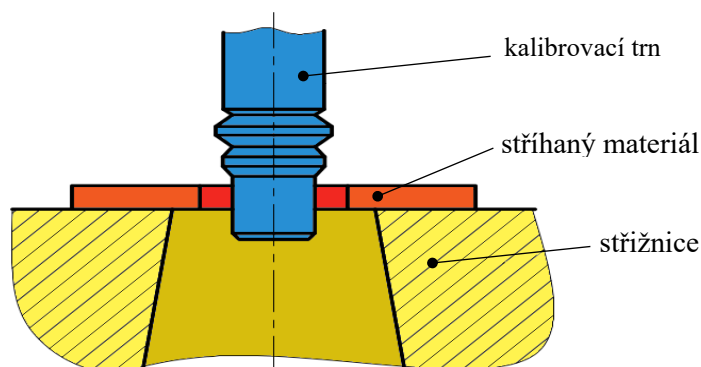
Obr. 10 Stříhání se zkoseným přidržovačem [25].

- Přistříhování - principem metody je oddělování malého množství materiálu (obr. 11) s cílem dosažení větší přesnosti a kvality povrchu střížné plochy. Výsledné výstřížky jsou bez mikrotrhlin, zpevnění a vnitřního pnutí. Tloušťka odstřížku, na které do jisté míry závisí i tzv. střížná mezera z , se pohybuje v rozmezí 0,1 až 0,5 mm. Pokud je přídavek větší než 0,5 mm musíme zařadit vícenásobné odstřížení. Technologie není vhodná pro sériovou výrobu, protože vyžaduje větší počet operací a je časově náročná. Z tohoto důvodu ji nelze uvažovat jako vhodnou pro výrobu zadané součásti. [8; 27]



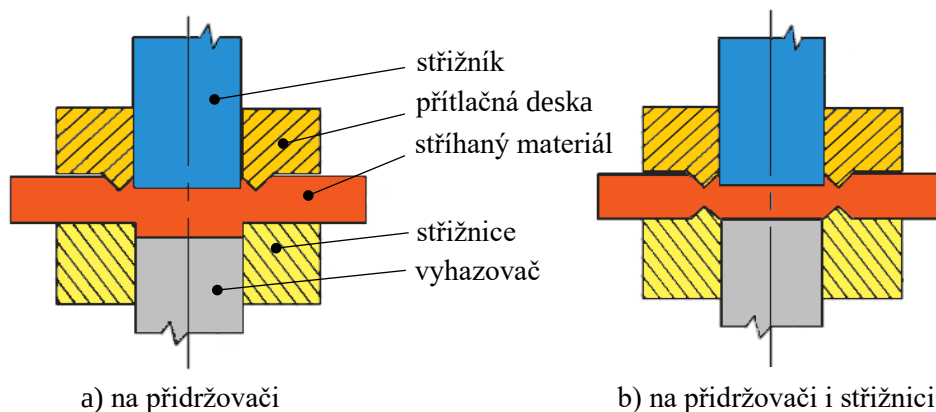
Obr. 11 Způsoby přistříhování [1].

- Kalibrování - cílem metody je zvýšení kvality střížného povrchu a přesnosti ploch, používá se tedy především jako dokončovací operace. Vnější plochy jsou kalibrovány protlačováním zaoblenou střížnicí a vnitřní plochy se kalibrují trnem. Kalibrovací trn má jednu nebo více ploch o šířce 1 až 3 mm. Schéma kalibrování otvorů je znázorněno na obr. 12. Náběh a výběh trnu je zkosen pod úhlem 5° . Nejlepších výsledků je dosaženo, je-li otvor v dostatečné vzdálenosti od okraje plechu. Kalibrováním se obecně nedosahuje takové přesnosti jako přistříhováním, protože dochází k odpružení stříhaného materiálu. Výsledný povrch je zpevněn a okraje otvorů jsou rozšířeny. Další nevýhodou je potřeba použití větší síly než na přistříhování. Při uvážení nutnosti pořízení speciálního nástroje a použití převážně pro dokončovací operace, je technologie kalibrování pro výrobu zadané součásti nevhodná. [1; 28]



Obr. 12 Kalibrování otvorů [1].

- Přesné stříhání s nátlacnou hranou - podstatnou metody je vyvození všestranného tlaku, který podporuje čistě plastický průběh stříhu. Stříhaný materiál je před samotným stříhem sevřen mezi přidržovač a střižnici. Takto sevřený materiál je v podstatě protlačován střižným otvorem. Vně stříhaného tvaru je materiál držen pomocí nátlčné hrany, uvnitř stříhaného tvaru je materiál přidržován pomocí vyhazovače. Vzniklý všestranný tlak zabraňuje vzniku tahového napětí a deformaci výstřižku. Nátlčná hrana může být jak na nátlčné desce, tak i na střižnici viz obr. 13. Výstřižky jsme schopni vyrobít již na jeden zdvih s vysokou přesností, kvalitou a opakovatelností. Metoda je tedy velmi produktivní a používá se především při velkosériové výrobě. Oproti konvenčním technologiím jsou sice náklady na pořízení stroje vyšší, tato nevýhoda je však kompenzována zrychlením celého procesu. Zrychlení procesu zahrnuje také omezení následných dokončovacích úprav výrobku na minimum, protože po stříhání s tlačnou hranou vzniká velmi kvalitní povrch, bez nutnosti dalších úprav. Hotové výstřižky jsou ihned připraveny k použití. Přesné stříhání s tlačnou hranou je velmi využíváno pro velkosériovou výrobu. [1; 8; 25]



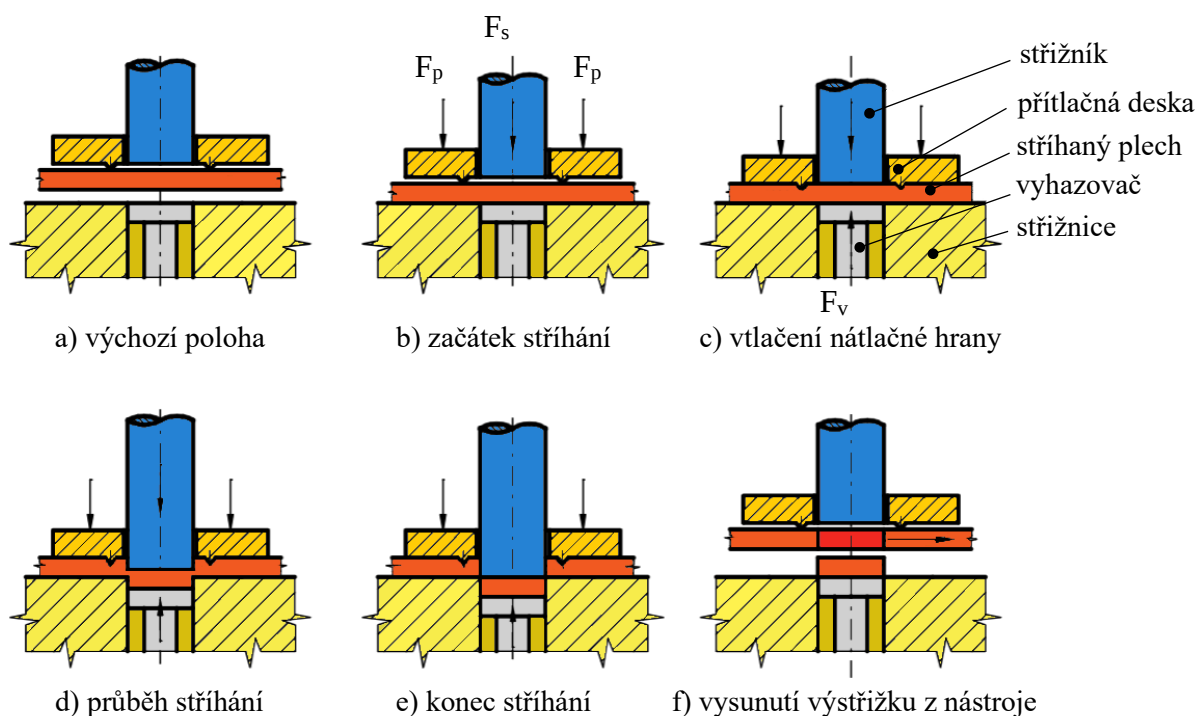
Obr. 13 Umístění nátlčné hrany [26].

Při porovnání výše zmíněných metod se jeví jako nejlepší technologie přesného stříhání s nátlacnou hranou jak z pohledu technologického, tak i ekonomického. Vyhovuje požadavkům na zadanou přesnost, možnost velkosériové výroby a schopnost stříhat obrys včetně ozubením v jednom kroku, což zefektivňuje a zrychluje celý proces, a proto je zvolena pro vyráběnou součást jako výrobní. Na vybranou technologii se zaměřuje další část práce, zahrnující vypracování literární rešerše. [8; 25]

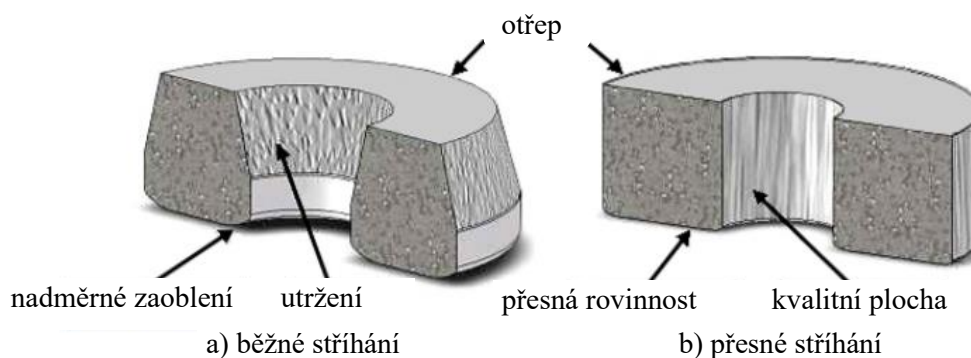
2 PŘESNÉ STŘÍHÁNÍ S NÁTLAČNOU HRANOU

Přesné stříhání s nátláčnou hranou je jedním z nejdokonalejších způsobů stříhání, jímž lze docílit velmi kvalitní střížné plochy a přesných rozměrů výstřižků. Podstata technologie spočívá ve vyvození trojosého stavu napjatosti a minimalizování velikosti střížné mezery. Stříhaný materiál je v počáteční fázi stříhání pevně sevřen mezi přidržovač a střížnici, čímž dochází ke vtlačení nátláčné hrany do materiálu ještě před vlastním stříhem. Postup stříhání je znázorněn na obr. 14. Nátláčná hrana může být umístěna na přidržovači nebo také na střížnici. Vzhledem k pevnému sevření materiálu nedochází k nežádanému posunu materiálu a zabraňuje se prohýbání. K tomuto sevření je však potřeba velkých sil. Při vlastním stříhu provádí společný pohyb střížník s vyhazovačem, přičemž materiál je stále sevřen mezi nimi. Tímto způsobem lze stříhat i velmi obtížné tvary, a to pouze na jeden zdvih, které by konvenčním způsobem potřebovaly několik různých operací. Dále lze také stříhat ozubení, jenž obsahuje zadaná součást a je možné jej vystříhnout v jednom kroku s celým obvodem součásti. [1; 8; 23; 25]

Metoda je tedy velmi efektivní, rychlá a využívá se především pro velké série. Přesným stříháním s nátláčnou hranou lze dosáhnout kvality plochy o drsnosti $R_a = 0,4$ až $1,6 \mu\text{m}$ a přesnosti rozměrů IT 6 až IT 9. Dosažitelná kolmost střížné plochy do tloušťky 4 mm se pohybuje v rozmezí 0,01 až 0,02 mm. Srovnání kvality střížných ploch metodou přesného stříhání s tlačnou hranou a konvenční metodou je znázorněno na obr. 15. Nevýhodou metody je nutnost použití větší šířky pásu plechu a větších můstků než při klasickém stříhání. To vede k větší spotřebě materiálu a vyšším nákladům. Mezi další nevýhody patří například omezení z hlediska tvaru stříhané součásti (nelze vystříhovat příliš ostré rohy) a potřeba vyvinutí velké síly. [1]

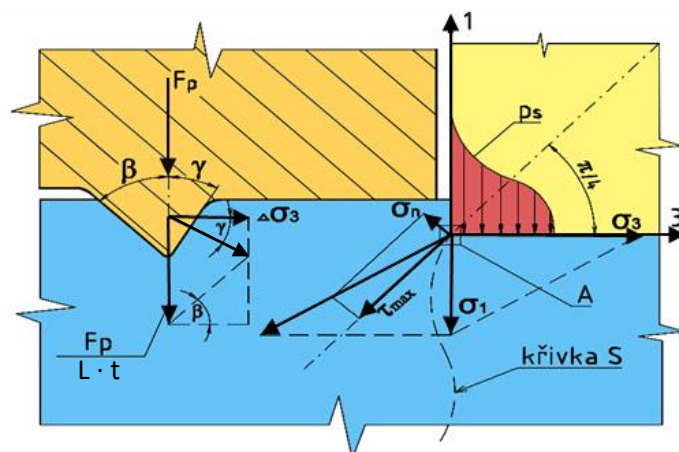


Obr. 14 Postup přesného stříhání [8; 30].



Obr. 15 Srovnání střížných ploch [31].

Jak již bylo výše zmíněno, vysoké jakosti stříhu se dosahuje vtlačení nátláčné hrany do materiálu, která je umístěna mimo křivku stříhu a materiál je sevřen mezi přidržovač a střížník. Vlivem pevného sevření nedochází k prohnutí materiálu jako při klasickém stříhání. Radiální složka pružení, vzniklá následkem plastické deformace, je zachycena tlačnou hranou. Nejvhodnější rozložení hlavních napětí se nachází právě v oblasti stříhu, kde vzniká tříosá napjatost. Vytvořený všestranný tlak zamezuje tvorbě trhlin a podporuje čistě plastický průběh stříhu. Právě vzniklý tlak má rozhodující vliv na správný průběh přesného stříhání. Použitím přidržovače s nátláčnou hranou vzniká přídavné napětí $\Delta\sigma_3$, které má výrazný vliv na poměry v rovinné napjatosti uzavřeného stříhu. Důsledkem je dosažení záporné hodnoty normálového napětí σ_n , které se snaží uzavírat vznikající trhliny i přes jejich šíření ve směru $\tau_{\max}$. Grafické zobrazení tlakových napjatostí v bodě A pod střížnou hranou je vykresleno na obr. 16. [1; 26; 32]

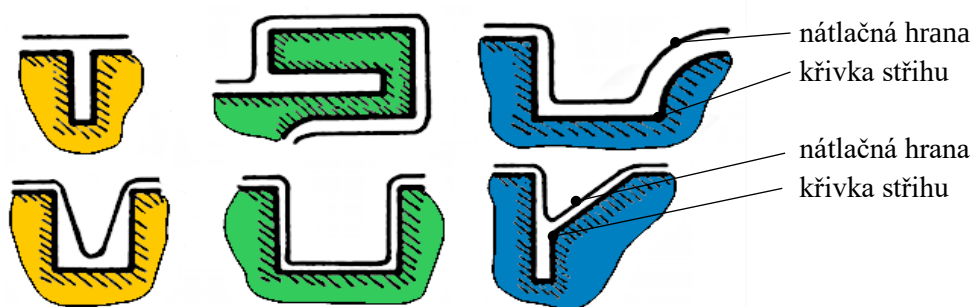


Obr. 16 Schéma napjatosti při přesném stříhání [26].

Použitím přidržovače s nátláčnou hranou se zvýší příčné tlakové napětí σ_3 a změna schématu napjatosti způsobí vznik tlakového normálového napětí $-\sigma_n$. Vzniklé normálové napětí brání rozevírání trhlin. Zadržením lomu se zvýší kritické přetvoření a plastický stříh se rozšíří na celou tloušťku plechu, při současném snížení střížné síly. Výsledkem je zvýšená kvalita povrchu střížné plochy a velmi vysoká přesnost stříhu. [26]

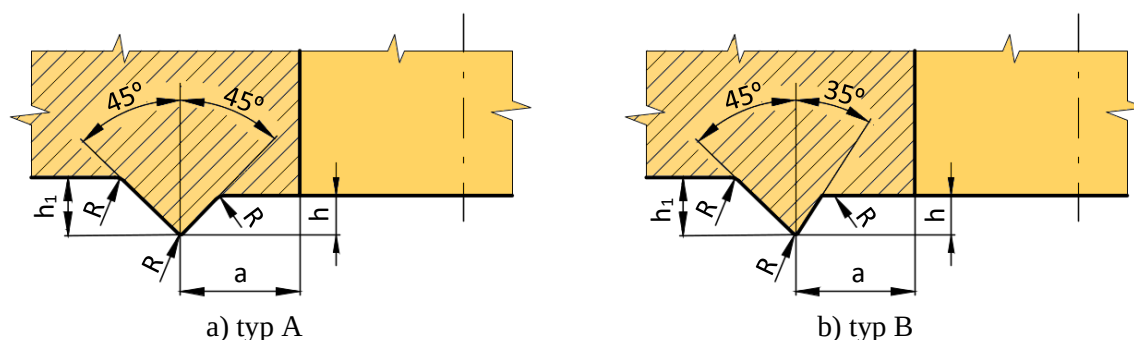
2.1 Nátláčná hrana

Nátláčná hrana a její parametry významně ovlivňují průběh celého procesu přesného stříhání. V porovnání s běžnými metodami, kde lze dosáhnout drsnosti střížné plochy v rozmezí 2,5 až 6,3 μm , tak u přesného stříhání s nátláčnou hranou může být docíleno hodnoty až 0,4 μm . Obdobně je to i s přesností výstřižků. Stupeň přesnosti se při běžném stříhání pohybuje v rozmezí IT 9 až IT 12, ale již bylo zmíněno, s nátláčnou hranou je možné vyrobit součást s přesností až IT 6. Možnosti umístění hrany za různých situací je znázorněno na obr. 17. [1; 8]



Obr. 17 Umístění nátlčné hrany [28].

Její tvar, rozměry a poloha ovlivňují nejen kvalitu střížné plochy, ale také životnost nástroje. Příliš malá vzdálenost od křivky stříhu zapříčiní snížení kvality stříhu a omezí vliv nátlčné hrany. Naopak při příliš velké vzdálenosti nátlčné hrany od křivky stříhu vzrůstá spotřeba materiálu a snižuje se její účinek. Její umístění je možné jak na přidržovači, tak na střížnici. Použití ovlivňuje především tloušťka stříhaného materiálu. Do 4 mm tloušťky plechu stříhaného materiálu se používá pouze jedna nátlčná hrana, a to na přidržovači. U tlouštěk nad 4 mm je optimální použít hrany dvě, jednu na přidržovači a druhou na střížnici (obr. 13b). Rozlišujeme dvě možnosti konstrukce, varianta **A** (obr. 18a) je vhodná pro stříhání málo tvárných materiálů. Nátlčná hrana typu **B**, znázorněná na obr. 18b, je naopak vhodná pro tvárné materiály. Zaoblení **R** je určováno podle tloušťky plechu za pomoci směrnic pro přesné stříhání. [1; 8; 28]



Obr. 18 Geometrie nátlčné hrany [1].

Nejdůležitějším rozměrem geometrie nátlčné hrany je rozměr její výšky **h**. Stanovení výšky nátlčné hrany se liší v závislosti na typu geometrie a na tloušťce stříhaného materiálu **t**. Pro typ **A** (obr. 18a) a pro typ **B** (obr. 18b) je tento rozměr stanoven vztahů [1]:

$$h_A = \frac{1}{6} \cdot t, \quad (2.1)$$

$$h_B = \frac{1}{3} \cdot t. \quad (2.2)$$

Dále je možné zjistit vzdálenost špičky nátlčné hrany **a** od střížné křivky stříhu. Její velikost se mění v závislosti na její výšce **h**. Dalším vztahem se vypočte odlehčení **h₁** za nátlčnou hranou. Zmíněné parametry hrany se vypočtou [1]:

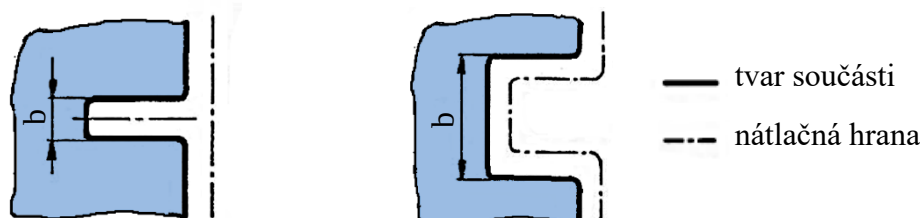
$$a = (0,6 \div 1,2) \cdot h, \quad (2.3)$$

$$h_1 = h + 0,05. \quad (2.4)$$

U komplikovanějších tvarů součástí (například s úzkým zářezem) není vhodné přesné kopírování nátlčné hrany obrysu součástí. Pokud daná nerovnice platí, pak nátlčná hrana nebude kopírovat křivku stříhu (obr. 19a). Jestliže vztah neplatí, bude kopírovat tvar křivky stříhu (obr. 19b). Kontrolní vztah pro zjištění, zdali bude vedena podél, nebo mimo střížnou křivku je uveden [33]:

$$b \leq 15 \cdot h, \quad (2.5)$$

kde: b - šířka zářezu [mm].



a) nátlčná hrana nesleduje křivku stříhu b) nátlčná hrana sleduje křivku stříhu

Obr. 19 Geometrie nátlčné hrany [33].

2.2 Střížná vůle

Dalším významným faktorem, který ovlivňuje proces přesného stříhání je střížná vůle. Střížnou vůlí se rozumí rozdíl velikostí střížníku a střížnice. Její hodnotu počítáme součtem dvou střížných mezer z (obr. 20). Dle její velikosti se odvíjí výsledná kvalita střížné plochy i rozměry výstřížku. U přesného stříhání je až 10krát menší než u běžných metod. Zvolením optimální střížné vůle dojde k oddělení materiálu po ideální křivce a tím se předejde možným nežádoucím vadám. Pokud je střížná vůle příliš malá nebo naopak velká, pak se iniciované křivky mívají a dojde ke zhoršení kvality výsledné střížné plochy. Volbou střížné vůle ovlivňujeme nejenom kvalitu střížné plochy, ale také opotřebení nástroje a energetickou náročnost na stříh. [9; 25; 26]

Pro výpočet optimální střížné vůle v byly odvozeny následující vztahy, v závislosti na tloušťce stříhaného materiálu. Pro materiál o tloušťce $t \leq 3$ mm je dán vzorec (2.6). Ve výpočtu je střížný odpor τ_s běžně uváděn výpočtem $k \cdot R_m$, kde R_m je mez pevnosti a konstanta k se obecně volí 0,8. V některých literaturách se však tato hodnota může lišit, například v předpisech od firmy Feintool je uváděno $k = 0,9$. [1; 26; 39]

$$v = 2 \cdot z = c \cdot t \cdot 0,32 \cdot \sqrt{\tau_s}, \quad (2.6)$$

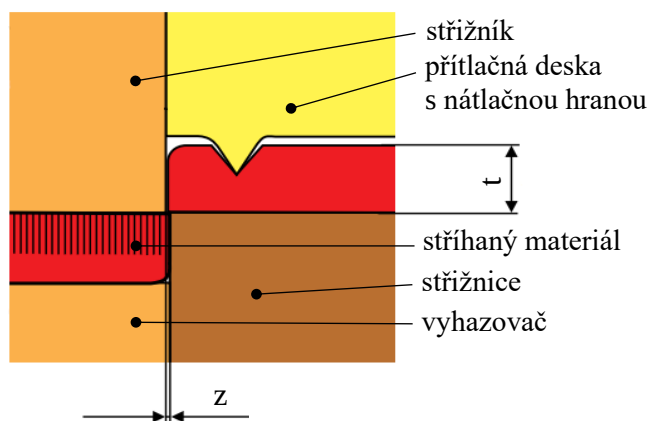
kde: z - střížná mezera [mm],

c - koeficient závislý na druhu stříhání (pro přesné stříhání $c = 7 \cdot 10^{-4}$) [-].

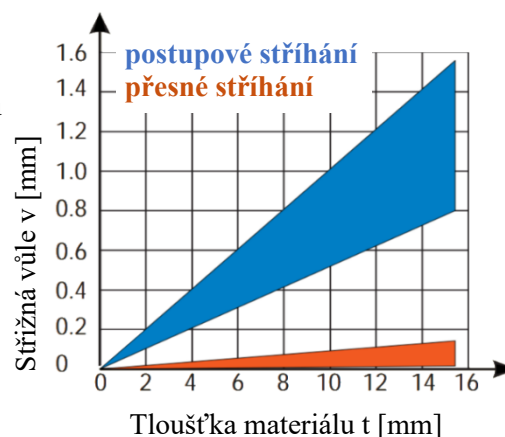
Pro materiály o tloušťce $t > 3$ mm se používá vztah [1]:

$$v = 2 \cdot z = (1,5 \cdot c \cdot t - 0,0015) \cdot 0,32 \cdot \sqrt{\tau_s}. \quad (2.7)$$

V praxi se spíše setkáme se zjednodušeným vztahem 0,5 % tloušťky stříhaného materiálu ($0,005 \cdot t$). Střížná vůle u přesného stříhání s tlačnou hranou bývá obecně výrazně menší v porovnání s postupovým stříháním (obr. 21). Nevýhodou je zvýšení nákladů na dodržení přesných rozměrů střížnic a střížníků. Výhodou menší střížné mezery je však vysoká jakost a přesnost výstřížků. [23]



Obr. 20 Poloha střížné mezery [23].



Obr. 21 Velikost střížných vůlí [23].

2.3 Síly a práce

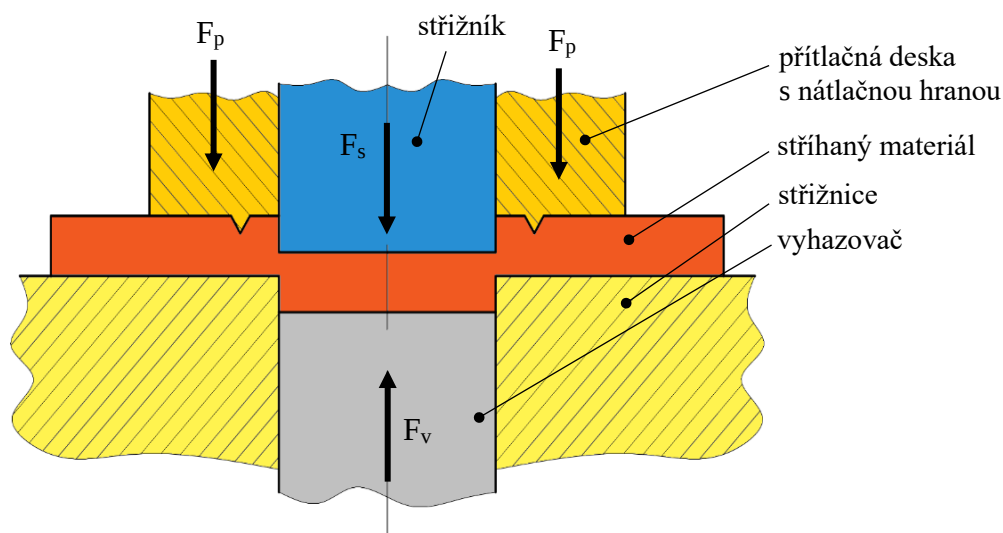
Během střížného procesu s nátlacnou hranou působí tři složky síly. Tyto síly jsou znázorněny na obr. 22. Střížník působí na stříhaný materiál střížnou silou F_s , přítlačná deska tlačí na materiál silou F_p , potřebnou k vtlačení nátlacné hrany do stříhaného materiálu a vyhazovač působí silou naproti střížníku silou F_v , čímž pevně svírá stříhaný materiál. Součet těchto tří sil udává celkovou sílu F_c . [9; 25]

Působením střížné síly F_s dochází k ustřížení stříhaného materiálu. Její velikost je nejvíce ovlivněna materiálem, který se stříhá. Dále pak délkou stříhu a tloušťkou. Velikost střížné síly se vypočte dle vzorce [1]:

$$F_s = n \cdot l \cdot t \cdot \tau_s \cong n \cdot l \cdot t \cdot 0,8 \cdot R_m, \quad (2.8)$$

kde: l - délka stříhu [mm],

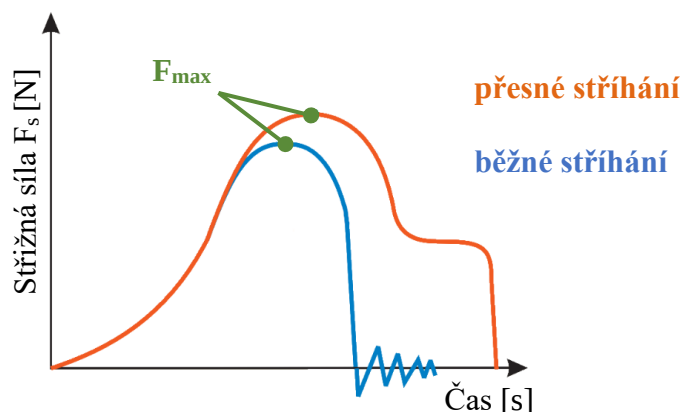
n - koeficient otupení střížníku (volí se $1,2 \div 1,5$) [-].



Obr. 22 Síly působící při přesném stříhání s tlačnou [25].

V reálné situaci se velikost střížné síly uvažuje až o 25 % větší, protože při reálných podmínkách nedochází pouze k čistému smyku, ale působící namáhání jsou kombinovaná. Při stříhání houževnatých materiálů musíme počítat se zpevňováním materiálu a tím zvýšení střížného odporu a potřebné střížné síly. U křehkých materiálů dojde k porušení již při nepatrném vniknutí střížníku do materiálu. [9; 25]

Rozdílný průběh sřížné síly při běžném sříhání a přesném sříhání je znázorněn na obr. 23. Jak již bylo zmíněno výše, na grafu je vidět výrazně vyšší maximální síla u přesného sříhání. Při klasickém sříhu také sřížná síla rychleji klesá. [9; 25]



Obr. 23 Porovnání sřížné síly při běžném a přesném sříhání [23].

Síla přitlačné desky F_p potřebná k zatlačení nátlachné hrany do sříhaného materiálu. Její velikost závisí především na odporu sříhaného materiálu a uspořádání nátlachné hrany. Velikost odporu materiálu proti vnikání hran lze zjednodušeně nahradit vztahem $k_m \approx 4 \cdot R_m$. [25]

Síla přitlačné F_p desky se vypočítá dle vztahu [1]:

$$F_p = k_m \cdot L_h \cdot h \cong 4 \cdot R_m \cdot L_h \cdot h, \quad (2.9)$$

kde: L_h - délka nátlachné hrany [mm].

Síla na vyhazovači F_v působí vždy proti sřížníku a je vždy menší než síla sřížná. Její hodnota je nejvíce ovlivněna velikostí plochy sříhané součásti. Měrný tlak nabývá hodnot v rozmezí 30 až 70 MPa. V případě spojení technologických operací sříhání a ohýbání může měrný tlak vzrůst až na 150 MPa. [25]

Síla na vyhazovači F_v je dána vztahem [1]:

$$F_v = S \cdot p, \quad (2.10)$$

kde: S - plocha sříhané součásti [mm²],
 p - měrný tlak [MPa].

Velikost sřížné práce lze určit z průběhu sřížné síly, která je na ní přímo závislá. Při sříhání rovnoběžnými noži je sřížná práce dána plochou pod křivkou v závislosti sřížné síle. Výpočet sřížné práce A_s se vypočte dle vztahu [34]:

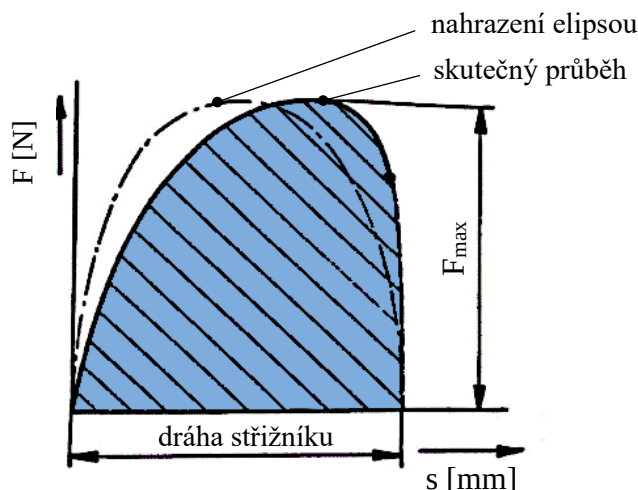
$$A_s = F_s \cdot t \cdot \lambda, \quad (2.11)$$

kde: λ - součinitel zaplnění pracovního diagramu (volí se 0,2 ÷ 0,75) [-],
 F_{smax} - maximální hodnota sřížné síly [N].

Skutečnou křivku sřížné síly lze pro zjednodušení aproximovat (obr. 24). Plnou čarou je znázorněn skutečný průběh sřížné síly, čerchovanou čarou je znázorněno nahrazení elipsou. Následně lze sřížnou práci A spočítat dle vztahu [34]:

$$A_z = \frac{\pi}{4} \cdot F_{smax} \cdot s_1, \quad (2.12)$$

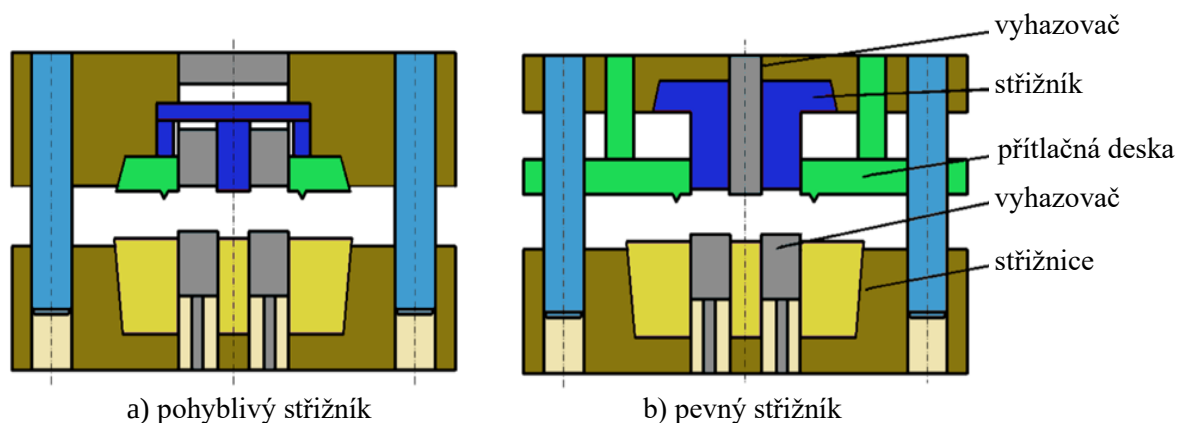
kde: s_1 - dráha sřížníku při sříhu [mm].



Obr. 24 Aproximace průběhu střížné síly [34].

2.4 Konstrukce nástrojů

Na nástroje pro technologii přesného stříhání jsou kladeny vysoké požadavky, především na dodržení minimální střížné mezery, přesnost a tuhost nástroje. Z konstrukčního hlediska se nástroje pro přesné stříhání dělí do dvou základních skupin. První z nich jsou nástroje s pevným střížníkem a pohyblivým přidržovačem (obr. 25a). Do druhé skupiny se řadí nástroje s pohyblivým střížníkem a pevným přidržovačem (obr. 25b). [8; 25; 36]

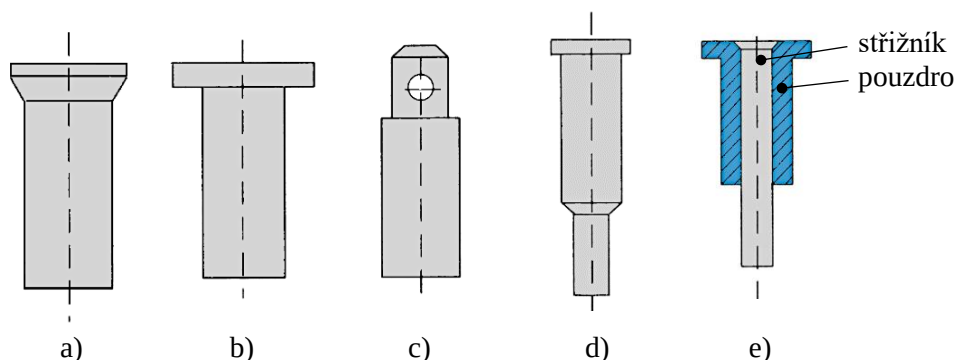


Obr. 25 Schémata střížných nástrojů [36].

V praxi je používanější variantou konstrukce nástroje s pohyblivým střížníkem a pevným přidržovačem. Střížnice a přidržovač s tlačnou hranou jsou upevněny pevně, zatímco střížník je pohyblivý a při stříhání je veden přidržovačem. Vedením střížníku pomocí přidržovače zamezíme působení vznikajících bočních sil, snižující kvalitu výstřižku. Tento systém zajišťuje vysokou přesnost, životnost nástroje a jakost stříhaného materiálu. Nástroj je vhodný pro symetrické součástky do tloušťky 5 mm. Méně používanou konstrukcí nástroje je typ s pevným střížníkem a pohyblivým přidržovačem. Oproti konstrukci s pevným přidržovačem vznikají během vtlačování přidržovače do materiálu boční síly a vychylují střížník. [8; 25; 35]

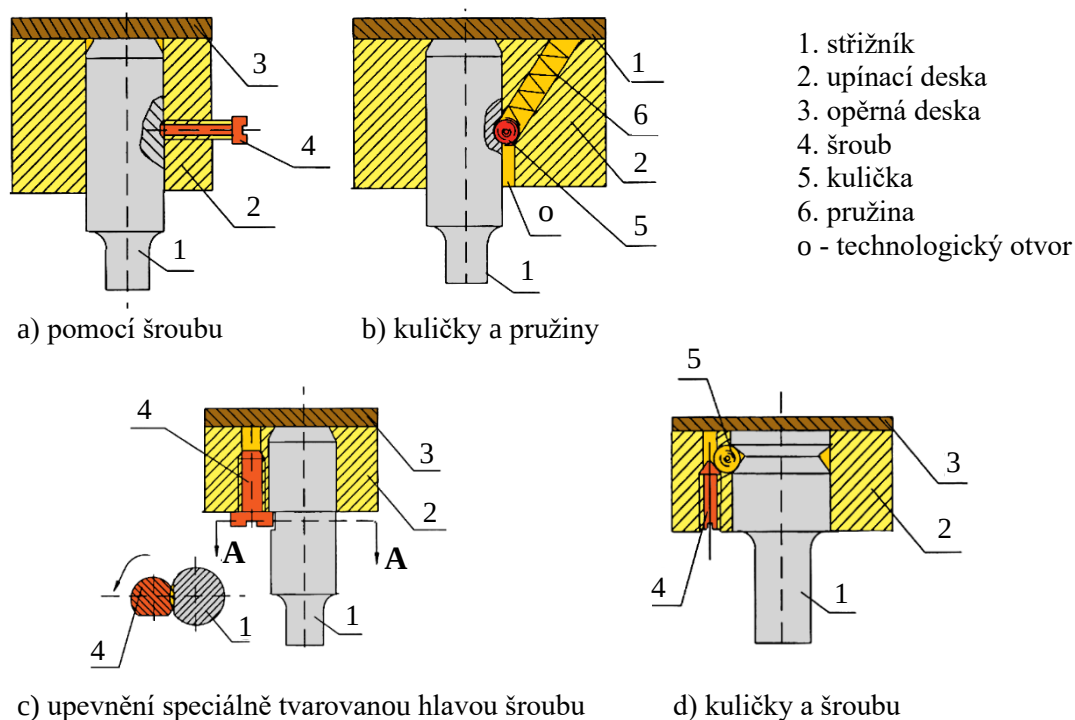
Střížníky slouží k vystřihování požadovaných tvarů ze stříhaného materiálu. S jejich výrobou jsou spjaty vysoké požadavky na pevnost, tuhost, kolmé upevnění, a především přesnost rozměrů. Všechny tyto parametry, více či méně ovlivňují výslednou kvalitu výstřižků. Střížník musí mít také dostatečnou délku a zajištění proti protáčení, které vzniká působícími silami. Upevnění je vzhledem k vysoké pravděpodobnosti možného poškození střížníků navrženo tak, aby byla zaručena jejich rychlá demontáž a výměna za nový.

Standartně se používá upevnění na pevně viz. obr. 26. Z technologického hlediska musí být konstrukce navržena tak, aby vydržela nárazy a zamezilo se vybočení či průhybu střížníku. Těmto potencionálním problémům se předchází pomocí zvětšení průměru těla střížníku, případně vedením v pouzdře, které jsou znázorněny na obr. 26d a obr. 26e. [8; 35]



Obr. 26 Pevné upínání [35].

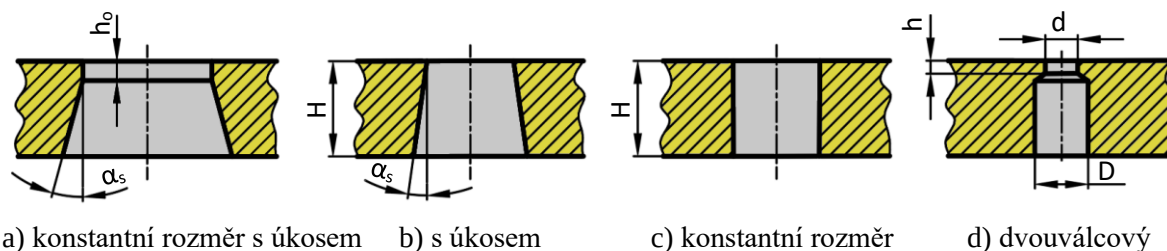
Další možný návrh upevnění střížníku, tak aby se dal v co nejkratším čase vyměnit, je pomocí rychloupínání. Například upnutí šroubem, který brání jejich vypadnutí a rotaci (obr. 27a), nebo pomocí šroubu a kuličky, kde šroub zatlačí kuličku do technologického zúžení ve střížníku a takto fixuje střížník v požadované poloze (obr. 27d). Další možnosti rychloupínání jsou znázorněny na obr. 27. Střížníky upevněné tímto nebo obdobným způsobem lze v případě poškození velmi jednoduše, a především rychle vyměnit. [8; 35]



Obr. 27 Možnosti rychloupínání střížníku [35].

Dalším a také nejnákladnějším prvkem funkční části střížného nástroje je střížnice. Vyrábí se z jedné nebo více částí a její celkový rozměr závisí na rozměru výstřižku. Mohou mít obdélníkový nebo kruhový tvar a jsou dělené nebo celistvé. Nejvíce namáhané části, u kterých je vyšší riziko ulomení, mívají vsazenou vyměnitelnou vložku. Další funkcí vložky může být získání vyšší přesnosti. Při provozu se střížnice rychle otupí a je potřeba ji opakovaně přebrousovat. Kromě namáhání na otlacení hrozí ulpívání materiálu ve střížnici, čemuž je potřeba zabránit pomocí konstrukčních úprav. [8; 35]

Výška h_0 musí být vždy větší než tloušťka výstřižku a pohybuje se v rozmezí 3 až 15 mm. Úkos α_s bývá zpravidla 3 až 5°. Tloušťky střížnic H bývají většinou od 18 až do 30 mm. Varianty možných tvarů střížnic jsou znázorněny na obr. 28. [8; 35]



Obr. 28 Konstrukční provedení střížnic [35].

Mezi další prvky nástroje patří přítlačná deska a vyhazovač. Přítlačná deska s tlačnou hranou slouží k sevření materiálu mezi ní a střížnicí. Při konstrukci přidržovače je důležité dbát na správnou geometrii tvaru tlačných hran. Obdobně jako střížnice může mít obdélníkový nebo kruhový tvar a může být dělená nebo nedělená. Využití vyhazovače spočívá v sevření materiálu mezi střížníkem a vyhazovačem při střížném procesu. Druhou funkcí je vyhození výstřižku po dokončeném stříhání. Ve střížnici musí být ustavený tak, aby nad ni přechýlával o 0,1 až 0,2 mm. Vyhazovač se zajišťuje proti pootočení a vypadnutí. Doporučené materiály pro výrobu jednotlivých funkčních součástí jsou znázorněny v tab. 4. [8; 25; 36]

Tab. 4 Doporučené materiály funkčních částí nástroje [25].

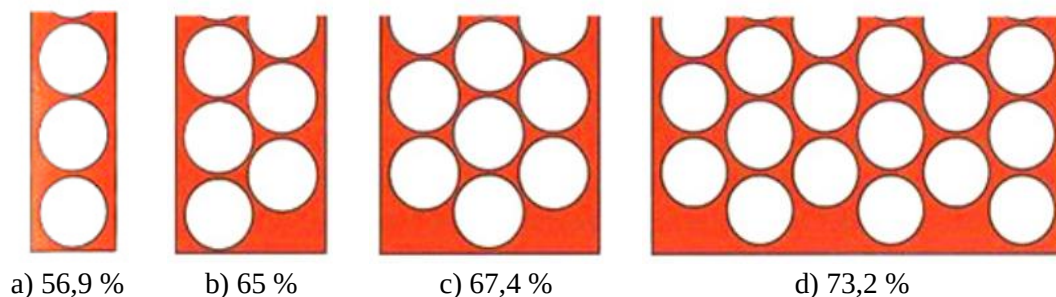
Funkční část nástroje	Materiál	Tepelné zpracování
Střížnice	19 436 19 437 slinutý karbid	kaleno a popuštěno na: 61 až 63 HRC pro $s = 0,4 \div 3$ mm 58 až 61 HRC pro $s = 3 \div 7$ mm
Střížník kruhový	19 437 slinutý karbid	59 až 61 HRC pro $s = 0,4 \div 3$ mm 58 až 60 HRC pro $s = 3 \div 7$ mm
Střížník tvarový	19 312 slinutý karbid	59 až 61 HRC
Přidržovač	19 437	55 až 57 HRC
Vyhazovač	19 436	58 až 60 HRC
Tlačný kolík	19 421 19 422	59 až 61 HRC
Opěrná deska	19 436	58 až 60 HRC
Zděř	19 452	55 až 67 HRC

2.5 Technologičnost

Součást pro technologii přesného stříhání musí především vyhovovat základním požadavkům na její vyrobiteľnost a technologičnost konstrukce. Mezi sledované konstrukční parametry řadíme například [1; 2; 37]:

- minimální průměr otvoru a minimální šířka drážky,
- minimální vzdálenost mezi otvory,
- minimální vzdálenost mezi otvorem a hranou,
- poloměry rohů a hran.

Nedodržení některého z parametrů znamená snížení kvality výrobků a snížení životnosti nástrojů. Následně se technologičnost zabývá samotným výrobním procesem při co nejmenších možných nákladech, ale s udržením vyhovující jakosti výrobku. Jednou z největších položek nákladů na výrobu je materiál. Ten může tvořit až 90 % celkových výrobních nákladů, a proto se vždy snažíme omezit zbytečný odpad. Jednou z možností vytvoření úspory materiálu je použití víceřadého uspořádání, které je znázorněno na obr. 29, včetně jednotlivých procentuálních úspor využití materiálu. [1; 2; 37; 38]

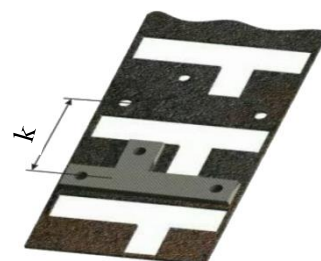


Obr. 29 Rozmístění výstřižků [38].

Úsporu na materiálu lze také docílit upravením nástřihového plánu. Základní typy uspořádání jsou uvedeny na obr. 30. Umístění je možné s přepážkou a bez přepážky. Při použití technologie přesného stříhání s tlačnou hranou se bez přepážkový stříh nepoužívá z důvodu potřeby přepážky na zatlačení nátlacné hrany. Stříh bez přepážek je vhodné použít při klasickém postupovém stříhání. [1; 2; 37; 38]

Typ uspořádání	s přepážkou	bez přepážky
přímé		
jednořadé		
víceřadé		
šikmé		
vstřícné		

Obr. 30 Uspořádání výstřižků [37].



a) neefektivní uspořádání



b) po tvarové úpravě

Obr. 31 Změna konstrukce [38].

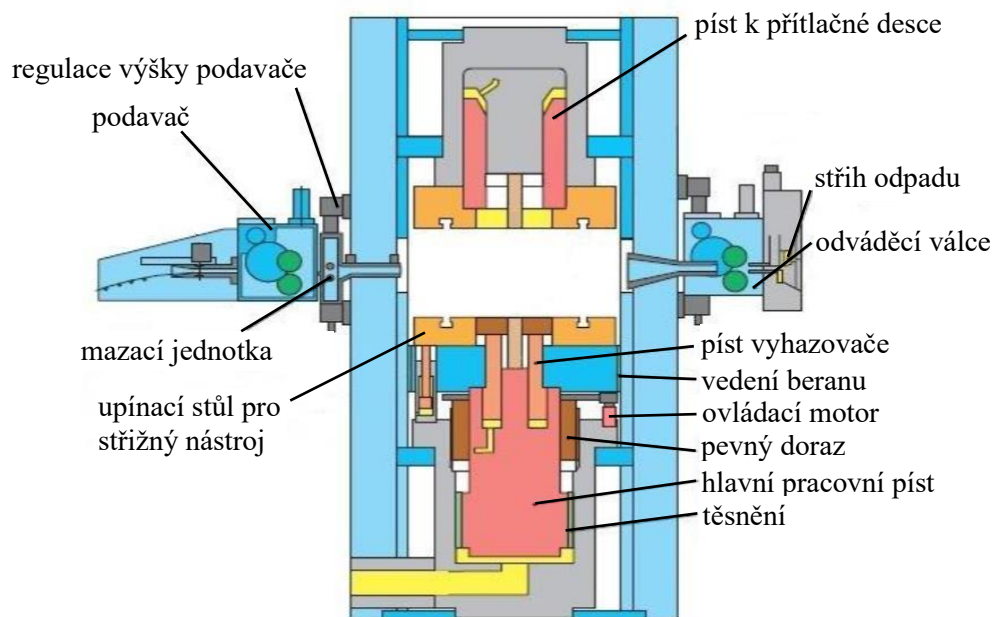
Součást lze také posoudit skrze konstrukční hledisko, které může rovněž vytvořit úsporu na materiálu. Rozvětvené tvary výstřižku jsou velmi neúsporné, a proto je vhodnější hledat tvary spojitě. Na obr. 31a je znázorněný nástřihový plán před úpravou, u něhož vzniká velké množství odpadu a na obr. 31b již po úpravě. Změnil se tvar vyráběné součásti, ale její funkce a použitelnost zůstala stejná, případně minimálně změněná tak, aby mohla stále plnit svůj účel. Tímto způsobem se také výrazně zjednoduší střižný proces, protože odpadá potřeba otáčení pásu plechu. Také čím jednodušší tvar obrysu se vystřihuje, tím je snazší a levnější výroba nástroje, včetně jeho údržby, zvláště u malých výstřižků. [37; 38]

2.6 Používané stroje

Pro technologii přesného stříhání se převážně používají troj-činné automatické lisy. Tyto lisy dále dělíme na jednočinné mechanické nebo hydraulické lisy. Troj-činný lis používáme kvůli jeho schopnosti vyvodit všechny tři potřebné síly (F_s , F_v , F_p). V praxi se používají spíše hydraulické lisy, protože jejich technologie zabezpečuje plynulý a přesný provoz. Lis využívá k vytvoření potřebné střížné síly tlakovou kapalinu a pístový mechanismus. Schéma principu hydraulického lisu je uvedeno na obr. 32. Průběh práce lisu lze rozdělit do tří základních pohybů: uzavření nástroje, vlastní stříh a otevření nástroje. Vzhledem ke snaze automatizace celého procesu se velmi často používá svitkový polotovar. Zde je nutné použití odvíjecího zařízení, které plynule přivádí plech do lisu, dále příslušenství pro podávání a rovnání plechu a další části výrobní linky. Mezi hlavní požadavky na lis patří především [8; 25; 35]:

- lis musí být opatřen bezpečnostní pojistkou proti přetížení,
- maximální síla přidržovače musí být 40 % jmenovité tvářecí síly lisu a maximální síla vyhazovače musí být 20 % jmenovité tvářecí síly lisu,
- střížná rychlost by neměla překročit $10 \text{ mm} \cdot \text{s}^{-1}$,
- vedení beranu musí být bez vůle,
- lis musí vyhovovat hospodárné výrobě součástí.

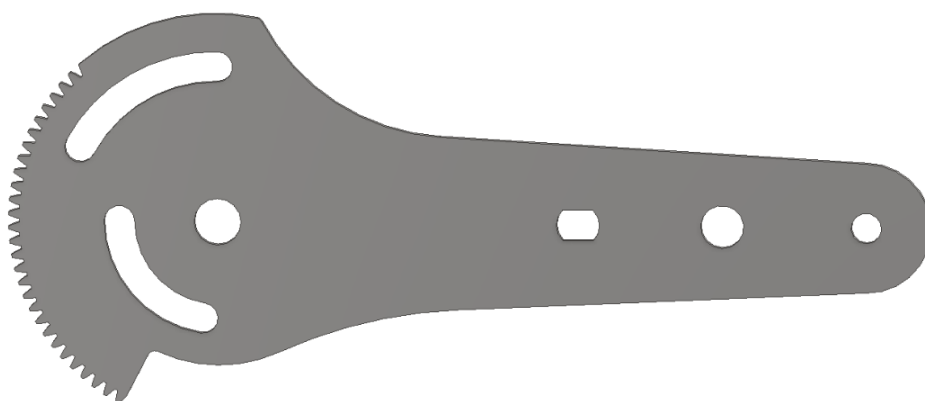
Mezi významné zahraniční výrobce hydraulických lisů patří firma Feintool, která působí mimo jiné i v ČR. A mezi české výrobně můžeme zařadit firmy Žďas a. s., Šmeral Brno a. s., Invera s. r. o. a další.



Obr. 32 Schéma hydraulického lisu [35].

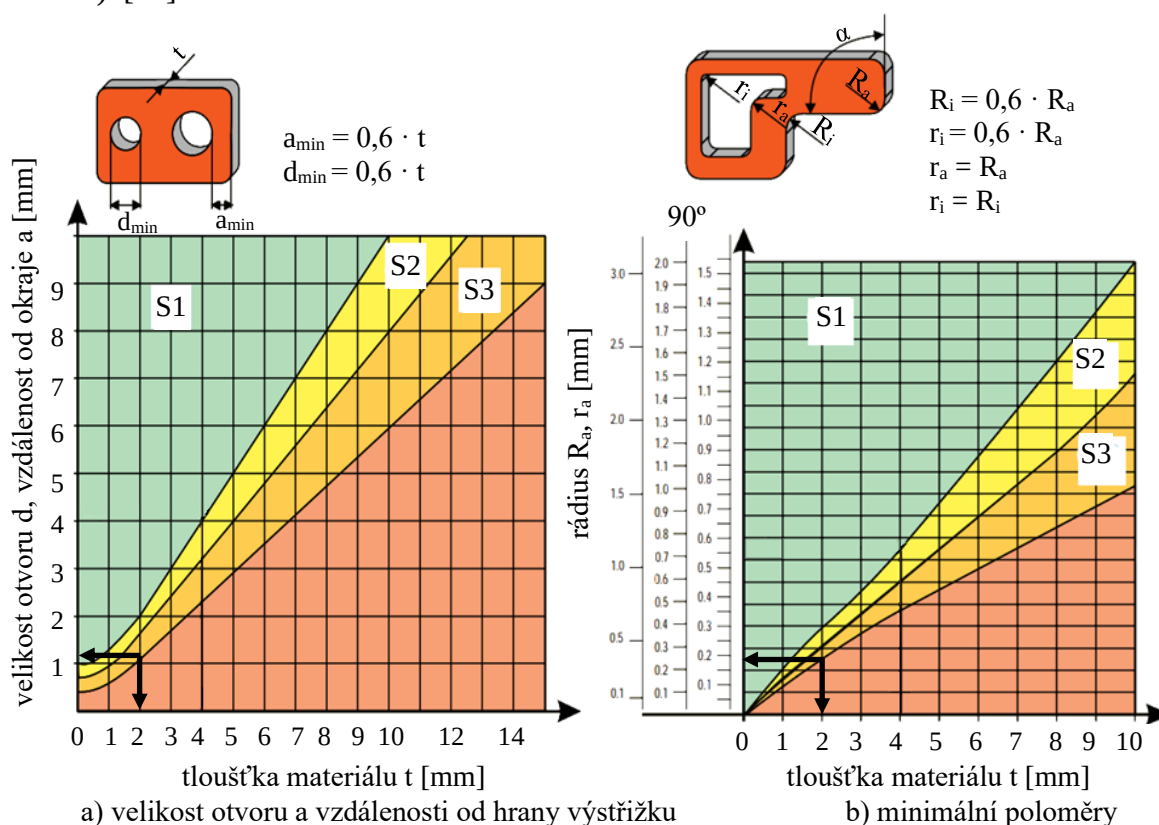
3 NÁVRH TECHNOLOGIE VÝROBY

Vyráběnou součástí je polohovací segment sedačky (obr. 33) zvolenou technologií přesného stříhání s nátlacnou hranou. Pro výrobu je navržena konstrukční ocel 11 373. Před začátkem potřebných technologických výpočtů je nejprve nutné zkontrolovat vyrobitelnost součásti zvolenou metodou. Kontrolují se především nomogramy pro technologické parametry výstřižku (obr. 34), v nichž mají značky S1, S2, S3 význam stupně obtížnosti vytvoření požadovaného prvku. S nimi také souvisí opotřebování střižného nástroje. Čím je stupeň nižší, tím se obtížnost prvku i opotřebení nástroje snižuje, což zvyšuje jeho životnost. [23; 39]



Obr. 33 Vyráběná součást.

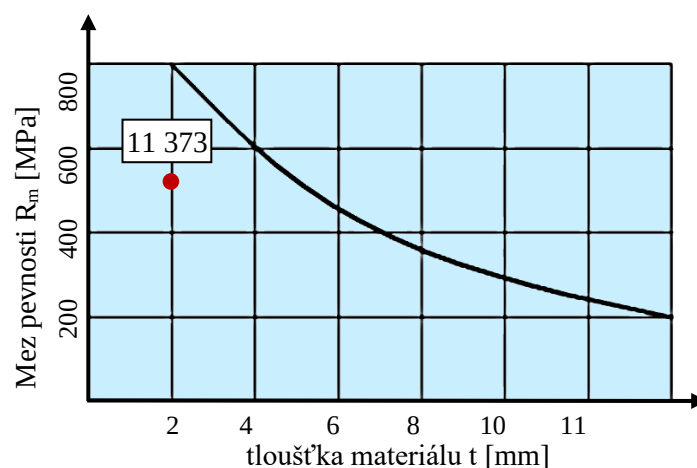
Dle prvního nomogramu (obr. 34a) byl zkontrolován minimální průměr a vzdálenost díry od hrany výstřižku. Pro materiál o tloušťce 2 mm byl zjištěn minimální vyrobitelný průměr $d_{\min} = 1,2$ mm a minimální povolená vzdálenost od hrany $a_{\min} = 1,2$ mm. Z druhého nomogramu byl odečten minimální poloměr vnějšího zaoblení výstřižku R_a , $r_a = 0,25$ mm a pro minimální vnitřní rádius byla následně zjištěna hodnota R_i , $r_i = 0,15$ mm (viz. schéma na obr. 34b). [23]



Obr. 34 Nomogramy pro kontrolu technologických parametrů výstřižku [35].

Nejmenší vyráběný otvor na součásti nabývá průměru 8,5 mm, což vyhovuje minimálně odečtené hodnotě, a také se nachází v nejmenším stupni obtížnosti S1. Nejmenší vzdálenosti otvorů od hrany výstřižku jsou rovny 7,5 mm a také plně vyhovuje minimální hodnotě. Nejmenší poloměr zaoblení se nachází na vnitřní části ozubení s hodnotou $R_{\min} = 0,2$ mm, což opět vyhovuje, ale je již hraniční. Dle kontrolovaných parametrů je součást vyhovující a je možné ji vyrobit bez nutných úprav. Z hlediska rozměrové přesnosti je na součásti použita nejpresnější tolerance IT 7, která je technologií přesného stříhání s nátlacnou hranou běžně dosažitelná. Ostatní rozměry součásti jsou tolerované dle všeobecných tolerancí a úchylek střední třídy ČSN ISO 2768 - mK. Minimální požadovaná drsnost povrchu je $R_a = 0,8$ μm . Této jakosti střížného povrchu lze také vybranou technologií dosáhnout. [23]

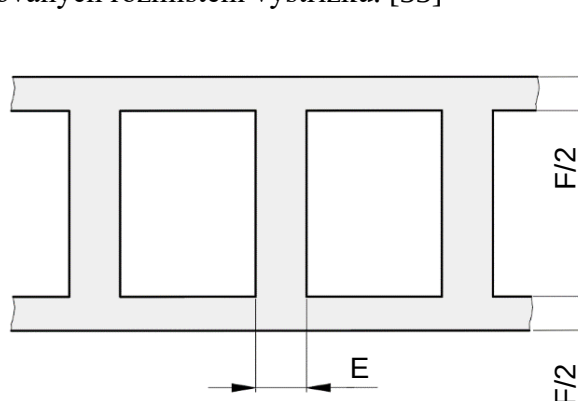
Zvoleným výrobním materiálem je ocel 11 373, tedy konstrukční ocel, která vyhovuje pro předpokládané namáhání na ohyb. Mez pevnosti uvedené oceli se pohybuje od 340 do 470 MPa. V zájmu snížení opotřebení nástrojů by dle grafu na obr. 35 tato hodnota neměla překročit 800 MPa v závislosti na tloušťce stříhaného materiálu. Což v tomto případě nepřekračuje a leží pod křivkou, tudíž je v normě. Z hlediska bezpečnosti se pro další výpočty volí nejhorší možná hodnota, tedy $R_m = 470$ MPa. Více informací ohledně základních mechanických vlastností a chemickém složení je uvedeno výše v tab. 2 a 3. [23; 39]



Obr. 35 Hospodárné využití nástrojů [23].

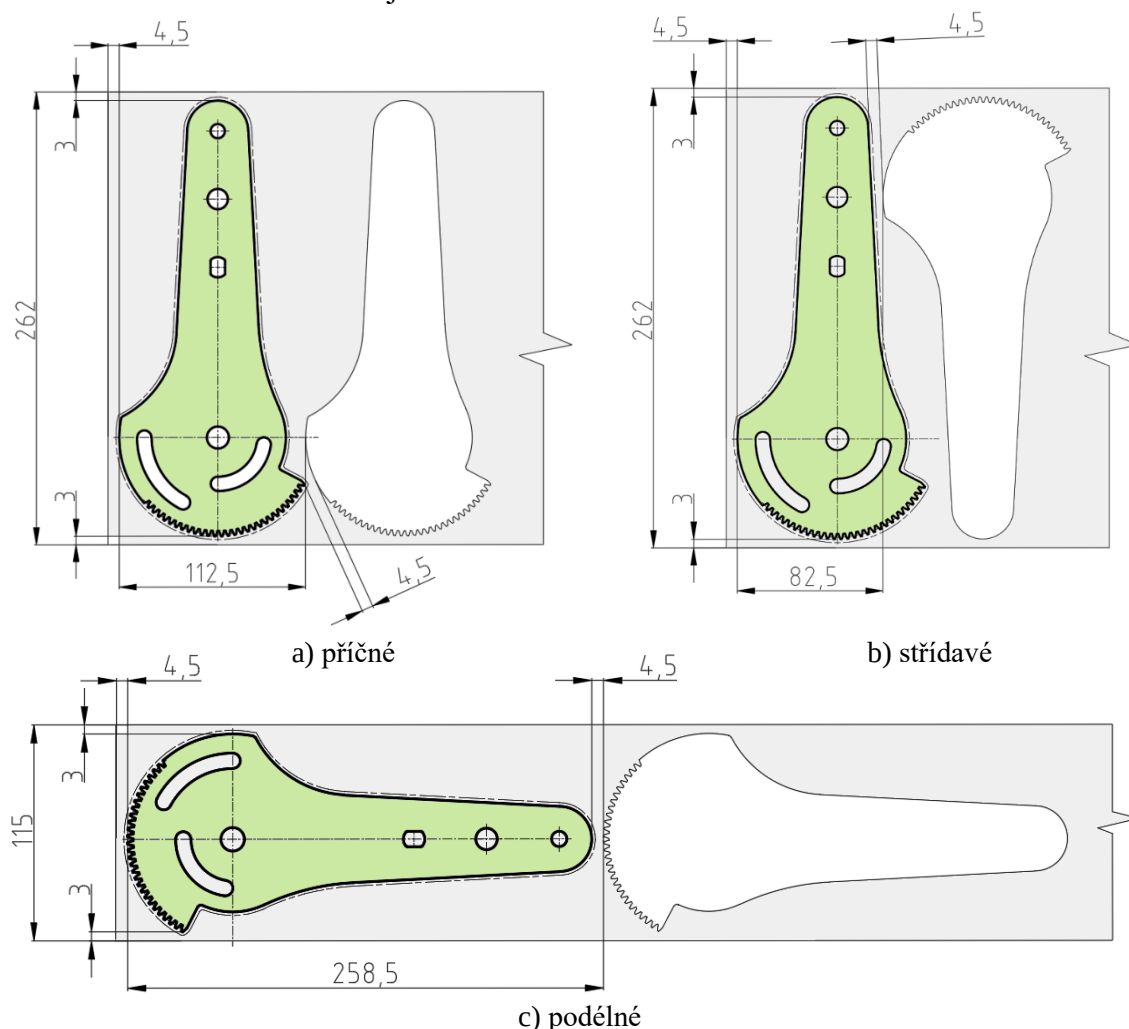
3.1 Využití materiálu

Mezi řešené parametry využití materiálu patří velikost můstku E a postranního odpadu F . Z tabulkových hodnot uvedených v příloze č. 2 byly pro řešené parametry odečteny hodnoty $E = 4,5$ mm a $F = 6$ mm (obr. 37). Pomocí zjištěných parametrů bylo dále možné vypočítat spotřebu materiálu navrhovaných rozmístění výstřižků. [33]



Obr. 37 Umístění velikosti můstku a postranního odpadu [33].

Byla vypočítána spotřeba materiálu a procentuální využití jednotlivých rozmístění výstřižků. Celkem byly vybrány tři různé varianty uspořádání součástí v rámci rozmístění výstřižků a to příčné, střídavé a podélné. Všechny řešené možnosti jsou zobrazeny na obr. 38. Následně bylo skrze výpočty využitelnosti materiálu zvoleno nejvhodnější rozmístění. Ocel může být pro výrobu dodávána buď ve formě tabulí, které jsou dále zpracovány na pásy, nebo jako svitky plechu. Pro obě možnosti byly v další části provedeny výpočty na procentuální využití materiálu a zvolena ekonomičtější možnost.



Obr. 38 Varianty rozmístění výstřižků.

Využitelnost materiálu pro jednotlivé varianty rozmístění byla počítána vždy pro zvolený počet kusů výstřižků a následně bylo provedeno porovnání a zhodnocení. V tomto případě je výpočet proveden pro $P_d = 10$ ks. Potřebná délka pásu pro hodnocený počet kusů se vypočetla vynásobením s délkou jednotlivého kroku K . Plocha plného tvaru součásti S_v byla spočtena programem Autodesk Inventor Professional 2022 a je rovna 14 529,5 mm² [40]. Vzorový výpočet využitelnosti materiálu při využití příčného uspořádání $V_{příč}$ je uveden níže a pro zbylé uspořádání bylo analogicky vypočteno a porovnáno v tab. 5.

$$V_{příč} = \frac{P_d \cdot S_v}{\check{S}_p \cdot S_d} \cdot 100 = \frac{10 \cdot 14\,529,5}{262 \cdot 1\,125} \cdot 100 = 49,29 \%, \quad (3.3)$$

kde: $\check{S}_p$ - šířka pásu [mm],
 S_d - stříhaná délka pásu pro 10 kusů [mm],
 $S_d = K \cdot P_d = 112,5 \cdot 10 = 1\,125$ mm.

Tab. 5 Procentuální využití pásů plechu pro 10 výstřížků.

typ uspořádání	příčné	střídavé	podélné
délka pásu [mm]	1 125	825	2 585
počet kusů na pásu [-]	10	10	10
šířka pásů [mm]	262	262	115
procentuální využití [%]	49,29	67,22	48,88

Z tabulky je patrné, že střídavé uspořádání má nejlepší procentuální využití, a proto bylo zvoleno jako výrobní. Jak již bylo zmíněno, pásy plechu je možné získat dvěma způsoby. Buď využít tabulí plechu, které by byly nastříhány na pásy o přesně definované šířce nebo použití svitkového polotovaru. Možné rozměry tabulí jsou 2 x 1 000 x 2 000, 2 x 1 250 x 2 500, 2 x 1 500 x 3 000 mm, dělené vertikálně a svitky plechu o přesně definované šířce, délce a rozměry celého svitku. Výpočet pro využití tabule plechu o rozměrech 2 x 1 000 x 2 000 mm:

- Počet pásů P_p z jedné tabule:

$$P_p = \frac{\check{S}_t}{\check{S}_p} = \frac{1\,000}{262} = 3,82 \cong 3 \text{ ks}, \quad (3.4)$$

kde: $\check{S}_t$ - šířka tabule [mm].

Výsledné hodnoty musí být zaokrouhleny směrem dolů na celé číslo, protože nelze použít pás o menších rozměrech.

- Určení výstřížků z pásu P_v :

$$P_v = \frac{d_t}{K} = \frac{2\,000}{82,5} = 24,24 \cong 24 \text{ ks}, \quad (3.5)$$

kde: d_t - délka tabule [mm].

Výstřížky musí být taktéž zaokrouhleny, jinak by se počítalo s neúplným výstřížkem.

- Počet výstřížků z jedné tabule P_{ct} :

$$P_{ct} = P_p \cdot P_v = 3 \cdot 24 = 72 \text{ ks}. \quad (3.6)$$

- Procentuální využití z tabule V_{pt} :

$$V_{pt} = \frac{P_{ct} \cdot S_v}{S_t} \cdot 100 = \frac{72 \cdot 14\,529,5}{2\,000\,000} \cdot 100 = 52,31 \%, \quad (3.7)$$

kde: S_t - plocha tabule [mm].

Tab. 6 Porovnání vypočtených využití.

rozměry tabule [mm]	1 000 x 2 000	1 250 x 2 500	1 500 x 3 000
počet pásů [ks]	3	4	5
počet výstřížků z jednoho pásu [ks]	24	30	36
celkem výstřížků [ks]	72	120	180
využití tabule [%]	52,31	55,79	58,12

Největší využitelnost vychází z největšího formátu tabule a to 58,12 %. Pro srovnání byla spočtena i varianta s použitím svitkového polotovaru. Pro svitky se obecně používají rozměry vnějšího průměru $D_s = 1\,200$ mm a vnitřního průměru $d_s = 500$ mm. S těmi to rozměry byly provedeny výpočty pro určení procentuálního využití pomocí následujících vzorců:

- Délka pásu plechu navinutého na svitek L_s :

$$L_s = \frac{\pi \cdot (D_s^2 - d_s^2)}{4 \cdot t} = \frac{\pi \cdot (1\,200^2 - 500^2)}{4 \cdot 2} = 467\,311,91 \text{ mm.} \quad (3.8)$$

- Počet výstřížků ze svitku P_{vs} :

$$P_{vs} = \frac{L_s}{d_k} = \frac{467\,311,91}{82,5} = 5\,664,38 \cong 5\,664 \text{ ks.} \quad (3.9)$$

Zaokrouhluje se směrem dolů, protože je potřeba úplného výstřížku.

- Výpočet pro celkovou plochu pásu plechu S_c :

$$S_c = L_s \cdot \check{S}_p = 467\,311,91 \cdot 262 = 122\,435\,720,4 \text{ mm}^2 \cong 122,44 \text{ m}^2. \quad (3.10)$$

- Procentuální využití ze svitku V_{ps} :

$$V_{ps} = \frac{P_{vs} \cdot S_v}{S_s} \cdot 100 = \frac{5\,664 \cdot 14\,529,5}{122\,435\,720,4} \cdot 100 = 67,21 \%. \quad (3.11)$$

Využitelnost plechu navinutého na svitek dosahuje 67,21 %, což je ještě více než při použití nejlepší varianty tabulí. Dalším předpokladem pro volbu svitku je tloušťka stříhaného plechu $t = 2$ mm, protože při takto velkých výrobních sériích se využití svitků většinou předpokládá, skrze vyšší využitelnost materiálu a praktičtější použití. Pro celou sérii 200 000 kusů výstřížků je také spočten potřebný celkový počet svitků X_c :

$$X_c = \frac{Q}{P_{vs}} = \frac{200\,000}{5\,664} = 35,31 \cong 36 \text{ ks,} \quad (3.12)$$

kde: Q - výrobní série [ks].

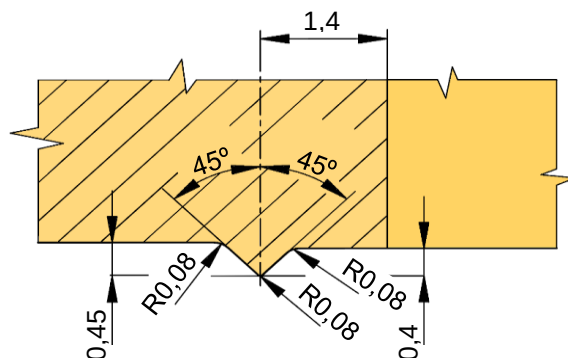
Spočtená hodnota se musí zaokrouhlit na celé vyšší číslo, protože se u dodavatele objednávají pouze celistvé svitky. Na výrobu celé série bude tedy potřeba 36 kusů svitků.

3.2 Nátlačná hrana a střížná vůle

Jelikož tloušťka stříhaného materiálu je $t = 2$ mm, a tedy splňuje limit do 4 mm, konstruuje se pouze jedna nátlačná hrana, vytvořená na přítlačné desce. Vzhledem k méně tvárnému materiálu je zvolena konstrukce s úhly o velikosti 45° . Potřebné konstrukční rozměry je možné určit dle rovnic (2.1), (2.3) a (2.4), ale v tomto případě bylo využito již předepsaných tabulkových směrnic pro přesné stříhání od firmy Zbrojovka Brno (příloha 3). Mezi různými literaturami jsou však jisté rozdíly. Například u podkladů od firmy Feintool chybí zaoblení špičky nátlačné hrany a také je zde pouze jednotná výška hrany h , namísto h a h_1 . Zvolená konstrukce dle Zbrojovky Brno s vyznačenými rozměry je zakreslena na obr. 36. Konkrétní hodnoty odečtené z tabulky jsou následující [23; 39]:

- vzdálenost vrcholu nátlačné hrany od stříhaného obvodu $a = 1,4$ mm,
- výška tlačné hrany $h = 0,4$ mm,
- poloměr zaoblení $R = 0,08$ mm,
- výška tlačné hrany z vnější strany h_1 se spočítá dle vzorce (2.2):

$$h_1 = h + 0,05 = 0,4 + 0,05 = 0,45 \text{ mm.}$$



Obr. 36 Geometrie nátláčné hrany [41].

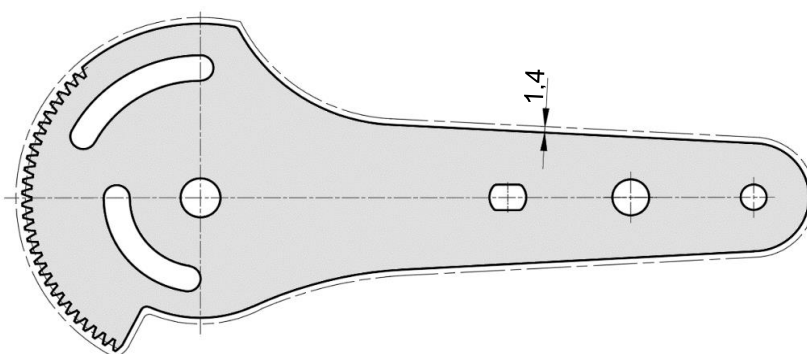
Součást obsahuje vnější tvarové výstupky (v tomto případě jemné ozubení) a je nutné zkontrolovat a určit polohu nátláčné hrany. K tomu je využit vztah (2.5). Pokud tato nerovnice platí, je nátláčná hrana vedena pouze přibližně podél obrysu stříhané součásti, v opačném případě se volí tak, aby kopírovala přesný tvar křivky stříhu.

$$b \leq 15 \cdot h,$$

$$2,24 \leq 15 \cdot 0,4,$$

$$2,24 \leq 6.$$

Z výpočtu je tedy zřejmé, že je nerovnice platná, a proto nátláčná hrana nemůže kopírovat křivku stříhu součásti. Ozubení je totiž příliš jemné. Hrana bude umístěna pouze přibližně nad vrcholky jednotlivých zubů a bude vedena po celém obvodu součásti (obr. 37) ve vzdálenosti $a = 1,4$ mm.



Obr. 37 Umístění nátláčné

Mezi střížníkem a střížnicí se při střížném procesu nachází střížná vůle, která má významný vliv na výslednou kvalitu výstřížku. Její výpočet je určen ze vztahů, jenž vychází z tloušťky stříhaného materiálu a vzhledem k tloušťce $t = 2$ mm je výpočet dle vzorce (2.6):

$$v = 2 \cdot z = c \cdot t \cdot 0,32 \cdot \sqrt{\tau_s} = 7 \cdot 10^{-4} \cdot 2 \cdot 0,32 \cdot \sqrt{0,8 \cdot 470} = 0,009 \text{ mm}.$$

Obecně platí, že střížnou vůli u přesného stříhání lze stanovit jako 0,5 % tloušťky stříhaného materiálu tedy:

$$v = 0,005 \cdot t = 0,005 \cdot 2 = 0,01 \text{ mm}. \quad (3.13)$$

Porovnáním obou výsledků je zřejmé, že rozdíl hodnot je velmi malý a výsledný rozměr by se obtížně měřil, pro další výpočty je tedy zvolena střížná vůle dle zjednodušeného výpočtu $v = 0,01$ mm. Na základě zjištění střížné vůle je možné určit i střížnou mezeru, která je stanovena:

$$z = 0,5 \cdot v = 0,5 \cdot 0,01 = 0,005 \text{ mm}. \quad (3.14)$$

3.3 Střížná síla a práce

Pro následné zvolení vhodného lisu je zásadní určit celkovou střížnou sílu. Její složky je nutné počítat především s ohledem na tloušťku a vlastnosti stříhaného materiálu. Podrobněji je tato problematika popsána výše v kap. 2.3.

Střížná síla F_s , kde je zvolen koeficient otupení nože $n = 1,5$. Zjištěná délka stříhu l_s byla spočtena programem Autodesk Inventor Professional 2022 a nabývá hodnoty 737,64 mm. Doplněním do vzorce včetně zbylých známých parametrů je získán výsledný vztah:

$$F_s = n \cdot l \cdot t \cdot 0,8 \cdot R_m = 1,5 \cdot 737,64 \cdot 2 \cdot 0,8 \cdot 470 = 831\,854,88 \text{ N}.$$

Do vztahu pro výpočet síly přitlačné desky F_p byla dosazena hodnota délky nátláčné hrany $L_h = 629,37$ mm, která byla zjištěna opět programem Autodesk Inventor Professional 2022. Výsledný vztah po dosazení všech hodnot vypadá následovně:

$$F_p = k_m \cdot L_h \cdot h \cong 4 \cdot R_m \cdot L_h \cdot h = 4 \cdot 470 \cdot 629,37 \cdot 0,4 \cong 473\,286,24 \text{ N}.$$

Síla na vyhazovači F_v , kde vypočtená plocha výstřížku nabývá hodnoty $S = 13\,296,09 \text{ mm}^2$ a zvolený měrný tlak $p = 60 \text{ MPa}$, po dosazení hodnot:

$$F_v = S \cdot p = 13\,296,09 \cdot 60 = 797\,765,4 \text{ N}.$$

Součtem těchto tří sil se vypočetla celková střížná síla F_c součtem všech zjištěných sil:

$$F_c = F_s + F_p + F_v = 831\,854,88 + 473\,286,24 + 797\,765,40 = 2\,102\,906,52 \text{ N}, \quad (3.15)$$

$$F_c \cong 2\,103 \text{ kN}.$$

Následně je možné zjistit celkovou střížnou práci A_s , která je dána vztahem (2.11). V tomto případě byl zvolen součinitel zaplnění $\lambda = 0,75$:

$$A_s = F_s \cdot t \cdot \lambda = 831\,854,88 \cdot 2 \cdot 0,75 = 1\,247\,782,32 \text{ J} \cong 1\,248 \text{ kJ}.$$

3.4 Rozměry střížníku a střížnice

Kvalita a přesnost výsledných výstřížků je závislá především na správně vyrobeném střížníku a střížnici. S tím je spjat požadavek na zajištění optimální střížné vůle. Rozměry a výrobní tolerance se navrhuje a přizpůsobuje s ohledem na možné opotřebení těchto funkčních částí. Při jejich stanovení se rozlišuje, zdali se jedná o operaci vystříhování, kde má střížník tvar obrysu součásti nebo děrování, kde naopak střížník vytváří otvory. [38; 39]

- Vystříhování - výrobkem je výstřížek, jenž vychází z rozměrů střížnice, kde jsou řešené otvory větší než jmenovité. Tento fakt vyplývá z již zmíněného opotřebování střížnice a tím způsobenému zvětšování součásti. Tímto způsobem se zabezpečí výroba v požadovaném rozměru. Netolerované rozměry výstřížku, které jsou potřebné pro výpočet výrobní tolerance, jsou určeny dle DIN ISO 2768 - mK a hodnoty tolerovaných rozměrů jsou určeny dle ČSN EN ISO 286-1. Výsledné rozměrové tolerance jsou přehledně zobrazeny v tab. 7. Výpočet výrobního rozměru střížnice D_{pce} je dán vztahem:

$$D_{pce} = (D_j - P) + \delta_{pce}, \quad (3.16)$$

kde: D_j - jmenovitý rozměr výstřížku [mm],
 P - přípustná míra opotřebení [mm],
 δ_{pce} - tolerance střížnice [mm].

Výpočet výrobního rozměru střížníku D_{pk} :

$$D_{pk} = (D_j - P - v) - \delta_{pk}, \quad (3.17)$$

kde: δ_{pk} - tolerance střížníku [mm].

Vzorový výpočet rozměru R18 po dosazení do vzorce (3.16) a (3.17):

$$D_{pce} = (18 - 0,31) + 0,12 = 17,69^{+0,12}_0 \text{ mm},$$

$$D_{pk} = (18 - 0,31 - 0,01) - 0,074 = 17,68^{0}_{-0,074} \text{ mm}.$$

Tab. 7 Výrobní rozměry střížníku a střížnice pro operaci vystřihování [mm].

Rozměr	Střížnice	Střížníku	Rozměr	Střížnice	Střížníku
116h7	$115,97^{+0,009}_0$	$115,96^{0}_{-0,006}$	R40	$39,54^{+0,19}_0$	$39,53^{0}_{-0,12}$
R2	$1,84^{+0,054}_0$	$1,83^{0}_{-0,035}$	R59	$58,54^{+0,19}_0$	$58,53^{0}_{-0,12}$
R18	$17,69^{+0,12}_0$	$17,68^{0}_{-0,074}$	R133	$132,24^{+0,29}_0$	$132,23^{0}_{-0,185}$

- Děrování - výrobkem je díra u níž je rozhodující rozměr střížníku a optimální střížná vůle se dosáhne zvětšením otvoru ve střížnici. Při výrobě se musí opět počítat s opotřebením, což způsobí zmenšení střížníku a tím i obrysu vystřihované součásti. Proto se musí zvolit vhodná tolerance rozměrů střížníku s dostatečně zvětšenými rozměry, aby byl schopen vystříhnout součást požadovaných rozměrů. Vypočtené tolerance jsou přehledně zobrazeny v tab. 8. Výpočet výrobního rozměru střížníku d_{pk} je uveden vztahem:

$$d_{pk} = (d_j + P) - \delta_{pk}, \quad (3.18)$$

kde: d_j - jmenovitý rozměr otvoru [mm].

Výpočet výrobního rozměru střížnice d_{pce} :

$$d_{pce} = (d_j + P + v) + \delta_{pce}, \quad (3.19)$$

Vzorový výpočet rozměru otvoru 12H8 po dosazení do vzorce (3.18) a (3.19):

$$d_{pk} = (12 + 0,025) - 0,005 = 12,025^{0}_{-0,005} \text{ mm},$$

$$d_{pce} = (12 + 0,025 + 0,01) + 0,008 = 12,035^{+0,008}_0 \text{ mm}.$$

Z důvodu obtížné měřitelnosti takto nízkých hodnot a velmi vysokých nákladů na výrobu, jsou vypočtené rozměry ve výkresové dokumentaci zaokrouhleny na setiny.

Tab. 8 Výrobní rozměry střížníku a střížnice pro operaci děrování [mm].

Rozměr	Střížnice	Střížníku	Rozměr	Střížnice	Střížníku
8,5H7	$8,53^{+0,007}_0$	$8,52^{0}_{-0,004}$	8,5	$8,82^{+0,12}_0$	$8,81^{0}_{-0,074}$
12H8	$12,035^{+0,008}_0$	$12,025^{0}_{-0,005}$	55	$55,47^{+0,19}_0$	$55,46^{0}_{-0,12}$
13H7	$13,03^{+0,007}_0$	$13,02^{0}_{-0,004}$	87	$87,47^{+0,19}_0$	$87,46^{0}_{-0,12}$

3.5 Kontrola střížníku a střížnice

Během střížného procesu může vlivem tlaku dojít k poškození střížníku, vybočení či jinému znehodnocení. Jednou z možností, jak lze tomuto předejít je určení kritické délky nejmenšího průměru střížníku. V tomto případě bude provedena kontrola průměru $d_{8,5} = 8,5$ mm. Výpočet kritické délky střížníku l_{krit} se vypočte dle vztahu [8; 29]:

$$l_{krit} = \sqrt{\frac{4 \cdot \pi^2 \cdot E_t \cdot I}{\mu \cdot F_{S8,5}}} = \sqrt{\frac{4 \cdot \pi^2 \cdot E_t \cdot I}{\mu \cdot \pi \cdot d_{8,5} \cdot t \cdot 0,8 \cdot R_m \cdot n}} \quad (3.20)$$

kde: μ - koeficient bezpečnosti (1,0 ÷ 2,0) [-],
 $d_{8,5}$ - průměr kontrolovaného střížníku [mm],
 E_t - modul pružnosti oceli v tahu ($E_t = 2 \cdot 10^5$ MPa) [MPa],
 $F_{S8,5}$ - střížná síla kontrolovaného střížníku o průměru $d_{8,5}$ [N],
 I - moment setrvačnosti daného průřezu [mm⁴],

$$I = \frac{\pi \cdot d_{8,5}^4}{64} = \frac{\pi \cdot 8,5^4}{64} = 256,24 \text{ mm}^4.$$

Po dosazení střední hodnoty koeficientu bezpečnosti $\mu = 1,5$ a koeficientu otupení $n = 1,5$:

$$l_{krit} = \sqrt{\frac{4 \cdot \pi^2 \cdot 2 \cdot 10^5 \cdot 256,24}{1,5 \cdot \pi \cdot 8,5 \cdot 2 \cdot 0,8 \cdot 470 \cdot 1,5}} = 211,61 \text{ mm}.$$

Kritická délka těla střížníku by neměla překročit 211,61 mm, což při uvážené délce maximální délce 76 mm plně vyhovuje. Dále je provedena kontrola pevnosti, opět u nejmenšího střížníku, který je vyroben z nástrojové oceli 19 437 a v závislosti na tepelném zpracování je schopen přenášet napětí v tlaku v rozmezí od 2 700 do 3 100 MPa [41]. Pro výpočet je zvolena minimální hodnota, tedy $\sigma_{dov} = 2\,700$ MPa. Dovolené napětí σ_d je určeno vztahem [29]:

$$\sigma_d = \frac{F_{S8,5}}{S_{8,5}} = \frac{\pi \cdot d_{8,5} \cdot t \cdot 0,8 \cdot R_m \cdot n}{\frac{\pi \cdot d_{8,5}^2}{4}} < \sigma_{dov} \quad (3.21)$$

kde: $S_{8,5}$ - plocha kruhového průřezu střížníku [mm²],
 n - koeficient otupení (volen $n = 1,2$) [-].

Po dosazení potřebných parametrů do rovnice (3.21) se dovolené napětí vypočte:

$$\sigma_d = \frac{\pi \cdot 8,5 \cdot 2 \cdot 0,8 \cdot 470 \cdot 1,5}{\frac{\pi \cdot 8,5^2}{4}} = 530,82 \text{ MPa}.$$

Z výpočtu je zřejmé, že napětí $\sigma_d = 530,82$ MPa < $\sigma_{dov} = 2\,700$ MPa, střížník splňuje potřebnou pevnostní podmínku.

Vzhledem k velmi tvrdému materiálu, ze kterého jsou střížníky vyrobeny, může dojít ke vtlačení upínací části střížníku do podložky, která je z výrazně méně kvalitní oceli. Kontroluje se otlacení střížníku o nejmenším průměru 8,5 mm, jenž je upnut za osazení $d_o = 11,5$ mm. Dovolené napětí, které by nemělo být překročeno nabývá hodnoty $\sigma_o = 295$ MPa [41]. Pokud bude zvolená hodnota překročena, muselo by se zvážit použití kalené opěrné desky, která zabráni otlacení. Vztah pro výpočet kontrolovaného napětí [9; 29]:

$$\sigma_{o11,5} = \frac{F_{s11,5}}{S_{11,5}} = \frac{n \cdot l \cdot t \cdot \tau_s}{\frac{\pi \cdot d_o^2}{4}} = \frac{n \cdot \pi \cdot d_o \cdot t \cdot 0,8 \cdot R_m}{\frac{\pi \cdot d_o^2}{4}} < \sigma_o \quad (3.22)$$

kde: $F_{s11,5}$ - střížná síla pro kontrolovaný průměr osazení $d_o = 11,5$ mm [N],
 $S_{11,5}$ - plocha kruhového průřezu osazení střížníku [mm²].

Po dosazení všech parametrů:

$$\sigma_{o11,5} = \frac{F_{s11,5}}{S_{11,5}} = \frac{1,2 \cdot \pi \cdot 11,5 \cdot 2 \cdot 0,8 \cdot 470}{\frac{\pi \cdot 11,5^2}{4}} = 313,88 \text{ MPa}.$$

Vypočtená hodnota napětí 313,88 MPa překračuje dovolenou hodnotu $\sigma_o = 295$ MPa, a proto je nutné zamezit vtlačení střížníku do podložky vložím kalené opěrné desky pod hlavu střížníku. V neposlední řadě je potřeba stanovit minimální výšku střížnice, která je namáhána na tlak a ohyb. Dle spočtené hodnoty se následně zvolí výsledný vyšší rozměr tak, aby se předešlo jejímu poškození. Výška střížnice **H** je určena vztahem [9; 29]:

$$H = \sqrt{\frac{1,5 \cdot F_s}{\sigma_{dovo}}} = \sqrt{\frac{1,5 \cdot F_s}{0,43 \cdot R_{mo}}} = \sqrt{\frac{1,5 \cdot 831\,854,88}{0,43 \cdot 3\,750}} = 27,82 \text{ mm.} \quad (3.23)$$

kde: σ_{dovo} - dovolené napětí v ohybu [MPa],
 R_{mo} - mez pevnosti pro ocel 19 437 ($R_{mo} = 3\,750$ MPa) [MPa].

Vzhledem k výsledku by střížnice neměla mít menší výšku než 27,82 mm. Pro konstrukci střížného nástroje byla zvolena výška střížnice **H** = 30 mm.

3.6 Výpočet tlačných a vyrážecích kolíků

Pro přenos pohybu na střížník a vyhazovač slouží tzv. tlačné a vyrážecí kolíky. Používají se z důvodu zamezení ovlivnění nepohyblivých částí nástroje. Jejich bezpečný počet je závislý na působících silách v nástroji a je určen pomocí následujících vztahů [9; 29]:

- počet tlačných kolíků:

$$N_{TK} = \frac{S_p}{S_{TK}} = \frac{\frac{F_p}{3 \cdot p}}{\frac{\pi \cdot d_{TK}^2}{4}} = \frac{\frac{473\,286,24}{3 \cdot 60}}{\frac{\pi \cdot 24^2}{4}} = 5,81 \text{ ks,} \quad (3.24)$$

kde: S_p - plocha působení přitlačné síly [mm²],
 S_{TK} - plocha průřezu tlačného kolíku [mm²],
 d_{TK} - průměr tlačného kolíku [mm].

Pro střížný nástroj byly navrženy tlačné kolíky o průměru $d_{TK} = 24$ mm. Po dosazení do rovnice byl vypočten potřebný počet kusů, se zaokrouhlením výsledku směrem nahoru na celé číslo. Bylo tedy potřeba zhotovit a umístit 6 ks tlačných kolíků.

- počet vyrážecích kolíků:

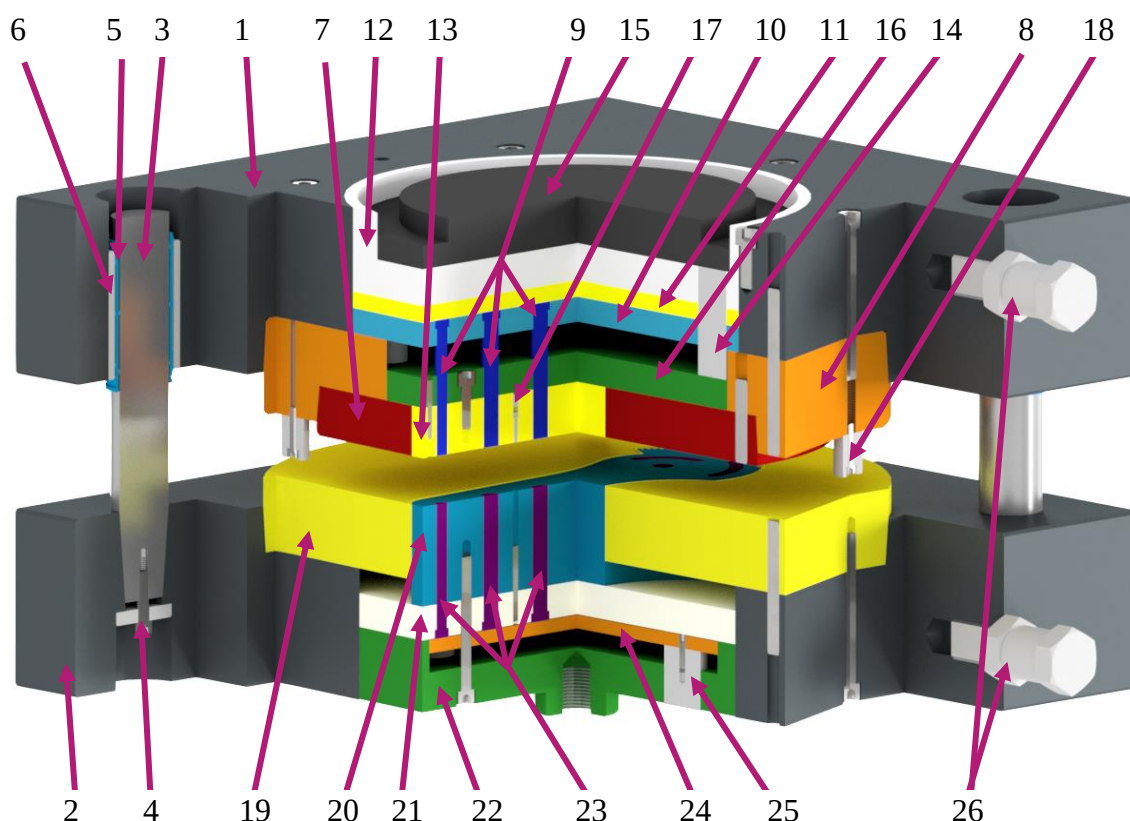
$$N_{VK} = \frac{S_{VS}}{S_{VK}} = \frac{\frac{F_v}{3 \cdot p}}{\frac{\pi \cdot d_{VK}^2}{4}} = \frac{\frac{797\,765,4}{3 \cdot 60}}{\frac{\pi \cdot 31^2}{4}} = 5,87 \text{ ks,} \quad (3.25)$$

kde: S_{VS} - plocha působení vyhazovací síly [mm²],
 S_{VK} - plocha průřezu vyrážecího kolíku [mm²],
 d_{VK} - průměr vyrážecího kolíku [mm].

Vyrážecí kolíky byly navrženy o průměru $d_{VK} = 31$ mm. Po dosazení do rovnice se výsledek opět zaokrouhlil směrem nahoru a pro konstrukci bylo potřeba 6 ks kolíků.

3.7 Návrh střížného nástroje

Vzhledem k členitosti výstřížku, potřeby menší střížné síly a lepší údržby byl zvolen nástroj s pohyblivým střížníkem a pevnou přitlačnou deskou. Střížník je přesně radiálně veden ve stojánku s pevně zakotvenou přitlačnou deskou, což zabezpečuje dobrou jakost výstřížku. Konstrukce byla navržena dle směrnic pro přesné stříhání od firmy ZBROJOVKA Brno. Na obr. 38 jsou znázorněny a popsány důležité části nástroje. Podrobný výkres sestavy je k dispozici s dalšími výkresy v příložené dokumentaci. [33]



Obr. 38 Rez střižného nástroje.

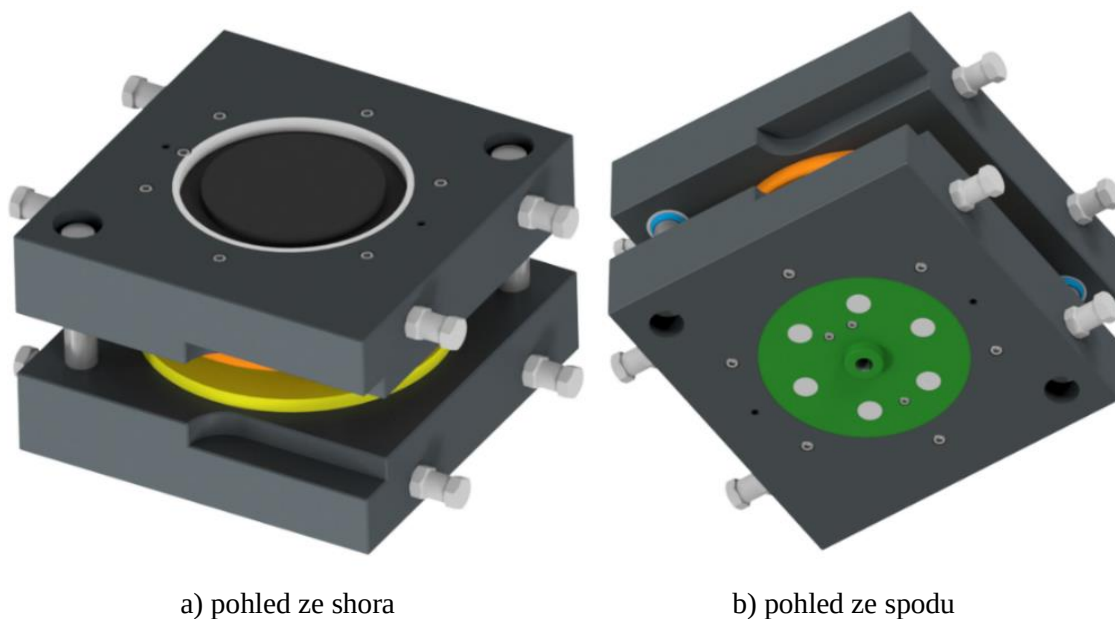
Nástroj je tvořen masivním stojánkem, jež zajišťuje celkovou stabilitu a skládá se ze dvou částí. Základem první části je horní upínací deska vodícího stojánku (1), která je se spodní upínací deskou (2) spojena pomocí vodících sloupků (3), vedených v úhlopříčce o různém průměru, kvůli zabránění chybnému nasazení. Sloupky jsou upevněny přes kuželový otvor, který zajišťuje vyšší kolmost a přesnost, do spodní upínací desky. Ze spodní strany jsou zajištěny přes podložku a šroub (4). V horní desce jsou osazeny do kuličkové klece (5) a pouzdra (6), což zabezpečuje vysokou přesnost [43].

V horní části nástroje se nachází dělená střižnice (7), která byla zvolena důvodu předpokládaného vyššího opotřebení a následné snadnější vyměnitelnosti. Střižnice je zalisována, sešroubována a přesně ustanovena do zděře střižnice (8) pomocí kolíků různého průměru.

Ve střižnici se nachází střižníky (9) pro děrování otvorů, které jsou zajištěny pomocí tvarového osazení v kotevní desce (10) a nad ně je umístěna opěrná kalená deska (11), jež zabraňuje otlačení horní podložky (12). Vyhazovač (13) je také umístěn v dělené střižnici a je zajištěn pomocí šroubů a kolíků. Potřebná vyhazovací síla je přenášena přes vyhazovací kolíky (14) a vyhazovací kroužek (15) umožňuje konat pohyb podložky vyhazovače (16) a vyhazovače samotného při vystřihování směrem nahoru a poté směrem dolů, kvůli vysunutí výstřižku. Na vyhazovači jsou také umístěny dva odtlačovací kolíky (17) na pružině, aby se zamezilo lepení výstřižku na vyhazovač. K zabránění poškození nátlakové hrany při manipulaci jsou na těle zděře střižnice zhotoveny dva otvory, do kterých jsou při skladování upevněny výškové dorazy (18).

Ve spodní části se nachází nedělená přítlačná deska (19), která je zalisována do základové desky a ustanovena pomocí kolíků a upevněna šrouby. Střižník pro vystřihování obrysu součásti (20) je vystředěn kolíky s podložkou střižníku (21). Na tuto podložku přenáší střižnou sílu držák střižníku (22). Uvnitř otvorů jsou umístěny pohyblivé vyhazovače (23) a přes tvarové osazení ukotveny do podložky střižníku a ze spodu zajištěny opěrnou deskou (24).

Během střížného procesu působí tlačné kolíky (25) přes opěrnou desku až na vyhazovače otvorů, jenž tlačí naproti horním střížníkům. Pro snadnější manipulaci s nástrojem jsou na horní i dolní základové desce umístěny úchytné čepy (26). Po vykonaném stříhu bude hotová součást i s vystřiženým odpadem odstraněna pomocí tlakového proudu vzduchu ven z nástroje.



Obr. 39 Střížný nástroj.

3.8 Volba stroje

Pro výrobu technologií přesného stříhání s nátlacnou hranou se volí výhradně trojčinné hydraulické lisu. Mezi největší výrobce patří mezinárodní firma Feintool, která se na tyto lisu přímo specializuje. S ohledem na potřebnou celkovou střížnou sílu $F_c = 2\,103\text{ kN}$ a výšky při rozevření nástroje byl zvolen hydraulický lis HFA 8800plus (obr. 40). Je zřejmé, že dle výsledné síly F_c by bylo možné zvolit i stroj s nižší silou, ale takové výrobní řady neposkytují dostatečný zdvih beranu lisu, který je potřebný až 294 mm při plném rozevření. Hlavní technické parametry zvoleného lisu jsou uvedeny v tab. 9 a doplňující informace se nachází v příloze č. 4. [25; 42]

Tab. 9 Základní technické parametry lisu Feintool HFA 8800plus. [42]

Parametr	Jednotka	Hodnota
celková síla	[kN]	5 850 až 8 800
síla přidržovače	[kN]	400 až 4 000
síla vyhazovače	[kN]	200 až 2000
zdvih beranu	[mm]	200 / 305
počet zdvihů za minutu	[z·min ⁻¹]	55
max. šířka pásu	[mm]	40 až 450
max. tloušťka pásu	[mm]	16

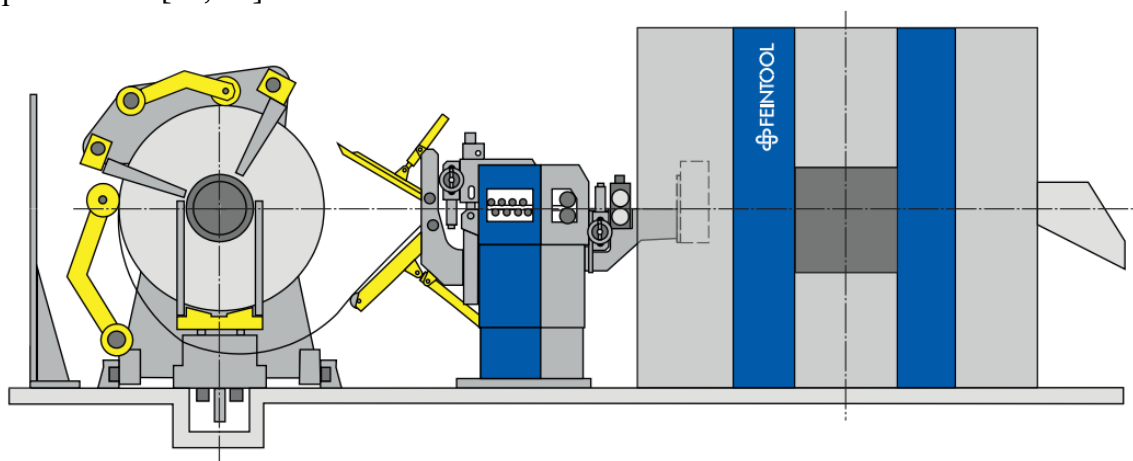
Navržený lis je nutné začlenit do tvářecí linky včetně dalších pracovních prvků, které jsou potřebné pro manipulaci se svitky, odvíjení, rovnání plechu, dělení odpadu, podávání plechu a mazání. Pomocí těchto zařízení lze linku plně automatizovat, což vysoce zefektivňuje výrobu.

Zvolený systém uspořádání linky od firmy Feintool s integrovaným odvíječem svitku a dalším příslušenstvím optimalizuje pracovní rychlost a napomáhá dosáhnout vysoké výrobní rychlosti, i přes náročné požadavky na kvalitu výstřižku. Včlenění odvíjecího zařízení do linky výrazně zvyšuje spolehlivost výroby a zajišťuje plynulý provoz. Dodáním precizně vyrovnaného plechu bez pnutí se vytváří základní předpoklad pro optimalizovaný proces přesného stříhání, který vyrábí výstřižky nejvyšší kvality při maximálním výkonu. [25; 42; 44]



Obr. 40 Lis Feintool HFA 8800plus [42].

Pro výrobu byla navržena výrobní linka FBA 6/300 ve zkrácené konfiguraci (obr. 41). Linka obsahuje zvedací jednotku pro svitek, rovnací zařízení, odvíjecí a podávací zařízení. Zvolená linka bude velmi efektivní, automatizovaná a umožní téměř nepřetržitou výrobu. Maximální použitelná šířka stříhaného pásu je 300 mm a tloušťka plechu 0,8 až 6 mm, což plně vyhovuje. V kompletním uspořádání linka zajišťuje veškeré potřebné úkony, mezi něž patří například odvíjení pásu plechu, mazání a rovnání. Další parametry zvolené výrobní linky jsou uvedeny v příloze č. 5. [44; 45]



Obr. 41 Automatizovaná výrobní linka FBA 6/300 [44].

ZÁVĚR

Vyráběnou součástí byl polohovací segment v automobilovém sedadle, který slouží ke spojení spodní sedací a opěrné části, včetně umožnění změny úhlu náklonu pomocí ozubeného převodu. Zadaná výrobní série činí $200\,000 \text{ ks} \cdot \text{rok}^{-1}$. Pro výrobu součástí byl navržen materiál - ocel 11 373 o tloušťce 2 mm. Po zvážení možných výrobních metod, na základě vysoké výrobní série a požadované rozměrové tolerance, byla zvolena jako optimální technologie přesného stříhání s nátlacnou hranou.

U součásti byla provedena kontrola vyrobiteľnosti zvolenou výrobní technologií, jež byla splněna. Následně byla posuzována využitelnost jednotlivých rozmístění výstřižků a volba vhodného polotovaru. Volilo se z plechu ve formě tabulí a svitků, z nichž vyšla jako nejvýhodnější varianta svitkového polotovaru ($D_s = 1\,200 \text{ mm}$, $d_s = 500 \text{ mm}$). Svitek dosahoval využitelnosti stříhaného materiálu 67,21 %. Pro zabezpečení roční produkce byla vypočtena spotřeba 36 ks svitků.

Konstrukce navrženého střížného nástroje vycházela z podkladů a směrnic pro přesné stříhání s nátlacnou hranou podniku Zbrojovka Brno. Střížný nástroj využívá systém s pohyblivým střížníkem a pevným přidržovačem, na kterém byla navržena nátlacná hrana a vypočteny potřebné tolerance střížníků a střížnice. Na základě zkonstruovaného nástroje byl zpracován výkres sestavy, výkresy hlavního střížníku a střížnice. Následně byl dle zjištěných střížných, přidržovacích, vyhazovacích sil a celkové síly $F_c = 2\,103 \text{ kN}$, včetně potřebné výšky rozevření a dalších parametrů, zvolen výrobní lis Feintool HFA 8800plus. Lis byl zakomponován do automatizované linky FBA 6/300, která obsahuje mimo jiné také zvedač svitku, odvíjecí a rovnací zařízení. Kompletní výrobní linka umožňuje veškeré potřebné výrobní operace plně automatizovat, což velmi zefektivňuje celý proces.

Využitím technologie přesného stříhání v kombinaci s plně automatizovanou výrobní linkou, která zajišťuje nepřetržitý proces, je výroba zadané součásti v takto početné sérii velmi efektivní. Nevýhodou jsou však vyšší pořizovací náklady strojů a výroba nástroje. Dále je nutné zohlednit další využití zvoleného strojního vybavení pro výrobu dalších součástí, čímž finanční náročnost klesne. Podrobnější ekonomické zhodnocení by bylo v tomto případě velice obtížné, neboť nebylo možné zajistit relevantní podklady pro výpočty a byl tedy možný pouze velmi hrubý odhad. S ohledem na úsporu výrobního času, materiálu a snížení potřeby zaměstnanců se jeví zvolená technologie jako ekonomicky výhodná.

SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

1. DVOŘÁK, Milan. 2007. *Technologie tváření: plošné a objemové tváření*. 2. vyd. Brno: CERM, 169 s. ISBN 978-80-214-3425-7.
2. BIRZER, Franz. 1997. *Forming and Fineblanking*. Landsberg: Die Bibliothek der Technik. ISBN 3-478-93161-4.
3. Products from Feintool - system parts. *Feintool* [online]. [cit. 2022-02-04]. Dostupné z: https://www.feintool.com//SystemParts_Europa_EN
4. Polohovací segment sedadla automobilu. *Exporthub.com* [online]. [cit. 2022-02-04]. Dostupné z: <https://www.exporthub.com/zhejiang-tiantai-sunshine-industrial>
5. Tabulka materiálů. *Zihos.cz* [online]. [cit.2022-02-04]. Dostupné z: https://www.zihos.cz/tabulka-materialu?fbclid=IwAR2j6F2t4F0OQX3tZBr8UTsx4ns4l4EyI4cl_B1CJgehDvcNFGklWAc0xt0
6. Nelegovaná ocel obvyklých jakostí - ČSN 11 373. *Czferrosteel.cz* [online]. [cit. 2022-2-4]. Dostupné z: <http://www.czferrosteel.cz/pdf/tyce-11373.pdf>
7. Vlastnosti ocelí. *Techportal.cz* [online]. [cit. 2022-02-04]. Dostupné z: https://www.techportal.cz/searchcontent.phtml?getFile=2AXR_TUAMiBFGAgUc6BzY5pKR4a_RmSdJyeRJhvvhWt6GT3USXlrODF32bS3UUhLT_peBZxsdEl75N8MGgz73w
8. GUIDI, A. *Přístřihování a přesné střihání*. Praha : Nakladatelství technické literatury SNTL , 1969. 138 s.
9. FINDA, Luděk a Roman HALTUF. *Střihání - MM Průmyslové spektrum - 6. díl* [online]. [cit. 2022-02-20]. Dostupné z: https://www.mmspektrum.com/clanek/akademie-tvareni-strihani?fbclid=IwAR0KiujUT32joGEGSIPtKAK6OIi_quuDmUlnlPpGrZ7qXZCs6SwilW1sTNQ
10. ŘASA, Jaroslav a Zuzana KEREČANINOVÁ. *Nekonvenční metody obrábění - MM Průmyslové spektrum - 5. díl* [online]. [cit. 2022-02-020]. Dostupné z: <https://www.mmspektrum.com/clanek/nekonvencni-metody-obrabeni-5-dil>
11. How does laser cutting work. *Esabna.com* [online]. [cit. 2022-04-25]. Dostupné z: <https://www.esabna.com/us/en/education/blog/how-does-laser-cutting-work.cfm>
12. Laser cutting 2D. *Manufacturingguide.com* [online]. [cit. 2022-04-25]. Dostupné z: <https://www.manufacturingguide.com/en/laser-cutting-2d>
13. Laser Cutting on Mild Steel Showcase. *Cut-tec.co* [online]. Barnsley [cit. 2022-04-25]. Dostupné z: <https://www.cut-tec.co.uk/materials/laser-cutting/mild-carbon-steel/mild-steel/#.Yma8c-3P1PZ>
14. VELLING, Andreas. Advantages and Disadvantages of Laser Cutting. *Fractory* [online]. Manchester, 2020 [cit. 2022-04-25]. Dostupné z: <https://fractory.com/laser-cutting-advantages-disadvantages/>
15. Plasma cutting. *Promotech.eu* [online]. [cit. 2022-04-25]. Dostupné z: <https://www.promotech.eu/en/plasma-cutting-come/>
16. What is plasma cutting?. *Twiglobal.com* [online]. [cit. 2022-04-25]. Dostupné z: <https://www.twiglobal.com/technical-knowledge/faqs/faq-what-is-plasma-cutting>
17. Plazmové řezání. *Metaweld.cz* [online]. [cit. 2022-04-25]. Dostupné z: <https://www.metaweld.cz/plazmove-rezani-jak-vybrat-plazmovou-rezacku/>

-
18. Plasma cutting. *Komatsuplasma.com* [online]. [cit. 2022-04-25]. Dostupné z: <http://www.komatsuplasma.com/kai/ctd/en/tfp/>
 19. Řezání ocelových a nerezových plechů. *Stprogress.cz* [online]. Praha [cit. 2022-04-25]. Dostupné z: <https://www.stprogress.cz/paleni-plazmou/>
 20. OSIČKA, Karel a Milan KALIVODA. *Nekonvenční technologie obrábění* [online]. Brno, 2012 [cit. 2022-04-25]. Dostupné z: <https://opus.fme.vutbr.cz/>
 21. Řezání vodním paprskem. *Gumex.cz* [online]. [cit. 2022-04-25]. Dostupné z: <https://www.gumex.cz/sluzby/profil-y-a-vyroba-tesneni-75/rezani-vodnim-paprskem-46>
 22. Benefits of Waterjet. *Flowwaterjet.com* [online]. [cit. 2022-04-25]. Dostupné z: <https://www.flowwaterjet.com/Learn/Benefits-of-Waterjet.aspx#accuracy>
 23. SCHULER GmbH. *Metal forming handbook*. Berlin: Springer-Verlag Berlin Heidelberg New York, 1998, 563 s. ISBN 3-540-61185-1.
 24. Fineblanking. *Precomp.se* [online]. [cit. 2022-04-25]. Dostupné z: <https://precomp.se/en/technology/technology-areas/fineblanking>
 25. NOVOTNÝ, Josef a Zdeněk LANGER. *Stříhání a další způsoby dělení kovových materiálů*. Vydání první. Praha: SNTL - Nakladatelství technické literatury, 1980.
 26. FOREJT, Milan a Miroslav PÍŠKA. *Teorie obrábění, tváření a nástroje*. Vyd. 1. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2006, 225 s. ISBN 80-214-2374-9.
 27. KUBÍČEK, Miroslav. *Tváření: Přesný stříh* [online]. [cit. 2022-04-25]. Dostupné z: https://www.sokolska.cz/DUMy/STT,%20KOM/VY_32_INOVACE_20-12.pdf
 28. ČADA, Radek. *Technologie I.: Studijní opora* [online]. Ostrava: Ediční středisko VŠB - TUO, 2007, 360 s. [cit. 2022-04-25]. ISBN 978-80-248-1507-7. Dostupné z: http://www.elearn.vsb.cz/archivcd/FS/TECH1/Technologie-I.pdf?fbclid=IwAR13N4vITbOtT6Ct6dObkZaFdZjybYI_d5Ps8BR3bOO99a4pz46Sj4ZFmlU
 29. DVOŘÁK, Milan. *Technologie tváření: návody do cvičení*. 2. vyd. Brno: CERM, 2005, 103 s. ISBN 80-214-2881-3.
 30. POVALAČ, Tomáš. *Výroba příruby přesným stříháním* [online]. Brno : 2013. 69 s. Diplomová práce. [cit. 2022-04-25]. FSI VUT v Brně. Dostupné z: https://www.vut.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=65948
 31. Fineblanking technology. *Fine-blanking.com* [online]. [cit. 2022-04-25]. Dostupné z: <http://www.fine-blanking.com/fineblanking/>
 32. GAJDOŠ, František et al. *Teorie tváření*. Vyd. 1. Brno : Rektorát Vysokého učení technického v Brně, 1988. 141 s
 33. VYSKOCIL, Oldřech a Pavel BARTOŠ. 30. *Smernice pro konstrukci nástroje pro přesné stříhání (ucební texty)*. Brno : Zbrojovka Brno n. p., 1977. 88 s.
 34. NOVOTNÝ, Karel a Zdeněk MACHÁČEK. *Speciální technologie I : Plošné a objemové tváření*. Vyd. 2. Brno : Nakladatelství Vysokého učení technického v Brně, 1992. 171 s. ISBN 80-214-0404-3.
 35. BOLJANOVIC, Vukota. *Sheet metal forming processes and die design*. New York: Industrial Press, 2004. 215 s. ISBN 08-311-3182-9.
 36. ČERMÁK, Jan. *Teorie a metodika tváření* [online]. ČVUT v Praze, Fakulta strojní Ústav Strojírenské technologie, [cit. 2022-04-06]. Dostupné z: <http://www.ulozto.cz/x4Z5sVG/teorie-a-metodika-tvareni-zip>
-

-
37. FOREJT, Milan. Ročníkový projekt I. [online]. 1. vyd. Brno : VUT v Brně, 2002 [cit. 2022-04-06]. Dostupné z: Microsoft Word - SylabyRPZDARcelek.DOC (vutbr.cz)
 38. KUBELKA, Martin a Tomáš PILVOUSEK. *Technologičnost konstrukce v návrhu výstřižků – MM Průmyslové spektrum - 12. díl* [online]. [cit. 2022-02-20]. Dostupné z: https://www.mmspektrum.com/clanek/akademie-tvareni-strihani?fbclid=IwAR0KiuUT32joGEGSIptKAk6OIi_quuDmUINlPpGrZ7qXZCs6SwilW1sTNQ
 39. STŘÍHADLA A STŘIŽNÉ VŮLE: *Směrnice pro výpočet a konstrukci*. Praha: Vydavatelství Úřadu pro normalizaci a měření, 1975.
 40. AUTODESK. *Autodesk Inventor Professional 2022* [software]. 2022 [cit. 2022-2-20]. Dostupné z: <https://www.autodesk.cz/products/inventor/overview?term=1-YEAR&tab=su> bscription. Požadavky na systém: Microsoft Windows 7 / 8 / 8.1 / 10; velikost 40 GB.
 41. PITERKA, Miroslav. *Výroba držáku válce technologií přesného stříhání* [online]. Brno : 2015. Bakalářská práce. 45 s. [cit. 2022-04-25]. FSI VUT v Brně. Dostupné z: https://www.vut.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=104426
 42. HFAplus - hydraulic range: *Highly flexible press concept for optimum productivity*. Feintool [online]. 2010 [cit. 2022-04-25]. Dostupné z: <http://www.feintool.com/en/products-services/fineblanking/products/pressesandsystems/hfaplug-range.html>
 43. Antifriction slideway bush with ball retainer. *B2B.partcommunity.com* [online]. [cit. 2022-4-25]. Dostupné z: https://b2b.partcommunity.com/3d-cad-models/sso?cwid=last&info=sttrack%2Ffe_kat%2Ffe_01%2Ffe_01_03%2Fsn060028.prj
 44. Coil lines for fineblanking presses. *Feintool.com* [online]. [cit. 2022-04-25]. Dostupné z: https://www.feintool.com/fileadmin/PDF/Brosch%C3%BCren/FBA_Feintool_Bandanlagen_EN.pdf
 45. FBA 6/300 - Technical data. *Feintool.com* [online]. [cit. 2022-04-25]. Dostupné z: https://www.feintool.com/fileadmin/user_upload/Produkte_Services/Pressen_Komplettsysteme/Pressen_und_Anlagen/Peripheriesysteme/Bandanlage_Technical_Data_FBA6_KBF_EN_.pdf

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

Symbols

Označení	Legenda	Jednotka
A_s	střížná práce	[J]
A_{80}	tažnost	[%]
A_z	zjednodušená střížná práce	[J]
a	vzdálenost špičky nátlčné hrany	[mm]
a_{min}	minimální vzdálenost otvoru od hrany výstřížku	[mm]
b	šířka zářezu	[mm]
c	koeficient střížné vůle pro přesné stříhání	[-]
D	průměr velkého rozšíření ve střížnici	[mm]
D_j	jmenovitý rozměr výstřížku	[mm]
D_{pce}	výrobní rozměr střížnice pro vystřihování	[mm]
D_{pk}	výrobní rozměr střížníku pro vystřihování	[mm]
D_s	vnější průměr svitku	[mm]
d	průměr úzkého rozšíření ve střížnici	[mm]
d_j	jmenovitý rozměr otvoru	[mm]
d_{pce}	výrobní rozměr střížnice pro derování	[mm]
d_{pk}	výrobní rozměr střížníku pro derování	[mm]
d_{min}	minimální vyrobiteľný průměr	[mm]
d_s	vnitřní průměr svitku	[mm]
D	průměr širšího rozšíření ve střížnici	[mm]
d_t	délka tabule	[mm]
d_{TK}	průměr tlačného kolíku	[mm]
d_{VK}	průměr vyhazovacího kolíku	[mm]
$d_{8,5}$	průměr nejmenšího střížníku	[mm]
E	velikost můstku	[mm]
E_t	modul pružnosti v tahu	[MPa]
F	velikost postranního odpadu	[mm]
F_c	celková síla	[N]
F_{max}	maximální síla	[N]
F_p	síla na přidržovači	[N]
F_s	síla na vyhazovači	[N]
$F_{S8,5}$	střížná síla u kontrolovaného střížníku	[N]
$F_{S11,5}$	střížná síla u kontrolovaného osazení	[N]
H	výška střížnice	[mm]
HRC	tvrdost podle Rockwella	[-]
h	výška nátlčné hrany	[mm]
h_A	výška nátlčné hrany pro typ konstrukce A	[mm]
h_B	výška nátlčné hrany pro typ konstrukce B	[mm]
h_1	odlehčená výška nátlčné hrany	[mm]
I	moment setrvačnosti daného průřezu	[mm ⁴]
K	krok	[mm]
k	konstanta	[-]
k_m	odpor materiálu proti vnikání tlačných hran	[MPa]
L_h	délka nátlčné hrany	[mm]
L_s	délka pásu plechu navinutého na svitek	[mm]
l	délka stříhu	[mm]
l_{krit}	kritická délka střížníku	[mm]
N_{TK}	počet tlačných kolíků	[ks]

Označení	Legenda	Jednotka
N_{VK}	počet vyřazecích kolíků	[ks]
n	koeficient otupení nože	[-]
P	přípustná míra opotřebení	[mm]
P_{ct}	počet výstřížků z jedné tabule	[ks]
P_d	zvolený počet kusů výstřížků	[ks]
P_v	počet výstřížků z pásu	[ks]
P_{vs}	počet výstřížků ze svitku	[ks]
p	měrný tlak	[MPa]
Q	výrobní série	[ks · rok ⁻¹]
R	poloměr zaoblení	[mm]
R_a	střední aritmetická úchylka profilu povrchu	[μm]
R_{a,r_a}	minimální vnější rádius	[mm]
R_e	mez kluzu	[MPa]
R_{i,r_i}	minimální vnitřní rádius	[mm]
R_m	mez pevnosti	[MPa]
R_{min}	minimální rádius na součásti	[mm]
R_{mo}	mez pevnosti pro ocel 19 437	[MPa]
S	plocha stříhané součásti	[mm ²]
S_c	celková plocha pásu plechu	[mm ²]
S_d	stříhaná délka pásu plechu	[mm]
S_t	plocha tabule	[mm]
S_{TK}	plocha průřezu tlačného kolíku	[mm ²]
S_v	plocha plného tvaru součásti	[mm ²]
S_{VK}	plocha průřezu vyřazecího kolíku	[mm ²]
S_{VS}	plocha působení vyhazovací síly	[mm ²]
$\check{S}_p$	šířka pásu	[mm]
$\check{S}_t$	šířka tabule	[mm]
$S_{8,5}$	plocha kruhového průřezu střížníku o průměru 8,5 mm	[mm ²]
$S_{11,5}$	plocha kruhového průřezu střížníku o průměru 11,5 mm	[mm ²]
s_1	dráha střížníku při stříhu	[mm]
t	tloušťka stříhaného materiálu	[mm]
$V_{příč}$	využitelnost materiálu při využití příčného uspořádání	[%]
V_{ps}	procentuální využití ze svitku	[%]
V_{pt}	procentuální využití z tabule	[%]
v	střížná vůle	[mm]
X_c	celkový počet svitků	[ks]
z	střížná mezera	[mm]
α	vrcholový úhel zkoseného přidržovače	[°]
α_s	úkos střížnice	[°]
δ_{pce}	tolerance střížnice	[mm]
δ_{pk}	tolerance střížníku	[mm]
$\Delta\sigma_3$	přídavné tlakové napětí	[MPa]
λ	součinitel zaplnění pracovního diagramu	[-]
μ	koeficient bezpečnosti	[-]
π	Ludolfovo číslo	[-]
ρ	měrná hmotnost materiálu	[kg · m ⁻³]
σ_d	napětí v tlaku	[MPa]
σ_{dov}	dovolené napětí v tlaku	[MPa]
σ_{dov0}	dovolené napětí v ohybu	[MPa]

Označení	Legenda;	Jednotka
σ_n	normálové napětí	[MPa]
σ_o	dovolené napětí na otlačení	[MPa]
$\sigma_{o11,5}$	napětí pro kontrolovaný průměr	[MPa]
σ_3	příčné tlakové napětí	[MPa]
τ_{max}	maximální střížný odpor	[MPa]
τ_s	střížný odpor	[MPa]

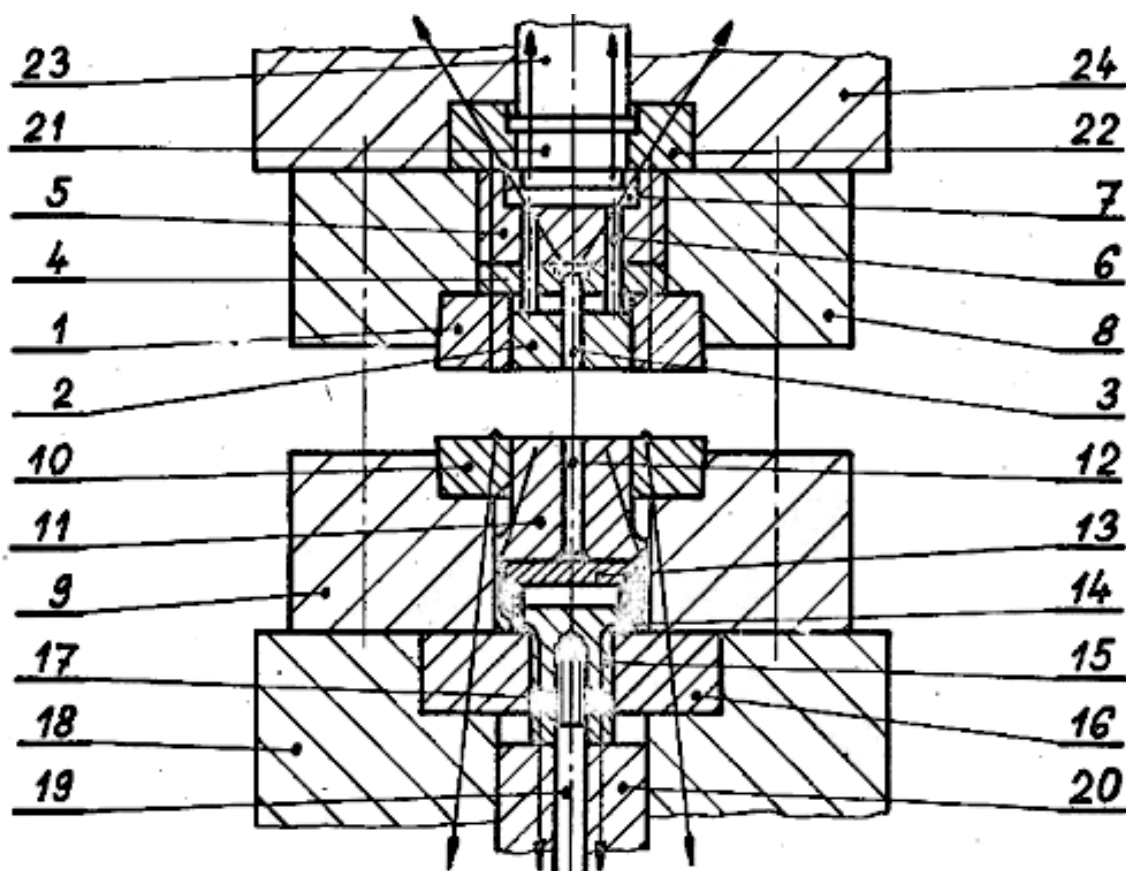
SEZNAM PŘÍLOH

Příloha 1	Schématické znázornění principů nástrojů pro přesné stříhání s tlačnou hranou
Příloha 2	Konstrukční parametry pro přesné stříhání s tlačnou hranou
Příloha 3	Rozměry tlačných hran a doporučená velikost střížné vůle
Příloha 4	Parametry hydraulických lisů pro přesné stříhání firmy Feintool
Příloha 5	Parametry výrobních linek FBA firmy Feintool

Seznam výkresů

Polohovací segment; 2022-BP-208622-01
Střížnice; 2022-BP-208622-02
Střížník; 2022-BP-208622-03
Střížný nástroj; 2022-BP-208622-04
Střížný nástroj - kusovník - 01; 2022-BP-208622-05
Střížný nástroj - kusovník - 02; 2022-BP-208622-06
Střížný nástroj - kusovník - 03; 2022-BP-208622-07
Střížný nástroj - kusovník - 04; 2022-BP-208622-08

Princip nástroje pro přesné stříhání s tlačnou hranou pohyblivým střížníkem a pevnou přítlačnou deskou [39].



Horní část nástroje:

1. střížnice
2. vyhazovač
3. děrovací střížník
4. kotevní deska
5. podložka
6. tlačný kolík
7. vyhazovací kroužek
8. upínací deska vod. stoj.

Spodní část lisu:

16. tlakový opěrný kroužek
17. stavěcí tlakový kroužek
18. stůl lisu
19. upevňovací šroub
20. beran lisu

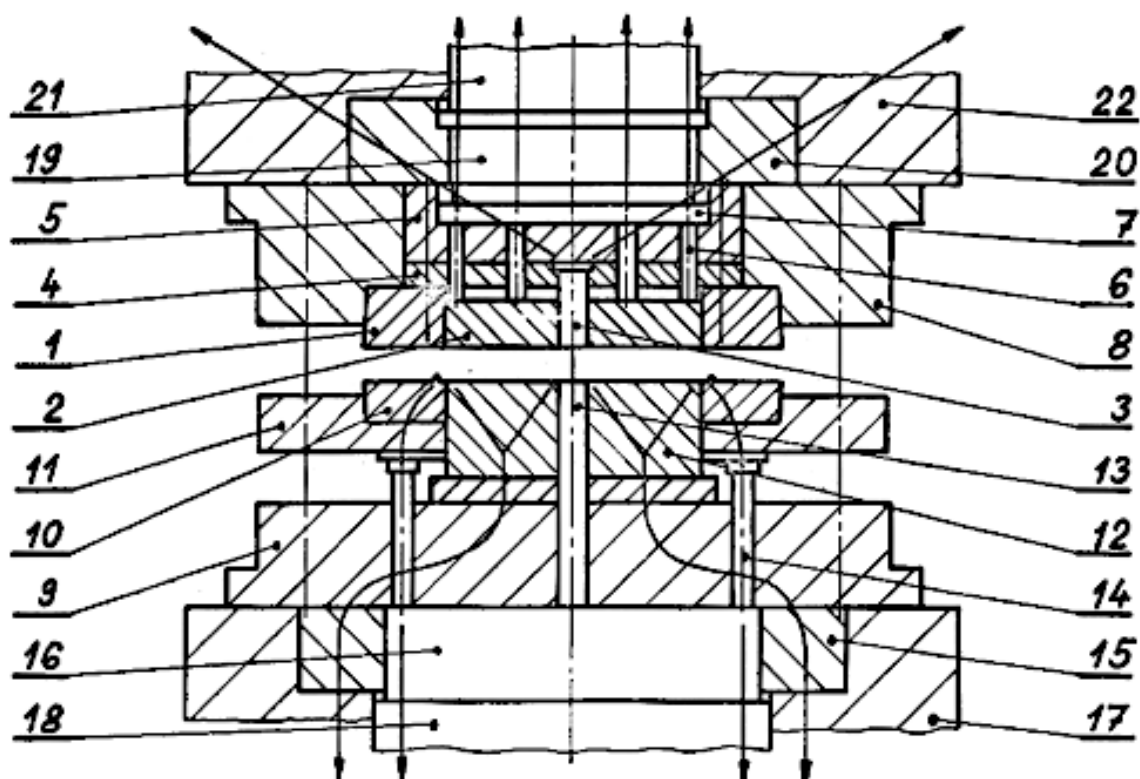
Spodní část nástroje:

9. základová deska vod. stoj.
10. přítlačná deska
11. tvarový střížník
12. vyrážec
13. vyrážecí lišta
14. tlačný kolík
15. držák střížníku

Horní část lisu:

21. tlačná vložka
22. tlakový opěrný kroužek
23. hydraulický píst pro protitlak
24. stůl lisu

Princip nástroje pro přesné stříhání s tlačnou hranou s pevným střížníkem a pohyblivou přítlačnou deskou [39].



Horní část nástroje:

1. střížnice
2. vyhazovač
3. děrovací střížník
4. kotevní deska
5. podložka
6. tlačný kolík
7. vyhazovací kroužek
8. upínací deska vod. stoj.

Spodní část lisu:

15. tlakový opěrný kroužek
16. stavěcí tlakový kroužek
17. stůl lisu
18. hydraulický píst pro lisovací sílu

Spodní část nástroje:

9. základová deska vod. stoj.
10. přítlačná deska
11. vodící deska
12. tvarový střížník
13. vyrážec
14. tlačný kolík

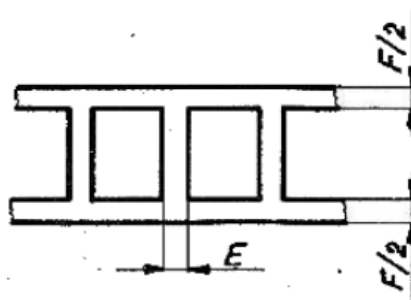
Horní část lisu:

19. tlačná vložka
20. tlakový opěrný kroužek
21. hydraulický píst pro protitlak
22. stůl lisu

Příloha 2

Velikost můstku a okrajů plechu pro přesné stříhání s nátlacnou hranou [39].

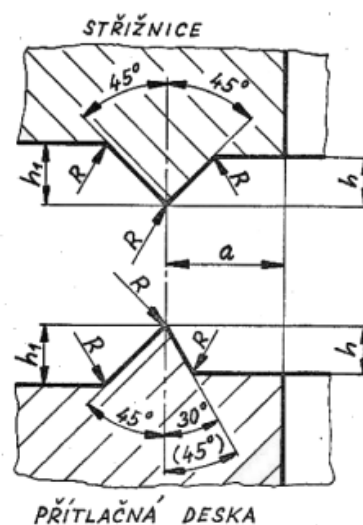
Tloušťka mat. /mm/	E /mm/	F /mm/	Tloušťka mat. /mm/	E /mm/	F /mm/
0,5	2	3	6,0	8	14
0,8	3	3,5	7,0	9	15
1,0	3	4	8,0	10	16
1,2	3,5	4	9,0	11	17
1,5	4	5	10,0	12	18
2,0	4,5	6	12,5	15	20
2,5	5	8	15,0	18	25
3,0	5,5	9	16,5	22	28
3,5	6	10	18,0	23	32
4,0	6,5	11	20,0	25	35
5,0	7	12			



Příloha 3

Rozměry nátlacné hrany [39].

Tloušťka materiálu	a	h	h_1	R
[mm]				
0,5	0,5	0,2	0,25	0,04
0,8	0,6	0,25	0,3	0,05
1,0	0,7	0,3	0,35	0,06
1,2	0,8	0,3	0,35	0,06
1,5	1	0,35	0,4	0,07
1,8	1,2	0,4	0,45	0,08
2,0	1,4	0,4	0,45	0,08
2,2	1,5	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
4,5	3,2	0,5	0,55	0,1
5,0	3,7	0,55	0,6	0,11
5,5	4,0	0,6	0,65	0,12
6,0	4,2	0,6	0,65	0,12
6,5	4,4	0,65	0,7	0,13
7,0	4,6	0,65	0,7	0,13
7,5	4,8	0,7	0,75	0,14
8,0	5,0	0,7	0,75	0,14
8,5	5,25	0,7	0,75	0,14
9,0	5,5	0,8	0,85	0,16
9,5	5,75	0,8	0,85	0,16
10,0	6,0	0,85	0,9	0,17



Doporučené velikosti střížné vůle dle stříhané tloušťky materiálu [39].

Tloušťka mat./mm/	Střížná vůle /mm/	Tloušťka mat./mm/	Střížná vůle /mm/	Tloušťka mat./mm/	Střížná vůle /mm/
0,5	0,003	2,5	0,013	6,5	0,033
0,8	0,004	3,0	0,015	7,0	0,035
1,0	0,005	3,5	0,018	7,5	0,038
1,2	0,006	4,0	0,02	8,0	0,04
1,5	0,008	4,5	0,023	8,5	0,043
1,8	0,009	5,0	0,025	9,0	0,045
2,0	0,01	5,5	0,028	9,5	0,048
2,2	0,011	6,0	0,03	10,0	0,05

Příloha 4

Parametry hydraulických lisů pro přesné stříhání firmy Feintool [42].

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

Příloha 5

Parametry výrobní linky FBA 6/300 firmy Feintool [45].

Feeding line type		FBA 6/300	FBA 6/500
Material specification			
max. strip width	mm	300	500
Strip thickness	mm	0,8 - 6	0,8 - 6
max. leveling capacity bs ² *	mm ³	8000	8000
max. cross section over complete strip width*	mm ²	300 x 5,1	500 x 4,0
Technical specification			
max. acceleration*	m/s ²	5	5
max. speed of the feeder leveler	m/min	50	50
max. acceleration with option «speed»	m/s ²	15	15
Strokes			
Feeding length	mm	0,1 - 999,9	0,1 - 999,9
max. strokes	1/min	100	100
Coil			
Inside diameter	mm	508	508
Inside diameter option	mm	610	610
External diameter	mm	2000	2000
Coil weight standard	kg	3000	5000
Coil weight optional	kg	5000 or 8000	8000
Machine specification			
Decoiler			
Expansion range (standard)	mm	470 - 530	470 - 530
Expansion range additional (option)	mm	570 - 630	570 - 630
Number of restrictor arms standard version		1	1
Number of restrictor arms optional version		-	-
Coil stopper on decoiler mandrel		4 cone rolls	4 cone rolls
Coil chair with lateral decoiler movement		option	option
Threading Unit		included	included